



Université
de Liège



COMMUNAUTE FRANÇAISE DE BELGIQUE
ACADEMIE UNIVERSITAIRE WALLONIE-EUROPE
UNIVERSITE DE LIEGE - GEMBLoux AGRO-BIO TECH

**Etude des possibilités de culture de *Jatropha curcas* L. dans la région de
Kinshasa (République Démocratique du Congo)**

Jean de Dieu MINENGU MAYULU

Dissertation originale présentée en vue de l'obtention du grade de
Docteur en Sciences Agronomiques et Ingénierie Biologique

Promoteur : Guy Mergeai

Co-promoteur : Patrick Mobambo (Université de Kinshasa)

2014

Copyright. Aux termes de la loi belge du 30 juin 1994, sur le droit d'auteur et les droits voisins, seul l'auteur a le droit de reproduire partiellement ou complètement cet ouvrage de quelque façon et forme que ce soit ou d'en autoriser la reproduction partielle ou complète de quelque manière et sous quelque forme que ce soit. Toute photocopie ou reproduction sous autre forme est donc faite en violation de ladite loi et des modifications ultérieures.

MINENGU MAYULU Jean de Dieu (2013). Etude des possibilités de culture de *Jatropha curcas* L. dans la région de Kinshasa en République Démocratique du Congo (RDC). **Thèse de Doctorat.** Université de Liège – Gembloux Agro-Bio Tech (Belgique), 178 p., 10 fig., 32 tab.

Résumé

Au cours de ces dernières années, des plantations de *Jatropha curcas* L. ont été mises en place dans de nombreuses régions d'Afrique subsaharienne pour la production d'agrocarburants sans connaissances préalables des conditions de rentabilité et des techniques de production les mieux adaptées aux contextes locaux. L'objectif du présent travail est de lever cette lacune pour la région de Kinshasa en apportant des réponses aux principales questions qui conditionnent la mise au point d'un agrosystème durable basé sur la culture de *J. curcas*.

Pour atteindre cet objectif, les performances d'une plantation pilote installée à proximité de la cité de Mbankana en décembre 2007 ont été évaluées et quatre essais ont été réalisés à partir de juillet 2009 à janvier 2013 dans deux sites représentatifs des conditions du Plateau des Batéké (Mbankana et Mongata) et à proximité de la rivière N'sele dans la banlieue de Kinshasa.

Les résultats obtenus montrent que les facteurs de l'environnement et les pratiques culturales ont une influence sur le rendement en graines et en huile de *J. curcas*. Les faibles rendements obtenus, le coût très élevé des intrants (engrais et insecticides) et les faibles quantités de graines récoltées par journée de travail sont les principales causes de l'absence de rentabilité de la culture pure de *J. curcas* dans les premières plantations mises en place avec du matériel végétal local subspontané.

Les principaux insectes ravageurs de *J. curcas* dans la zone d'étude sont les grillons *Brachytrupes membranaceus* Drury (Orthoptera, Grillidae) qui s'attaquent aux jeunes plantes lors de leur mise en place en saison pluvieuse (octobre à décembre), les chenilles mineuses de feuilles *Stomphastis thraustica* Meyrick (Lepidoptera, Gracillariidae), les chrysomèles *Apthona* sp. (Coleoptera, Chrysomelidae) qui consomment le limbe des feuilles et les bourgeons, ainsi que les punaises à bouclier *Calidea* sp. (Heteroptera, Scutelleridae) qui causent des dégâts aux fleurs et aux capsules. Parmi ceux-ci, la chrysomèle est pour l'instant le ravageur le plus dommageable. En l'absence de traitements insecticides, le niveau des pertes de rendement occasionnées par ces insectes ravageurs atteignent 90% en culture pure sur le Plateau des Batéké. La gravité des dégâts des insectes ravageurs sur *J. curcas* est plus élevée en culture pure (>60%) que quand il est associé à d'autres cultures annuelles (<45%). La mise au point de méthodes durables de contrôle des ravageurs est une des conditions indispensables à l'installation de plantations de *J. curcas* dans la région de Kinshasa.

L'application de la taille, de la fertilisation minérale et de la couverture du sol avec *Stylosanthes guianensis* (Aublet) Swartz, permet d'améliorer significativement le rendement en graines de *J. curcas*.

Onze écotypes de *J. curcas*, collectés dans les différentes régions de la RDC et mis en culture au Plateau des Batéké, ont montré des différences significatives en termes du développement végétatif et des rendements en graines et en huile. Le rendement moyen obtenu en 3^{ème} année de production par l'écotype le plus productif (Panu : $473,1 \pm 3,6$ kg de graines sèches ha⁻¹) était près de 7 fois plus élevé que le rendement de l'écotype qui a produit le moins (Ilebo : $68,6 \pm 3,6$ kg ha⁻¹).

Contrairement à ce qui était annoncé dans la littérature, le temps nécessaire pour l'entrée en pleine production de *J. curcas* en conditions tropicales humides est supérieur à 5 ans. Il n'est pas possible de déterminer sur base de nos résultats, le niveau exact de rendement qui sera obtenu quand les plantes entreront en pleine production. Quel que soit celui-ci, le coût très élevé de la main d'œuvre nécessaire à la collecte des graines de *J. curcas* et au désherbage limite fortement les perspectives de rentabilité de la culture pure dans la région de Kinshasa. Dans les zones enclavées du pays, où le coût de la main d'œuvre est moindre et où le prix du diesel est plus élevé, la production de *J. curcas* peut constituer l'une des solutions pour résoudre les problèmes d'accès à l'énergie.

Mots clés : *Jatropha*, rentabilité, ravageurs, pratiques culturales, Kinshasa

MINENGU MAYULU Jean de Dieu (2013). Study possibilities of cultivation the *Jatropha curcas* L. in the region of Kinshasa in the Democratic Republic of Congo (DRC). **PhD Thesis. University of Liege – Gembloux Agro-Bio Tech (Belgium), 178 p., 10 fig., 32 tab.**

Abstract

In recent years, plantations of *Jatropha curcas* L. have been implemented in many regions of sub-Saharan Africa for the production of biofuels without prior knowledge regarding profitability conditions and production practices best suited to local conditions. The objective of this work is to overcome this gap in the Kinshasa region by providing answers to key questions that affect the development of a sustainable agricultural system based on the cultivation of *J. curcas*.

To achieve this objective, the performance of a pilot plantation installed near the city of Mbankana in December 2007 were evaluated and four trials were conducted from July 2009 to January 2013 in two sites representative of the conditions of Batéké Plateau (Mbankana and Mongata) and near the N'sele river in the outskirts of Kinshasa.

The results obtained show that environmental factors and cropping practices have an influence on seed yield and oil content of *J. curcas*. Low yields, the high cost of inputs (fertilizers and insecticides) and small amounts of harvested seeds per workday are the main causes of the lack of profitability of the sole cropping of *J. curcas* in the first plantations set up with subsponaneous local plant material.

The major insect pests of *J. curcas* in the study area are tobacco crickets *Brachytrupes membranaceus* Drury (Orthoptera, Grillidae) which attack young plants during their establishment at the beginning of the rainy season (October to December), the leaf miner caterpillars *Stomphastis thraustica* Meyrick (Lepidoptera, Gracillariidae), the flea beetles *Aphthona* sp. (Coleoptera, Chrysomelidae) that consume leaf blades and buds, as well as shield-backed bugs *Calidea* sp. (Heteroptera, Scutelleridae) that cause damage to flowers and capsules. Among them, the flea beetle is for the time being the most damaging pest. In the absence of insecticides, the level of yield losses caused by these pests reaches 90% in pure stand on the Batéké Plateau. The gravity of the damage of insect pests on *J. curcas* is higher in sole cropping situation (>60%) than when *J. curcas* is associated with other annuals crops or perennial plants (<45%). The development of sustainable methods of pest control is a prerequisite for the installation of *J. curcas* plantations in the region of Kinshasa.

The application of the pruning, of the mineral fertilization, and ground cover with *Stylosanthes guianensis* (Aublet) Swartz, significantly improves the seed yield of *J. curcas*.

Eleven ecotypes of *J. curcas* collected in different regions of the DRC and cultured on Batéké Plateau, showed significant differences in vegetative growth, seed yield, and oil content. In the third year, the average yield of the most productive ecotype (Panu: 473.17 ± 3.60 kg of dry seeds ha⁻¹) was almost 7 times higher than the performance of the least productive one (Ilebo: 68.63 ± 3.68 kg ha⁻¹).

Contrary to what was reported in the literature, the time required for entry into full production of *J. curcas* in humid tropical conditions is more than 5 years. It is not possible to determine on the basis of our results, the exact level of performance which will be obtained when the plants are in full production. Whatever the latter, the high cost of labor required to collect *J. curcas* seeds and weeding, severely limits the prospects of profitability of the crop in the region of Kinshasa. In remote areas of the country, where the cost of labor is lower, and where the price of diesel is higher, the production of *J. curcas* may be one of the solutions to the problems of access to energy.

Keywords: *Jatropha*, profitability, pests, cropping practices, Kinshasa

Je dédie ce travail à toutes les femmes victimes de violences des groupes armés terroristes et des bandits de tous bords qui continuent de semer la mort et la désolation dans la partie orientale de mon pays, la République Démocratique du Congo.

Ce travail a été réalisé avec le soutien financier de la Coopération Technique Belge (CTB) et de la Commission universitaire pour le Développement (CUD).

Remerciements

De nombreuses personnes ont contribué de près ou de loin à la réalisation de cette thèse et je tiens à leur faire part de mes remerciements.

J'adresse ma profonde gratitude au Pr Guy Mergeai, promoteur de cette thèse. Merci de m'avoir accueilli et fait confiance pour mener à bien ce doctorat ainsi que pour tous les conseils et l'encadrement scientifique prodigués durant ces quatre années de recherche.

Je remercie le Pr Patrick Mobambo de l'Université de Kinshasa, pour avoir accepté d'assurer la codirection de cette thèse. Je lui suis reconnaissant pour ses remarques et suggestions.

J'adresse mes vifs remerciements aux membres du Jury qui, en dépit de leurs multiples occupations, ont accepté d'apporter leurs contributions dans la réalisation de cette thèse. Je tiens donc à exprimer ma reconnaissance aux Pr Frédéric Francis (Président du Jury), André Toussaint (Rapporteur), Yves Shenkel (Rapporteur), Pr Jean-Pierre Baudoin (Membre) et Cédric Vermeulen (Membre).

Mes remerciements vont aussi au Dr. François Verheggen pour sa contribution à la mise en place de l'essai sur les principaux insectes ravageurs de *Jatropha curcas* L. dans la région de Kinshasa.

Que les Pr Jean-Claude Palata, Jules Aloni, Claude Kachaka, Joseph Katanga, Adrien Kalonji, Pierre Nsumbu, Albert Lema et Djim Tshilenge de l'Université de Kinshasa, trouvent ici, l'expression de ma profonde gratitude pour tout leur soutien moral et matériel pendant la réalisation de cette thèse.

J'adresse ma plus vive reconnaissance à Hubert Demolin, Roger Loozen, Sébastien Lerson et tous les membres du Groupe Mokamo de Belgique pour leur soutien à la promotion des petites initiatives locales de production d'agrocarburants à partir de *Jatropha curcas* en République Démocratique du Congo.

Mes remerciements s'adressent également à ma mère Pemba Caroline, à mon épouse Mubongo Vitaline, à mes enfants Tollens, Sébastien, Yolande, Jeannine, Daniel et Daniella ainsi qu'à mes frères et sœurs, pour leur soutien moral et spirituel.

Cette page me fait penser à mon regretté Papa Minengu Prosper qui n'a pas pu voir ce jour, si longtemps attendu, que son âme repose en paix.

Je ne pourrais terminer ces remerciements sans y associer mes amis de l'Université de Kinshasa et de la Radio Okapi, mes collègues Doctorants des Unités d'Agro-écologie tropicale et Horticulture, et d'Entomologie fonctionnelle et évolutive de Gembloux Agro-BioTech, pour le soutien et l'appui apportés afin d'arriver au terme de cette thèse.

Publications réalisées dans le cadre de la thèse

La production scientifique sous forme d'articles publiés, acceptés et soumis, issue directement de ce travail est listée ci-après :

Article 1. Influence de l'environnement et des pratiques culturelles sur la productivité de *Jatropha curcas* L. en Afrique subsaharienne (Synthèse bibliographique)

Minengu Jean de Dieu, Mobambo Patrick et Mergeai Guy. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.*, 2013. In press.

Article 2. Analyse des performances technico-économiques de quatre systèmes de culture basés sur la production de *Jatropha curcas* L. dans la région de Kinshasa (République Démocratique du Congo).

Minengu Jean de Dieu, Mobambo Patrick et Mergeai Guy. *Tropicultura*, 2013. In press.

Article 3. Dynamique et impact des principaux insectes ravageurs de *Jatropha curcas* L. dans deux systèmes de culture aux caractéristiques contrastées de la province de Kinshasa (République Démocratique du Congo)

Minengu Jean de Dieu, Verheggen François et Mergeai Guy. *Tropicultura*, 2013, In press.

Article 4. Effet de la couverture du sol avec *Stylosanthes guianensis* (Aublet) Swartz, de la taille et de la fumure minérale sur la production de *Jatropha curcas* L. à Kinshasa

Minengu Jean de Dieu, Mobambo Patrick et Mergeai Guy. *Oléagineux, Corps gras, Lipides*, 2013. In press.

Article 5. Etude des possibilités de production de *Jatropha curcas* L. dans un couvert permanent de *Stylosanthes guianensis* (Aublet) Swartz en association avec le maïs (*Zea mays* L.) et le soja (*Glycine max* (L.) Merr. dans les conditions du Plateau des Batéké à Kinshasa. A finaliser pour la revue *Tropicultura*.

Article 6. Evaluation of Agronomic Performances of Eleven Ecotypes of *Jatropha curcas* L. Grown in Poor Soil of the Batéké Plateau near Kinshasa (DRC). A finaliser pour la revue *American Journal of Plant Sciences*.

Table des matières

Résumé	i
Abstract	iii
Remerciements	vii
Publications réalisées dans le cadre de la thèse	ix
Table des matières	1
Liste des tableaux	5
Liste des figures.....	8
Chapitre I. Introduction générale.....	10
1. Contexte et problématique	11
2. Objectif.....	14
3. Structure	15
Chapitre II. Etat des connaissances concernant la culture de <i>Jatropha curcas</i> L. en Afrique subsaharienne et identification des principales contraintes au développement d'un agrosystème durable basé sur la culture de <i>J. curcas</i> dans la région de Kinshasa.....	21
II.1. Influence de l'environnement et des pratiques culturelles sur la productivité de <i>Jatropha curcas</i> L. en Afrique subsaharienne (Synthèse bibliographique).....	23
Résumé	23
Abstract	23
1. Introduction	24
2. Facteurs écologiques et techniques influençant la production	25
2.1. Facteurs écologiques	25
2.2. Facteurs techniques : pratiques culturelles	30
3. Diversité génétique et disponibilité en matériel de plantation amélioré	38
4. Conclusion et pistes d'amélioration des rendements.....	39
Références bibliographiques	40
II.2. Analyse des performances technico-économiques de quatre systèmes de culture basés sur la production de <i>Jatropha curcas</i> L. dans la région de Kinshasa (République Démocratique du Congo)	47
Résumé	47
Abstract	47
1. Introduction	48
2. Matériel et méthodes.....	49
2.1. Caractéristiques du site d'étude.....	49
2.2. Composition et disposition des parcelles d'essai	49

2.3. Observations morphologiques et rendements.....	50
2.4. Calcul des performances technico-économiques.....	51
2.5. Validation des résultats	51
3. Résultats et discussion	51
3.1. Caractéristiques morphologiques de plantes de <i>J. curcas</i>	51
3.2. Rendement des cultures.....	54
3.3. Performances technico-économiques des systèmes de production de <i>J. curcas</i>	56
4. Conclusion	66
Références bibliographiques	66
Chapitre III. Dynamique et impact des principaux insectes ravageurs de <i>Jatropha curcas</i> L. dans la région de Kinshasa	69
III.1. Dynamique et impact des principaux insectes ravageurs de <i>Jatropha curcas</i> L. dans deux systèmes de culture aux caractéristiques contrastées de la province de Kinshasa (République Démocratique du Congo).....	71
Résumé	71
Abstract	72
1. Introduction.....	72
2. Matériel et méthodes.....	74
2.1. Localisation des sites d'étude.....	74
2.2. Climat.....	74
2.3. Sols et végétation.....	75
2.4. Plantations	75
2.5. Identification des insectes ravageurs	76
2.6. Evaluation des dégâts des grillons.....	76
2.7. Dynamique des effectifs d' <i>Aphthona</i> sp., <i>Stomphastis thraustica</i> et <i>Calidea</i> sp.	77
2.8. Evaluation de l'impact des attaques des insectes ravageurs sur le développement végétatif et la production de <i>J. curcas</i>	77
2.9. Traitement et analyse des données	78
3. Résultats et discussion	78
3.1. Incidence des dégâts des grillons sur les plantules de <i>J. curcas</i>	78
3.2. Dynamique des principaux insectes ravageurs de <i>J. curcas</i>	79
3.3. Impact des attaques des insectes ravageurs sur le développement végétatif de <i>J. curcas</i>	83
3.4. Impact des attaques des insectes ravageurs sur la production de <i>J. curcas</i>	84
3.5. Autres insectes présents sur <i>J. curcas</i> dans la périphérie de Kinshasa.....	86
4. Conclusion	86
Références bibliographiques	87

Chapitre IV. Mise au point de techniques de production permettant à la fois de maintenir la fertilité des sols, de diminuer l'impact des ravageurs et d'obtenir des revenus complémentaires avant l'entrée en pleine production des plantations de *Jatropha curcas* L. 91

IV.1. Effets de la couverture du sol avec *Stylosanthes guianensis* (Aublet) Swartz, de la taille et de la fumure minérale sur la production de *Jatropha curcas* L. dans la région de Kinshasa..... 93

Résumé	93
Abstract	93
1. Introduction	94
2. Matériel et méthodes	95
2.1. Sites expérimentaux	95
2.2. Matériel	96
2.3. Méthodes	96
3. Résultats et discussion	99
3.1. Développement végétatif de <i>J. curcas</i> à 42 mois	99
3.2. Taux d'avortement des fruits de <i>J. curcas</i>	100
3.3. Rendement de <i>J. curcas</i> et ses composantes.....	101
3.4. Gestion de la plante de couverture (<i>Stylo</i>) et production de matière sèche.....	105
4. Conclusion	106
Références	107

IV.2. Etude des possibilités de production de *Jatropha curcas* L. dans un couvert permanent de *Stylosanthes guianensis* (Aublet) Swartz en association avec le maïs (*Zea mays* L.) et le soja (*Glycine max* (L.) Merr.) dans les conditions du Plateau des Batéké à Kinshasa 110

Résumé	110
Abstract	111
1. Introduction	111
2. Matériel et méthodes.....	113
2.1. Site d'étude.....	113
2.2. Matériel végétal.....	114
2.3. Méthodes	114
3. Résultats et discussion	117
3.1. Développement végétatif de <i>J. curcas</i>	117
3.2. Développement du maïs et du soja	118
3.3. Rendement en graines sèches de <i>J. curcas</i>	121
3.4. Rendement du maïs et du soja	122
3.5. Gravité des dégâts des principaux insectes ravageurs de <i>J. curcas</i>	126
3.6. Biomasse sèche de <i>Stylosanthes guianensis</i>	129
4. Conclusion	129

Références bibliographiques	130
Chapitre V. Sélection d'écotypes de <i>Jatropha curcas</i> L. aux performances supérieures adaptés aux conditions de culture de la région de Kinshasa	134
V.1. Evaluation of Agronomic Performances of Eleven Ecotypes of <i>Jatropha curcas</i> L. Grown in Poor Soil of Batéké Plateau near Kinshasa (DRC).....	136
Abstract	136
1. Introduction	136
2. Materials and Methods.....	137
2.1. Study Site	137
2.2. Collection of Samples	138
2.3. Plantation.....	140
2.4. Plantation Maintenance	140
2.5. Observations.....	140
2.6. Statistical Analysis	142
3. Results and Discussion	142
3.1. Vegetative Development	142
3.2. Days to Flowering, Capsule Abortion Rates, and Capsule Maturation Duration.....	143
3.3. Yield Components.....	144
3.4. Reaction of Ecotypes to Insect Pests and Diseases	145
3.5. Yield of Dry Seeds	146
3.6. Oil Content and Oil Yield	147
3.7. Fatty Acid Composition	148
3.8. Correlation between Vegetative Parameters and Production (r)	151
4. Conclusion	153
References	153
Chapitre VI. Discussion générale, conclusion et perspectives	157
VI.1. Discussion générale	158
VI.2. Conclusion et perspectives.....	169
Références bibliographiques	173

Liste des tableaux

Chapitre II. Etat des connaissances concernant la culture de *Jatropha curcas* L. en Afrique subsaharienne et identification des principales contraintes au développement d'un agrosystème durable basé sur la culture de *J. curcas* dans la région de Kinshasa

II.1. Influence de l'environnement et des pratiques culturelles sur la productivité de *Jatropha curcas* L. en Afrique subsaharienne (Synthèse bibliographique)

Tableau 1. Ravageurs de *Jatropha curcas* en Afrique subsaharienne

Tableau 2. Champignons/virus affectant *Jatropha curcas* en Afrique subsaharienne

Tableau 3. Rendement de *Jatropha curcas* dans quelques pays d'Afrique subsaharienne

II.2. Analyse des performances technico-économiques de quatre systèmes de culture basés sur la production de *Jatropha curcas* L. dans la région de Kinshasa (République Démocratique du Congo)

Tableau 1. Systèmes de culture de *Jatropha curcas* comparés dans l'essai

Tableau 2. Influence des traitements comparés sur le développement végétatif des plantes

Tableau 3. Rendement des cultures

Tableau 4. Produits bruts ha⁻¹

Tableau 5. Consommations intermédiaires

Tableau 6. Coût d'installation d'un hectare de *J. curcas* (2 500 plantes)

Tableau 7. Main d'œuvre nécessaire (h.j ha⁻¹ an⁻¹)

Tableau 8. Revenu agricole (USD ha⁻¹ an⁻¹)

Chapitre III. Dynamique et impact des principaux insectes ravageurs de *Jatropha curcas* L. dans la région de Kinshasa

III.1. Dynamique et impact des principaux insectes ravageurs de *Jatropha curcas* L. dans deux systèmes de culture aux caractéristiques contrastées de la province de Kinshasa (République Démocratique du Congo)

Tableau 1. Développement végétatif de *J. curcas*

Chapitre IV. Mise au point de techniques de production permettant à la fois de maintenir la fertilité des sols, de diminuer l'impact des ravageurs et d'obtenir des revenus complémentaires avant l'entrée en pleine production des plantations de *Jatropha curcas* L.

IV.1. Effets de la couverture du sol avec *Stylosanthes guianensis* (Aublet) Swartz, de la taille et de la fumure minérale sur la production de *Jatropha curcas* L. dans la région de Kinshasa

Tableau 1. Relevés climatiques pour la période 2009-2012

Tableau 2. Rendement et ses composantes en 3^{ème} année de production (récoltes réalisées lors des saisons culturales B et A de 2012)

Tableau 3. Biomasse moyenne sèche de *S. guianensis* (tonnes/ha/an) (moyenne calculée sur 3 ans)

IV.2. Etude des possibilités de production de *Jatropha curcas* L. dans un couvert permanent de *Stylosanthes guianensis* (Aublet) Swartz en association avec le maïs (*Zea mays* L.) et le soja (*Glycine max* (L.) Merr. dans les conditions du Plateau des Batéké à Kinshasa

Tableau 1. Relevés climatiques pour la période 2009-2012

Tableau 2. Densité du maïs et du soja

Tableau 3. Développement végétatif de *J. curcas* à 42 mois

Tableau 4. Développement végétatif des plantes vivrières associées à la culture de *J. curcas*

Tableau 5. Rendement et taux de surface équivalente (TSE) ou Land equivalency ratio (LER) des associations comparées en 2010

Tableau 6. Rendement et taux de surface équivalente (TSE) ou Land equivalency ratio (LER) des associations comparées en 2011

Tableau 7. Rendement et taux de surface équivalente (TSE) ou Land equivalency ratio (LER) des associations comparées en 2012

Tableau 8. Gravité des attaques d'*Apthona* sp. et de *Stomphastis thraustica* sur *J. curacs* (%)

Chapitre V. Sélection d'écotypes de *Jatropha curcas* L. aux performances supérieures adaptées aux conditions de culture de la région de Kinshasa

V.1. Evaluation of agronomic performances of eleven ecotypes of *Jatropha curcas* L. grown in poor soil of the Batéké Plateau near Kinshasa (DRC)

Table 1. Ecotypes collected and site characteristics

Table 2. Vegetative development

Table 3. Flowering precocity, duration of the fruit maturation, capsule abortion rates

Table 4. Yield components

Table 5. Evaluation of the ecotypes reaction to insect pests

Table 6. Yield of dry seeds

Table 7. Oil content and oil yield

Table 8. Fatty acid composition

Table 9. Correlation between the observed parameters (r)

Liste des figures

Chapitre II. Etat des connaissances concernant la culture de *Jatropha curcas* L. en Afrique subsaharienne et identification des principales contraintes au développement d'un agrosystème durable basé sur la culture de *J. curcas* dans la région de Kinshasa

II.2. Analyse des performances technico-économiques de quatre systèmes de culture basés sur la production de *Jatropha curcas* L. dans la région de Kinshasa (République Démocratique du Congo)

Figure 1. Culture pure de *Jatropha* (A), associations *Jatropha*-maïs (B) et association *Jatropha*-haricot commun (C) en 4^{ème} année de culture de *J. curcas*

Chapitre III. Dynamique et impact des principaux insectes ravageurs de *Jatropha curcas* L. dans la région de Kinshasa

III.1. Dynamique et impact des principaux insectes ravageurs de *Jatropha curcas* L. dans deux systèmes de culture aux caractéristiques contrastées de la province de Kinshasa (République Démocratique du Congo)

Figure 1. Principaux insectes ravageurs de *J. curcas* à Kinshasa : A (plantule coupée par *B. membranaceus*), B (feuille attaquée par *Aphthona* sp.) C (feuilles attaquées par *S. thraustica*), D (fruits attaqués par *Calidea* sp.)

Figure 2. Variations de la température, de la pluviométrie et de l'humidité relative dans la zone d'étude de Janvier 2011 à Janvier 2013

Figure 3. Plantations de *J. curcas*: A (*J. curcas* associé aux cultures maraîchères à N'sele), B (*J. curcas* en culture pure à Mbankana)

Figure 4. Incidence des dégâts des grillons en fonction des périodes de plantation de *J. curcas*

Figure 5. Fluctuation mensuelle des effectifs d'*Aphthona* sp., *S. thraustica* et *Calidea* sp. dans le site de N'sele

Figure 6. Fluctuation mensuelle des effectifs d'*Aphthona* sp. et de *S. thraustica* dans le site de Mbankana

Figure 7. Impact des attaques des insectes ravageurs sur le feuillage de *J. curcas*

Chapitre IV. Mise au point de techniques de production permettant à la fois de maintenir la fertilité des sols, de diminuer l'impact des ravageurs et d'obtenir des revenus complémentaires avant l'entrée en pleine production des plantations de *Jatropha curcas* L.

IV.1. Effets de la couverture du sol avec *Stylosanthes guianensis* (Aublet) Swartz, de la taille et de la fumure minérale sur la production de *Jatropha curcas* L. dans la région de Kinshasa

Figure 1. Développement végétatif du *J. curcas* à 42 mois

Figure 2. Taux d'avortement des fruits de *J. curcas*

Chapitre I. Introduction générale

1. Contexte et problématique

Au cours de ces dernières années, une attention considérable a été accordée à la culture de *Jatropha curcas* L. en tant que source de matières premières pour la production d'agrocarburants. Suite à cet engouement, de nombreuses plantations de *J. curcas* ont été mises en place dans différentes régions tropicales et subtropicales du monde (Li *et al.*, 2010). Originaire d'Amérique centrale, *J. curcas* est couramment utilisé dans les zones tropicales comme plante médicinale, dans la constitution de haies défensives contre les animaux et dans la lutte contre l'érosion (Domergue et Pirot, 2008 ; Chandra Pandey *et al.*, 2012). Il produit des graines riches en une huile qui peut être utilisée pure après filtration comme carburant dans des moteurs diesel à injection indirecte ou servir de matière première pour la production de biodiesel par transestérification (Berchmans et Hirata, 2008 ; Hamad, 2009). Grâce à sa tige succulente qui lui permet de s'adapter à des conditions de culture stressantes, *J. curcas* peut croître dans une large gamme d'environnements, mais le développement des plantes et leur rendement diffèrent selon les conditions écologiques et les techniques de production (Heller, 1996 ; Achten *et al.*, 2008).

Les agrocarburants ne sont pas une ressource nouvelle. C'est en 1900 que Rudolf Diesel (inventeur du moteur portant le même nom) présenta lors de l'exposition universelle de Paris, le premier moteur fonctionnant à l'huile végétale (Radich, 2004). L'idée d'utiliser ce type de carburant a ensuite été rapidement abandonnée par manque de compétitivité des huiles végétales par rapport aux dérivés du pétrole. Les récentes crises pétrolières et la sensibilisation croissante de l'opinion publique vis-à-vis de la question des changements climatiques ont été à la base du développement actuel des agrocarburants (Hamad, 2009 ; Kwetche Sop *et al.*, 2012).

La production d'agrocarburants à partir de *J. curcas* constitue l'une des solutions pour l'approvisionnement énergétique du monde rural congolais et des zones périphériques de grandes villes de la RDC. Le bilan énergétique de la RDC se caractérise par un faible taux d'accès des populations à l'énergie électrique, soit 35% en milieu urbain où vivent près de 30% de la population contre 1% en milieu rural où vivent 70% de la population congolaise (Esseqqat, 2011). L'électricité produite par les barrages hydroélectriques et les carburants fossiles constituent les deux sources

d'énergie moderne utilisées en RDC. L'électricité provenant des barrages hydroélectriques approvisionne principalement les grandes villes et les industries. La disponibilité de la RDC en électricité stagne et tend même à se réduire suite aux problèmes de maintenance que connaissent les infrastructures actuelles (Esseqqat, 2011). De plus, la distribution de celle-ci dans toutes les zones du pays n'est pas aisée, ce qui fait que la grande majorité de la population n'y a pas accès. Les produits pétroliers sont utilisés dans le secteur des transports et pour l'électrification à petite échelle d'agglomérations et de noyaux d'habitation isolés. L'accès aux carburants fossiles (gasoil et essence) est très difficile pour les populations rurales à cause de l'enclavement de la plupart des zones, entraînant ainsi l'augmentation du prix de ces combustibles au fur et à mesure que l'on s'éloigne des grandes villes. A Kinshasa, 1 litre de gasoil coûte 1,52 USD et celui d'essence se vend à 1,55 USD. Il se négocie entre 3 et 5 dollars dans les zones les plus reculées du pays.

La consommation totale en énergie en RDC se caractérise donc par une prédominance de la biomasse-énergie traditionnelle (bois de feu et charbon de bois) qui représente plus de $\frac{3}{4}$ de l'énergie primaire consommée dans le pays (Esseqqat, 2011). Avec une population estimée à 10 millions d'habitants, les besoins en charbon de bois de la ville-province de Kinshasa sont estimés à plus de 1 millions de tonnes an⁻¹ (Biseaux *et al.*, 2009 ; Peltier *et al.*, 2010). Cette forte demande en bois-énergie (1,5 à 2,5 kg de charbon de bois ménage⁻¹ jour⁻¹ à un prix moyen de 0,33 USD kg⁻¹) a entraîné la dégradation des savanes arbustives et des îlots forestiers entourant la ville de Kinshasa en dépit de l'installation des plantations agroforestières sur plusieurs milliers d'hectares dans les domaines de Mampu et d'Ibi-Village (Bisiaux *et al.*, 2009).

Face à ces multiples défis, le développement de petites unités décentralisées d'électrification rurale et de motorisation des équipements artisanaux à partir d'énergies renouvelables représente l'une des alternatives complémentaires pour améliorer les conditions de vie des populations rurales. Dans la situation actuelle et dans un futur prévisible, le recours à l'énergie photovoltaïque n'est pas envisageable à cette fin pour la majeure partie de la population rurale car ce type d'équipement demande un investissement trop important. De plus, son emploi est pour l'instant principalement limité à des installations de relativement faible puissance (éclairage, petits appareils électriques) et il

ne peut servir pour la majorité des unités d'artisanat rural (moulins, scierie, menuiserie classique et métallique, atelier mécanique, pompes, ...) ni pour faire fonctionner les moyens de transport motorisés et les tracteurs agricoles.

Dans ce contexte, la culture de *J. curcas* peut faciliter l'accès à moindre coût des populations à une source d'énergie permettant à la fois l'électrification à petite échelle de noyaux d'habitat rural isolés et le développement de l'artisanat local selon le modèle des plateformes multifonctionnelles promues notamment par le PNUD en Afrique de l'Ouest et de l'Est (Henny et Marjolein, 2011 ; Portale, 2012 ; Dyer *et al.*, 2012).

La substitution du bois de chauffage ou du charbon de bois par l'huile végétale de *J. curcas* pour la cuisson dans les zones rurales contribuerait également à la réduction de la déforestation et à soulager le problème des maladies respiratoires qui peuvent être liées à l'usage de ces combustibles solides (Akunne *et al.*, 2006).

En plus de permettre la production d'une huile combustible à partir de ses graines, *J. curcas* donne différents sous-produits aux usages divers. Le tourteau d'extraction de l'huile est un excellent engrais organique et peut servir de matière première pour la production de biogaz (Kumar et Sharma, 2008). Toutes les parties de la plante (graines, feuilles et écorce) sont utilisées en médecine traditionnelle pour les humains et les animaux domestiques (Kumar et Sharma, 2008 ; Brittain et Litaladio, 2010). L'huile de *J. curcas* peut aussi servir à la fabrication du savon et comme biopesticide (Abdoul Habou, 2013).

Généralement, deux filières de la culture de *J. curcas* coexistent en Afrique : celle des grandes plantations cultivées de manière intensive et vouées à la production d'agrocarburants, et celle des exploitations familiales de taille réduite, destinées à la production d'huile pour des besoins locaux et, éventuellement, pour la vente des graines à des sociétés agro-industrielles (Bruggeman *et al.*, 2010).

Sur le Plateau des Batéké à proximité de Kinshasa coexiste deux grands types de systèmes de production agricole basés sur le brûlis de la végétation naturelle après une longue jachère. Il s'agit : (i) du système traditionnel Téké qui exploite le reste des îlots de forêt dense subsistant sur les flancs des

vallées et qui représentent les meilleurs sols pour la pratique de l'agriculture itinérante et de la carbonisation à visée commerciale; les populations locales qui pratiquent ce système considèrent que les sols des savanes arbustives qui constituent plus de 90% des surfaces du Plateau des Batéké sont trop pauvres pour être valorisés et (ii) d'un système plus moderne pratiqué principalement par des agriculteurs disposant de moyens permettant de cultiver avec des tracteurs des superficies de plusieurs dizaines, voire plusieurs centaines d'ha de savane arbustive en pratiquant une très longue jachère (Bisiaux *et al.*, 2009 ; Vermeulen *et al.*, 2011). Dans ce système, l'usage des engrais minéraux et des pesticides est très courant mais cela n'empêche pas une chute importante des rendements obtenus après quelques années de culture. La pression sur les ressources naturelles est importante dans les deux systèmes: l'agriculture mécanisée semble inadaptée aux sols sablonneux pauvres du Plateau des Batéké, tandis que la pratique de la carbonisation systématique à courte rotation menace la régénération naturelle d'essences à croissance lente (Vermeulen *et al.*, 2011).

Les sols de ces zones de savanes sont sablonneux, acides, chimiquement très pauvres et possèdent une très faible capacité de rétention hydrique (Koy Kasongo, 2005). La kaolinite est le matériau le plus important de la fraction argileuse. Le pH-H₂O est en général inférieur à 5,5 et varie avec la teneur en matière organique (Bisiaux *et al.*, 2009). Les adventices (*Digitaria sp.*, *Imperata cylindrica* (L.) P.Beauv., *Cynodon dactylon* L., etc.) qui y poussent, exercent une forte concurrence sur toutes les cultures. C'est sur ces sols qu'ont été installées à partir de 2006 les premières plantations de *J. curcas* dans la région.

Jatropha curcas est une plante encore sauvage en voie de domestication pour laquelle il n'y a pas de référentiel en ce qui concerne les techniques de production les mieux adaptées aux conditions locales en RDC comme dans toutes les autres régions d'Afrique subsaharienne et les investigations pour obtenir ces informations viennent seulement de commencer.

2. Objectif

L'objectif de notre recherche est le développement d'un agrosystème, tant au point de vue économique qu'environnemental, basé sur la culture de *J. curcas* et adapté aux conditions de la région de Kinshasa.

Pour atteindre cet objectif, nous avons identifié deux questions de recherche auxquelles nous allons tenter de répondre dans le cadre de notre thèse.

1. Quelles sont les principales contraintes qui limitent la durabilité de la production de *J. curcas* dans la région de Kinshasa et quelle est leur importance ?
2. Comment est-il possible de surmonter les principales contraintes qui limitent la production de *J. curcas* dans la région ?

3. Structure

Une revue bibliographique a été réalisée parallèlement à l'analyse des performances technico-économiques des premières plantations de *J. curcas* installées dans la région de Kinshasa. Les résultats obtenus pour ce travail font l'objet des deux premières publications constituant notre essai. Sur base des informations rassemblées lors de ces travaux préliminaires, une série d'expérimentations thématiques ont été réalisées sur le terrain entre juillet 2009 et janvier 2013. Ces essais agronomiques concernent : (i) l'étude de la dynamique et de l'impact des principaux insectes ravageurs de *J. curcas* dans la zone cible de nos recherches (1 expérience), (ii) la mise au point de techniques de production permettant à la fois de maintenir la fertilité des sols, de diminuer l'impact des ravageurs et d'obtenir des revenus complémentaires avant l'entrée en pleine production des plantations de *J. curcas* (2 expériences) et (iii) la possibilité de sélectionner des écotypes aux performances supérieures adaptés aux conditions de culture de la région (1 expérience). Les résultats obtenus pour chacun des essais agronomiques réalisés ont conduit à la rédaction d'un article scientifique. L'ensemble des articles acceptés pour publication et soumis constitue les quatre chapitres de la thèse dont le contenu est présenté ci-dessous.

Chapitre 2. Etat des connaissances concernant la culture de *Jatropha curcas* L. en Afrique subsaharienne et identification des principales contraintes au développement d'un agrosystème durable basé sur la culture de *J. curcas* dans la région de Kinshasa.

Article 1 : Influence de l'environnement et des pratiques culturelles sur la productivité de *Jatropha curcas* L. en Afrique subsaharienne (Synthèse bibliographique). *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.*, 2013. In press.

Il s'agit d'une revue bibliographique analysant les connaissances scientifiques disponibles concernant les facteurs écologiques et techniques qui influencent la productivité de *J. curcas* et propose des pistes de solutions pour l'amélioration de son rendement en Afrique subsaharienne.

Article 2 : Analyse des performances technico-économiques de quatre systèmes de culture basés sur la production de *Jatropha curcas* L. dans la région de Kinshasa (République Démocratique du Congo). *Tropicultura*, 2013. In press.

Cet article vise à évaluer les performances technico-économiques de quatre systèmes de culture de *Jatropha curcas* (culture pure avec et sans engrais ; association culturale avec maïs puis haricot commun avec et sans engrais) dans une plantation de 4 ans installée sur les sols les plus pauvres de la partie rurale de la province de Kinshasa.

Chapitre 3. Dynamique et impact des principaux insectes ravageurs de *Jatropha curcas* L. dans la région de Kinshasa.

Article 3 : Dynamique et impact des principaux insectes ravageurs de *Jatropha curcas* L. dans deux systèmes de culture aux caractéristiques contrastées de la province de Kinshasa (République Démocratique du Congo). *Tropicultura*, 2013. In press.

L'article vise à déterminer la dynamique au cours de l'année des populations des principaux insectes ravageurs de *J. curcas* et leur impact sur le rendement dans deux systèmes de production aux caractéristiques contrastées de la région de Kinshasa, afin d'identifier les moments de pullulation de ces ravageurs, de quantifier l'importance de leurs dégâts et de proposer les mesures à prendre pour une meilleure protection de la culture.

Chapitre 4. Mise au point de techniques de production permettant à la fois de maintenir la fertilité des sols, de diminuer l'impact des ravageurs et d'obtenir des revenus complémentaires avant l'entrée en pleine production des plantations de *Jatropha curcas* L.

Article 4 : Effets de la couverture du sol avec *Stylosanthes guianensis* (Aublet) Swartz, de la taille et de la fumure minérale sur la production de *Jatropha curcas* L. dans la région de Kinshasa. *OCL*, 2013. In Press.

Cette étude vise à évaluer l'intérêt de la taille des plantes, de l'apport d'une fertilisation minérale et de la mise en place d'un couvert de *Stylosanthes guianensis* sur la production de *J. curcas* dans les conditions du Plateau des Batéké à proximité de Kinshasa.

Article 5 : Etude des possibilités de production de *Jatropha curcas* L. dans un couvert permanent de *Stylosanthes guianensis* (Aublet) Swartz en association avec le maïs (*Zea mays* L.) et le soja (*Glycine max* (L.) Merr. dans les conditions du Plateau des Batéké à Kinshasa. A finaliser pour la revue *Tropicultura*.

L'objectif de cet article est d'évaluer les possibilités de production de cultures vivrières traditionnelles de la région en culture continue dans un couvert permanent du sol avec *S. guianensis* et en association avec la culture de *J. curcas*.

Chapitre 5. Sélection d'écotypes de *Jatropha curcas* L. aux performances supérieures adaptés aux conditions de culture de la région de Kinshasa.

Article 6: Evaluation of Agronomic Performances of Eleven Ecotypes of *Jatropha curcas* L. Grown in Poor Soil of the Batéké Plateau near Kinshasa (DRC). A finaliser pour la revue *American Journal of Plant Sciences*.

Cet article étudie les performances agronomiques des 11 écotypes de *Jatropha curcas* L. mis en culture dans la région de Kinshasa au Plateau des Batéké en vue de choisir les meilleurs sur base de leur comportement.

Les quatre chapitres sont précédés d'une introduction générale (chapitre I) et suivis d'une discussion générale (Chapitre VI). La thèse se termine par une conclusion et des perspectives formulées pour indiquer les pistes de recherches futures.

Références bibliographiques

Abdoul Habou Z., 2013. *L'entomofaune associée à Jatropha curcas* L. (Euphorbiaceae) *au Niger et évaluation de l'activité insecticide de son huile*. Thèse de doctorat, Université de Liège – Gembloux-Agro-BioTech, Belgique, 124 p.

- Achten WMJ., Verchot L., Franken YJ., Mathijs E., Singh VP., Aerts R. & Muys B., 2008. *Jatropha* bio-diesel production and use. *Biomass and Bioenergy*, 32, 1063-1084.
- Akunne, A.F., Louis V.R., Sanon M. & Sauerborn R., 2006. Biomass solid fuel and acute respiratory infections: the ventilation factor. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 209, 445-450.
- Berchmans H.J. & Hirata S., 2008. Biodiesel production from crude *Jatropha curcas* L. seed oil with a high content of free fatty acids. *Bioresource Technology*, 99, 1716-1721.
- Bisiaux F., Peltier R. & Muliele J-C., 2009. Plantations industrielles et agroforesterie au service des populations des plateaux de Batéké, Mampu, en République Démocratique du Congo. *Bois et Forêts des Tropiques*, 301, 3, 21-23.
- Brittaine R. & Lutaladio N., 2010. *Jatropha : a smallholder bioenergy crop: the potential for pro-poor development*. Integrated Crop Management, vol. 8. Food and Agriculture Organization of The United Nations, Rome, 114 p.
- Bruggeman P.G., Fakambi K., Fauveaud S. & Liagre L., 2010. Les filières agrocarburants de proximité à base de *Jatropha*: opportunités, acquis et points de vigilance pour un accès à l'énergie en faveur des populations rurales d'Afrique de l'Ouest. *Sud Sciences et Technologie*, 19, 107-118.
- Chandra Pandey V., Kripal Singh, Shankar Singh J., Akhilesh Kumar, Bajrang Singh & Rana P. Singh, 2012. *Jatropha curcas*: A potential biofuel plant for sustainable environmental development. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16, 2870-2883.
- Domergue M. & Pirot R., 2008. *Jatropha curcas* L. Rapport de synthèse bibliographique, Cirad, 118 p. www.fact-foundation.com/media_en/French_Jatropha_Document_Cirad., (15/06/2013).
- Dyer J.C., Stringer L.C. & Dougill A.J., 2012. *Jatropha curcas*: Sowing local seeds of success in Malawi? In response to Achten *et al.* (2010). *Journal of Arid Environments*, 79, 107-110
- Esseqqat H., 2011. *Les énergies renouvelables en République Démocratique du Congo*. Rapport, PNUE-Kinshasa, 105 p.
- Hamad B., 2009. *Trans-estérification des huiles végétales par l'éthanol en conditions douces par catalyses hétérogènes acide et basique*. Thèse de doctorat, Université Claude Bernard-Lyon, France, 251 p.

- Heller J., 1996. *Physic nut. Jatropha curcas* L. *Promoting the conservation and use of underutilised and neglected crops*. 1. Gatersleben, Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research and Rome, International Plant Genetic Resources Institute.
- Henny A.R. & Marjolein C.J.C., 2011. The *Jatropha* biofuels sector in Tanzania 2005-2009: Evolution towards sustainability? *Research Policy*, 40, 618-636.
- Koy Kasongo R., 2005. *Impact of planted acacia forest on the chemical fertility of sandy soils of the Bateke Plateau (D.R. Congo)*. Msc. Thesis, Gent Universiteit (Université de Gand), Université libre de Bruxelles, Belgique, 121 p.
- Kumar A. & Sharma S., 2008. An evaluation of multipurpose oil seed crop for industrial uses (*Jatropha curcas* L.): A review. *Industrial crops and products*, 28, 1-10.
- Kwetché Sop T., Wenemi Kagambega F., Bellefontaine R., Schmiedel U. & Thiombiano A., 2012. Effects of organic amendment on early growth performance of *Jatropha curcas* L. on a severely degraded site in the Sub-Sahel of Burkina Faso. *Agroforest Syst.*, 86, 387-399.
- Li Z., Lin B.L., Zhao X., Sagisaka M. & Shibasaki R. 2010. System approach for evaluating the potential yield and plantation of *Jatropha curcas* L. on a global scale. *Environ Sci. Technol.*, 44, 2204-2209.
- Peltier R., Bisiaux F., Dubiez E., Marien J-N., Muliele J-C., Proce P. & Vermeulen C., 2010. De la culture itinérante sur brulis aux jachères enrichies productrices de charbon de bois en RD-Congo. Manuscrit auteur, publié dans "ISDA 2010, Montpellier, France, 16 p.
- Portale E., 2012. *Socio-Economic Sustainability of Biofuel Production in Sub-Saharan Africa: Evidence from a Jatropha Outgrower Model in Rural Tanzania*. Discussion Paper 2012-01. Belfer Center for Science and International Affairs; Center for International Development Research Fellow and Graduate Student Working Paper No. 56, Center for International Development, Cambridge, Mass: Harvard University, 58 p.
- Radich, A., 2004. *Biodiesel Performance, Costs, and Use*. EIA: <http://www.eia.doe.gov/oiaf/analysispaper/biodiesel/>, (20/09/2013).

Vermeulen C., Dubiez E., Procs P., Mukumary S.D., Yamba Yamba T., Mutambwe S., Peltier R., Marien J-N. & Doucet J-L., 2011. Enjeux fonciers, exploitation des ressources naturelles et Forêts des Communautés Locales en périphérie de Kinshasa, RDC. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.*, 15(4), 535-544.

Chapitre II. Etat des connaissances concernant la culture de *Jatropha curcas* L. en Afrique subsaharienne et identification des principales contraintes au développement d'un agrosystème durable basé sur la culture de *J. curcas* dans la région de Kinshasa

Objectif du chapitre

Les premières expériences de production de *Jatropha curcas* L. en Afrique subsaharienne ont donné des résultats très contrastés en fonction des conditions écologiques, du matériel végétal utilisé et des pratiques culturales appliquées. L'objectif de ce chapitre est d'analyser l'influence des facteurs de l'environnement et des pratiques culturales sur la production de *J. curcas* en Afrique subsaharienne et d'évaluer les performances techniques et économiques des premières plantations installées dans la périphérie de Kinshasa.

II.1. Influence de l'environnement et des pratiques culturelles sur la productivité de *Jatropha curcas* L. en Afrique subsaharienne (Synthèse bibliographique)

Résumé

Dans la plupart des pays de l'Afrique subsaharienne, la mise en place des plantations de *Jatropha curcas* L. a précédé les recherches scientifiques nécessaires à l'optimisation de la production de cette espèce. En conséquence, le développement végétatif des plantes a été faible et les rendements en graines obtenus au cours des premières années de culture ont le plus souvent été décevants.

Les faibles niveaux de rendement obtenus en conditions marginales ont amené à considérer que la culture de *J. curcas* ne pouvait être rentable que dans des zones aux sols et au climat les plus propices, ce qui la mettrait en concurrence directe avec la production alimentaire. Le présent article analyse les connaissances scientifiques disponibles concernant les facteurs écologiques et techniques qui influencent la productivité de *J. curcas* et propose des pistes de solutions pour l'amélioration de son rendement en Afrique subsaharienne.

Mots clés : *Jatropha*, Afrique subsaharienne, écologie, pratiques culturelles, rendement

Abstract

In most sub-Saharan African countries, the establishment of *Jatropha curcas* L. plantations preceded the scientific investigations necessary to optimize the production of this species. Consequently, the vegetative development of the plants was low and seed yields during the first years of cultivation have mostly been disappointing.

The low yields obtained in marginal conditions led to believe that the cultivation of *J. curcas* could only be profitable in areas with fertile soils and sufficiently humid climates, which would put it in direct competition with food production. This article analyzes the available scientific knowledge regarding the ecological and technical factors that influence the productivity of *J. curcas* and suggests possible solutions for improving its performance in sub-Saharan Africa.

Keywords: *Jatropha*, Sub-Saharan Africa, ecology, cropping practices, yield.

1. Introduction

Jatropha curcas L., ci-après dénommé *Jatropha*, est un arbuste de la famille des Euphorbiaceae. Il est couramment utilisé dans les zones tropicales comme plante médicinale et dans la mise en place de haies vives utiles pour délimiter les parcelles, empêcher la circulation des animaux divagants et lutter contre l'érosion (Domergue et Pirot, 2008). La durée de vie productive de l'arbuste a été estimée à 30 ans (Brittaine et Litaladio, 2010).

Les graines sont riches en une huile qui peut être utilisée directement comme carburant dans des moteurs diesel à injection indirecte ou servir de matière première pour la production de biodiesel par transestérification. L'huile contient des principes toxiques qui la rendent non comestible. Parmi ces substances, les esters de phorbol présentent des propriétés biocides et procarcinogènes (Grimm et Maes, 1997). Sur la base des qualités supposées de *J. curcas* concernant notamment sa résistance à la sécheresse, sa capacité de bien produire dans des sols très pauvres et sa faible sensibilité aux attaques de bioagresseurs (Heller, 1996 ; Francis et al., 2005), des plantations industrielles ont été installées dans presque toutes les régions tropicales du globe à partir du début des années 2000. En 2011, la superficie des plantations de *J. curcas* en Afrique était estimée à 95.300 hectares (Wahl et al., 2012). Il existe cependant jusqu'à présent très peu de données scientifiques pour étayer la plupart des affirmations concernant les qualités quasi « miraculeuses » de *J. curcas*. Ceci est en grande partie dû au fait que la mise en place des plantations a précédé la conduite des recherches agronomiques indispensables pour assurer une production durable de la plante.

L'introduction de *J. curcas* dans les systèmes agraires a soulevé de vives polémiques concernant les menaces que faisait peser la production d'agrocarburants sur la sécurité alimentaire (de Souza et al., 2013). Les conséquences de l'accaparement de terres aux dépens de la petite agriculture familiale pour installer de grandes plantations industrielles de *J. curcas* ont été dénoncées par de nombreuses organisations de la société civile (Les Amis de la terre, 2010). Le présent article analyse les connaissances scientifiques disponibles concernant les facteurs écologiques et techniques qui influencent la production de *J. curcas*. Il propose des pistes de solutions pour l'amélioration de son rendement en Afrique subsaharienne.

2. Facteurs écologiques et techniques influençant la production

2.1. Facteurs écologiques

Les contraintes abiotiques (climat et sol) et biotiques (adventices et bioagresseurs) ont une influence sur le potentiel de rendement en graines de *J. curcas* (Wen et al., 2012).

2.1.1. Contraintes abiotiques

a. Le climat

Jatropha curcas est cultivé dans les régions tropicales et subtropicales entre 30°N et 35°S (Brittaine et Litaladio, 2010). Les zones les plus propices à la culture de la plante sont celles où la température moyenne annuelle varie entre 18 et 29 °C, avec des valeurs optimales de 26-27 °C (Trabucco et al., 2010). La température moyenne du mois le plus froid doit dépasser 8-9 °C tandis que la température moyenne idéale du mois le plus chaud est entre 35 et 45 °C. Les températures inférieures à 25 °C pendant le semis sont responsables de l'allongement du temps nécessaire à la levée des graines mais aussi du faible taux de levée pour certains écotypes. D'après Mück et Kiefer (1986), la bonne germination des graines de *J. curcas* est obtenue dans les conditions de températures de 25 à 30 °C.

Les précipitations annuelles de 300 mm permettent d'assurer la survie de la plante (Orwa et al., 2009), et un minimum de 500 mm an⁻¹ est nécessaire pour la production des graines (Jongschaap et al., 2007). A partir de ce seuil, les rendements augmentent très fortement avec la pluviosité annuelle totale pour atteindre un optimum à 1500 mm avant de diminuer lentement à mesure que les précipitations annuelles augmentent (Trabucco et al., 2010 ; Rajaona et al., 2011). L'existence d'une saison sèche est favorable à la production. En Afrique, les zones les plus favorables à la culture de *J. curcas* entourent la région de forêt tropicale humide située au cœur du continent (Trabucco et al., 2010). Dans les régions semi-arides, la pratique de l'irrigation pendant la saison sèche ne permet pas nécessairement la production de fruits durant toute l'année car la température nocturne tombe en dessous du seuil (10 °C) à partir duquel la plante perd son feuillage (Everson et al., 2012 ; Terren et al., 2012a).

b. Le sol

Jatropha curcas préfère des sols profonds, de texture sableuse, à structure grumeleuse et bien drainant où son système racinaire peut se développer de manière optimale. Les sols argileux ne lui conviennent

pas (Gour, 2006). Un pH élevé se traduit par un risque de production de petites graines à faible teneur en huile (Wen et al., 2012). Une bonne teneur en carbone organique du sol est favorable à la culture de *J. curcas* car elle favorise les propriétés physiques et la fertilité chimique du substrat. *Jatropha curcas* est modérément tolérant à la salinité. Cette dernière peut entraîner, en cas de concentrations élevées, la réduction de la surface foliaire et retarder le développement normal des tiges (Dayabhai Patel et al., 2010). *Jatropha curcas* permet de protéger le sol de l'érosion des eaux de pluies grâce à ses racines pivotantes et de l'érosion éolienne par la réduction de la vitesse du vent lorsqu'il est planté en haie (Henning, 2004). Par ces racines pivotantes, *J. curcas* permet de réhabiliter les terres dégradées par l'extraction des minéraux lessivés en profondeur en les remontant à la surface du sol par la production d'une litière (Brittaine et Litaladio, 2010). *Jatropha curcas* améliore également l'infiltration de l'eau de pluie lorsqu'il est planté en lignes pour former des diguettes.

2.1.2. Contraintes biotiques

a. Les adventices

Jatropha curcas est particulièrement sensible à la concurrence des adventices, surtout au moment de l'installation de la culture (Sinkala et Johnson, 2012). En absence de désherbage adéquat, les jeunes plantes restent chétives et finissent par être étouffées par les mauvaises herbes (*Cynodon dactylon* L., *Digitaria* sp., *Imperata cylindrica* (L.) P.Beauv., *Cyperus rotundus* L., etc.). Une fois les plantations installées, l'absence de désherbage se traduit par une chute drastique du rendement (Andersson et al., 2012). De plus, la présence d'une importante végétation herbacée dans les parcelles pendant la saison sèche favorise l'occurrence des feux de brousse et les dégâts causés aux plantes par le bétail à la recherche de fourrage (Barbier et al., 2012).

b. Les bioagresseurs

En Afrique subsaharienne, de nombreux bioagresseurs s'attaquent aux plantes de *J. curcas*. Parmi les arthropodes ravageurs (Tableau 1), l'altise *Aphthona dilutipes* Jacoby est particulièrement dommageable dans les zones les plus humides (RDC, Mozambique, Angola) où elle peut entraîner la défoliation totale des plantes si elle n'est pas contrôlée par l'application d'insecticides (Nyst, 2010 ; Minengu et al., 2013a). La mineuse de feuilles *Stomphastis thraustica* Meyrick est signalée dans quasi

toutes les zones de culture (Nyst, 2010 ; Öhman, 2011 ; Terren et al., 2012b). Des attaques de punaises des capsules (*Calidea sp.*) sont également mentionnées dans de nombreux endroits. Différents champignons et virus sont responsables des maladies affectant *J. curcas* (Tableau 2). Les dégâts les plus importants rapportés jusqu'à présent concernent les attaques de la fusariose (Terren et al., 2012b ; Zarafi et Abdulkadir, 2013).

Tableau 1. Ravageurs de *Jatropha curcas* en Afrique subsaharienne

Ravageurs	Répartition géographique	Dégâts	Auteurs
<i>Aphthona dilutipes</i> Jacoby, <i>Aphthona</i> sp. (Coleoptera, Chrysomelidea)	Mozambique, Malawi, RDC, Afrique du Sud, Tanzanie, Kenya	Les adultes s'attaquent au feuillage et aux fruits en développement.	de Jongh et Nielsen, 2011 Nyst, 2010
<i>Stomphastis thraustica</i> Meyrick (Lepidoptera, Gracillariidae,)	Sénégal, RDC, Nigeria, Ghana, Tanzanie, Madagascar, Afrique du Sud, Zimbabwe, Mozambique	La larve se nourrit de l'intérieur des feuilles et mine ces dernières en provoquant leur chute.	Ranga Rao et al., 2010 Terren et al., 2012b
<i>Pempelia morosalis</i> Saalmüller (Lepidoptera, Pyralidea)	Kenya, Mali, Sénégal	L'adulte se nourrit des inflorescences et s'attaque aux capsules de la plante. Ses larves creusent des galeries dans les tiges et détruisent les feuilles.	Terren et al., 2012b Ranga Rao et al., 2010
<i>Calidea</i> sp. (Heteroptera, Scutelleridae)	Tanzanie, Sénégal, Mali, RDC	Les adultes et les larves provoquent la chute des fleurs, des malformations des graines ou l'avortement des fruits.	Anonyme, 2011 Terren et al., 2012b
<i>Brachytrupes membranaceus</i> Drury (Orthoptera, Grillidae)	RDC	Les adultes coupent les jeunes plants au niveau du collet et consomment la partie aérienne	Minengu et al., 2013b
<i>Odontotermes</i> sp. (Isoptera, Termitidae)	Mali, Malawi, Tanzanie, Mozambique	Les adultes détruisent les racines et tiges, ce qui contribue à la mort de la plante.	Ranga Rao et al., 2010 de Jongh et Nielsen, 2011
<i>Phenacoccus</i> sp. (Hemiptera, Pseudococcidae)	Mozambique, RDC	Les adultes et les larves constituent des colonies qui se présentent sous forme d'amas blanchâtres. Celles-ci provoquent la chute des feuilles, des fleurs et des fruits.	de Jongh et Nielsen, 2011 Minengu et al., 2013b
<i>Tetranychus</i> sp. (Acarina, Tetranychidae)	Sénégal	Les acariens entraînent la dépigmentation (taches jaunes ou rouges) du feuillage associée à l'apparition de petites nécroses.	Smet, 2011

Tableau 2. Champignons/virus affectant *Jatropha curcas* en Afrique subsaharienne

Champignons/virus	Répartition géographique	Symptômes	Auteurs
<i>Fusarium sp.</i>	Sénégal, Mozambique, Nigeria	La pourriture des racines et des tiges, le jaunissement et le flétrissement du feuillage.	Muzondiwa Jingura, 2012 Terren et al., 2012b Zarafi et Abdulkadir, 2013
<i>Macrophomina sp.</i>	Mali	La pourriture du collet. La maladie est favorisée par l'hydromorphie même passagère du sol.	Anonyme, 2011
<i>Cercospora sp.</i>	Zimbabwe	La nécrose et la présence des taches noires ou brunes sur les deux faces de la feuille.	Muzondiwa Jingura, 2012
<i>Oidium sp.</i>	Zimbabwe, Kenya, Tanzanie, RDC	La chute des feuilles et des fleurs.	Endelewu Energy <i>et al.</i> , 2009 Observations personnelles, 2011
<i>Alternaria sp.</i>	Zimbabwe, Kenya, Tanzanie	La chute prématurée des feuilles et des fleurs, et le noircissement des capsules.	Endelewu Energy <i>et al.</i> , 2009 Muzondiwa Jingura, 2012
<i>Begomovirus</i>	Zimbabwe, Kenya, Tanzanie	L'enroulement des feuilles, la réduction du limbe et de la taille des feuilles. La maladie est transmise par <i>Bemisia tabaci</i> Gennadius.	Appiah <i>et al.</i> , 2012

Jatropha curcas est plus sensible aux ravageurs et maladies quand il est cultivé seul que quand il est associé à d'autres cultures annuelles (Shanker et Dhyani, 2006). Les données concernant l'évaluation de l'importance exacte des dégâts causés par les bioagresseurs font encore défaut mais il est probable que l'ampleur de ceux-ci augmentera avec les surfaces cultivées à cause de la croissance de la disponibilité de la ressource alimentaire pour les ravageurs.

2.2. Facteurs techniques : pratiques culturales

Les itinéraires techniques les plus adéquats à appliquer à une culture varient fortement en fonction des conditions du milieu naturel et des moyens de production (matériel de plantation, intrants, force de travail).

2.2.1. Modalités d'installation des plantations

Il est important de noter qu'en agriculture familiale, la production de *J. curcas* n'est réservée qu'aux agriculteurs propriétaires des terres car l'installation de plantes a une implication sur le contrôle du foncier à long terme. *Jatropha curcas* est généralement multiplié par graines ou par bouturage. Les agriculteurs mozambicains et maliens préfèrent utiliser des boutures à cause de leur facilité de propagation et parce qu'elles donnent des plantes qui produisent plus tôt que celles provenant de graines (de Jong et Nielsen, 2011).

La plantation par boutures concerne généralement l'installation des haies. Toutefois, les plantes provenant de boutures montreraient une plus faible longévité et possèderaient une moins bonne résistance à la sécheresse et aux maladies par rapport à celles qui sont issues de graines car elles ne développent pas de racines pivotantes (Heller, 1996 ; de Jong et Nielsen, 2011). Les boutures comme les graines peuvent être utilisées pour produire des plants en pépinière ou être directement plantées en plein champ. La vigueur des plants obtenus en pépinières à partir de graines varie peu selon qu'ils ont été produits directement en pleine terre (plants en racines nues) ou dans des vases de végétation en polyéthylène (Barbier et al., 2012). Le développement végétatif des plantes varie, en revanche, fortement en fonction des caractéristiques du sol et du climat (Singh et al., 2013). En conséquence, les densités de plantation à recommander varient en fonction du système de production et des conditions écologiques de la région. En cas d'associations permanentes de *J. curcas* avec d'autres cultures, les

écartements sont plus importants par rapport à la culture pure. Les densités en culture pure les plus couramment relevées dans la littérature sont de 2 500 pieds ha⁻¹ (2 m x 2 m), 2 000 pieds ha⁻¹ (2,5 m x 2,5 m), 1 667 pieds ha⁻¹ (3 m x 2 m) et 1 111 pieds ha⁻¹ (3 m x 3 m) (Wahl et al., 2012). Au Kenya et au Sénégal, les écartements de 4 m x 4 m et de 8 m x 2 m (625 pieds ha⁻¹) ont été appliqués pour des associations de *J. curcas* avec des cultures vivrières annuelles (Endeleu Energy et al., 2009 ; Barbier et al., 2012).

Il est actuellement admis que la densité de 2 500 pieds ha⁻¹ (2 m x 2 m) est trop dense, surtout dans les sols pauvres où l'on doit augmenter l'espacement des plants à cause de la faible disponibilité de nutriments (Öhman, 2011 ; Wahl et al., 2012). Les matériaux organiques qui résultent du désherbage peuvent être disposés au pied des arbustes (mulching), ce qui maintient l'humidité du sol, améliore sa structure et réduit les besoins en sarclage autour des plantes (Holl et al., 2007) ainsi que les risques d'érosion. Dans des sols à faible capacité de rétention d'eau, le paillis réduit sensiblement l'avortement des fruits provoqué par le stress hydrique (Minengu et al., 2013a).

2.2.2. Fertilisation

Jatropha curcas répond généralement bien à l'application de fertilisants organiques et minéraux (Francis et al., 2005). Un essai sur l'effet d'amendements organiques sur *J. curcas* dans des sols dégradés au Burkina Faso a ainsi montré qu'ils améliorent la croissance et le rendement (Kwetché Sop et al., 2012). Une enquête réalisée au Kenya en 2009, montre que 50% de petits agriculteurs utilisent principalement les engrais organiques (fumier+compost) à raison de 1,87 kg pied⁻¹ (Öhman, 2011).

Une étude menée en Thaïlande sur *J. curcas* (Suriharn et al., 2011), montre que l'application annuelle de la fertilisation minérale (15 kg d'N ha⁻¹, 15 kg P₂O₅ ha⁻¹, 15 kg K₂O ha⁻¹) combinée à la taille des plantes contribue efficacement à l'augmentation du rendement. Chez les cultures pérennes, l'effet des engrais minéraux varie souvent en fonction des caractéristiques du sol et de l'âge de la plante. Aucune publication n'est encore disponible concernant l'influence de l'application d'une fumure minérale (fréquence d'application, formule et dose) sur les performances de *J. curcas* en Afrique subsaharienne.

Bien que les intrants chimiques permettent d'augmenter les rendements, leur coût élevé les rend inaccessibles pour les petits agriculteurs. Ils peuvent conduire à la pollution du sol et de l'eau ainsi

qu'à l'augmentation des émissions de gaz à effet de serre et rendre le bilan carbone de la culture de *J. curcas* moins favorable. L'application de fertilisants devrait au moins compenser les exportations en nutriments causés par les récoltes des fruits et les pertes par érosion. La quantité d'éléments nutritifs exportés par *J. curcas* suite à la récolte de l'équivalent en fruits d'une tonne de graines sèches ha⁻¹ est estimée à 14,4-34,3 kg N, 0,7-7,0 kg P et 14,3-31,6 kg K (Jongschaap et al., 2007). Elle est inférieure à celle exportée par une tonne de cacao marchand, évaluée à 45 kg de N, 5,67 kg de P et 53,93 kg de K (Barrel et al., 2002). La valorisation du tourteau (3,82% de N, 1,75% de P et 1,44% de K) généré par le pressage mécanique des graines de *J. curcas* comme engrais organique (Jongschaap et al., 2007 ; Srinophakun et al., 2012), répond en partie à la problématique de gestion de la fertilité des sols, qui constitue un enjeu majeur avec l'abandon progressif de la jachère dans la plupart des pays d'Afrique subsaharienne.

2.2.3. Taille des plantes

Dans les plantations commerciales d'arbres fruitiers, la taille constitue l'un des moyens de contrôler la hauteur des arbres, leur structure et leur productivité (Marini et Sowers, 2000). Différents types de taille peuvent être pratiqués sur *J. curcas* (Achten et al., 2008). L'ablation plus ou moins drastique du sommet des branches latérales favorise la production de nouvelles ramifications. Les inflorescences apparaissant au sommet des branches, la production d'un grand nombre de nouvelles pousses grâce à la taille, devrait dès lors se traduire par une amélioration du rendement (King et al., 2009). Cet effet bénéfique de la taille n'est cependant pas automatique. Plusieurs auteurs rapportent un retard de l'entrée en production en cas de taille précoce et une diminution importante de la production un an sur deux une fois que les plantes sont installées (Everson et al., 2012 ; Singh et al., 2013).

Un autre effet bénéfique de la taille concerne la limitation de la hauteur des plantes ; ce qui se traduit par une réalisation plus aisée des récoltes (Achten et al., 2008). On parle de « taille de régénération » pour désigner l'opération qui consiste à rabattre les arbustes à une hauteur de 45 cm quand ils ont atteint un trop grand développement (Achten et al., 2008). Il est recommandé de réaliser la taille au début de la période la plus sèche de l'année après que les arbustes aient perdu leurs feuilles (Gour, 2006). La réalisation de celle-ci au début ou en pleine saison des pluies retarde ou annule la

production. La taille de *J. curcas* est rarement pratiquée par les petits agriculteurs africains (Öhman, 2011 ; Diedhiou et al., 2012). Beaucoup d'entre eux considèrent que couper des branches a un effet négatif sur le développement des arbustes (Barbier et al., 2012).

2.2.4. Cultures intercalaires

De nombreuses cultures annuelles ou pérennes, vivrières, fourragères, industrielles, ou ayant simplement pour but de couvrir le sol et de l'enrichir en carbone organique et en éléments nutritifs, peuvent être associées à la culture de *J. curcas*. Le système d'association de *J. curcas* avec les cultures vivrières annuelles permet aux agriculteurs d'exploiter le même terrain pour la production alimentaire et énergétique tout en générant des revenus pour l'entretien du champ avant la pleine production de la culture pérenne (Diedhiou et al., 2012). Le haricot commun (*Phaseolus vulgaris* L.), l'arachide (*Arachis hypogaea* L.), le maïs (*Zea mays* L.), le bananier (*Musa* sp.), le sorgho (*Sorghum bicolor* (L.) Moench), la patate douce (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.), le mil (*Pennisetum glaucum* (L.) R. BR.), le niébé (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) et les cultures maraîchères sont associées à la culture de *J. curcas* dans différentes zones de production en Afrique subsaharienne (Tim Kagiso, 2009 ; Öhnam, 2011 ; Diedhiou et al., 2012).

La culture de *J. curcas* en association avec d'autres plantes n'est possible que lorsque les nutriments et l'eau sont suffisamment disponibles (Öhman, 2011). Dans des endroits secs, sans irrigation, la culture intercalaire n'est pas possible en raison de la compétition pour l'eau (Singh et al., 2007). Dans les sols pauvres en éléments nutritifs, la culture intercalaire est seulement possible avec un supplément de fertilisation. L'association de *J. curcas* avec une autre euphorbiacée comme l'hévéa (*Hevea brasiliensis* (Willd. ex A.Juss.) Müll.Arg.) ou le manioc (*Manihot esculenta* Crantz) est déconseillée du fait de leur sensibilité aux mêmes agents pathogènes. L'installation de plantes de couverture entre les lignes de *J. curcas* devrait permettre une meilleure gestion de la fertilité du sol, du contrôle des adventices dans les plantations en culture pure en zones tropicales humides et de l'érosion des sols.

On peut supposer que certaines des espèces cultivées classiquement à cette fin dans d'autres plantations industrielles (*Elaeis guineensis* Jacq., *H. brasiliensis*,...) devraient convenir, mais aucune recherche ne semble avoir déjà été entreprise sur ce sujet. Dans une étude réalisée au Plateau des

Batéké dans la banlieue de Kinshasa en RDC (plantation de 4 ans), la rentabilité de l'association de *J. curcas* avec les cultures vivrières (maïs et haricot commun) était meilleure que celle de la culture pure de *J. curcas* (Minengu et al., 2013a). La contribution au revenu agricole familial de l'association était de 1102 USD ha⁻¹ alors qu'il y avait une perte de 6 USD ha⁻¹ en culture pure de *J. curcas*, sans application d'engrais. La culture pure de *J. curcas* présente des problèmes spécifiques, allant de la pullulation de ravageurs, à la gestion des maladies et à une rentabilité financière incertaine (Achten et al., 2010). Les facteurs à prendre en compte pour le développement des associations culturales sont : la morphologie et la phénologie des cultures associées, la densité de plantation, le calendrier de plantation, la fertilité du sol et la disponibilité en eau.

Jatropha curcas est utilisé comme haie vive dans beaucoup de pays au sud du Sahara. Sa diffusion à grande échelle sous forme de haie vive dans le paysage agraire permettrait d'améliorer la gestion de l'espace rural soudano-sahélien du fait du mode d'élevage et des pratiques culturales (Muzondiwa Jingura, 2012). En protégeant les terres, la haie permet à l'agriculteur d'entreprendre des améliorations foncières et des spéculations de longue durée qu'il n'aurait pu envisager sur des terres ouvertes à la libre pâture (Yossi et al., 2006). La production de *J. curcas* en haies vives est observée au Mali, au Kenya, en Tanzanie, en Afrique du Sud et au Sénégal (Endeleu Energy et al., 2009; Barbier et al., 2012 ; Muzondiwa Jingura, 2012). Ces haies peuvent jouer un rôle protecteur contre la divagation des animaux (haies défensives) et l'érosion du sol (haies antiérosives), le rôle de bornes naturelles pour la délimitation foncière et un rôle ornemental. La plupart des types de haies incorporent également à divers degrés la fonction de production (Yossi et al., 2006).

2.2.5. Contrôle des bioagresseurs et adventices

La méthode de contrôle des adventices la plus souvent pratiquée est le désherbage manuel (sarclage). Ce dernier constitue, dans la plupart des plantations paysannes en Afrique, l'une des activités qui mobilise le plus de main d'œuvre. Il faut compter 50 à 80 h.j ha⁻¹ an⁻¹ pour le sarclage (Bruggeman et al., 2010 ; Minengu et al., 2013a). Aucune donnée concernant l'emploi d'herbicides n'est mentionnée jusqu'à présent pour la culture de *J. curcas* en Afrique. Quand leurs dégâts sont importants, le contrôle des ravageurs de *J. curcas* se fait avec des pesticides chimiques (Ranga Rao et al., 2010 ; Nyst, 2010).

Ces derniers ne sont généralement utilisés que pour la réalisation d'expérimentations ou en production agro-industrielle.

Des essais ont été réalisés par Nyst (2010) concernant l'efficacité du diméthoate, de l'endosulfan et de la deltaméthrine contre *Apthona sp.* et *S. thraustica* dans la région de Kinshasa. Les résultats obtenus ont montré l'impossibilité de production de *J. curcas* sans l'application de 2 ou 3 traitements insecticides. Le coût très élevé de ces produits (20 à 30 USD litre⁻¹ en RDC) et l'absence de données sur la dynamique des populations de ces ravageurs au cours de l'année, rendent difficile la mise en place d'une stratégie de protection de la culture.

2.2.6. Techniques de récolte et rendement

La collecte des graines se réalise en deux étapes : la récolte des capsules puis l'égrenage de celles-ci pour séparer les graines des parois du fruit. La maturité physiologique des fruits est atteinte quand ils se colorent en jaune. A ce stade, le décorticage manuel des capsules est aisé et dans ce cas il faut faire sécher les graines. Du fait de l'étalement de la production des fruits dans le temps et du manque de disponibilité en main d'œuvre pour réaliser des passages réguliers dans les plantations, ce sont généralement des capsules aux carpelles totalement desséchés et de couleur noire qui sont récoltées (Barbier et al., 2012). A ce stade de maturation, le décorticage manuel des fruits est une opération fastidieuse.

La durée de développement des fruits de la fécondation à la maturité est en moyenne de 90 jours (Brittaine et Lutaladio, 2010). Elle varie en fonction des conditions écologiques et culturelles des sites et des écotypes utilisés. Elle est continue en climat humide. On compte généralement un pic de récolte en zones soudano-sahélienne et deux pics de récoltes en zones à pluviométrie bimodale. La maturité échelonnée des fruits représente un frein pour la récolte mécanique et explique que toutes les opérations de récolte des capsules se font manuellement. La quantité de capsules récoltées par personne et par jour dépend de la hauteur et du port des arbustes, de la méthode de ramassage des fruits, du nombre de fruits portés par arbuste et de la densité de plantation (Domergue et Pirot, 2008).

Le mode de décorticage des capsules (manuel ou mécanisé) influence fortement la quantité de graines susceptible d'être obtenue par journée de travail. La diversité des facteurs qui influencent les temps de

collecte et de décorticage des capsules peut expliquer que les chiffres avancés concernant la productivité des collecteurs de graines vont de 16 kg à plus de 30 kg par personne et par jour (Rijssenbeek et Galema, 2010). La collecte des graines est l'un des facteurs critiques qui conditionnent la rentabilité de la culture de *J. curcas* car, une fois les plantations installées, une bonne partie du temps de travail nécessaire à la production est consacrée aux opérations de récolte et de décorticage des capsules. La possibilité d'une récolte mécanique à l'aide d'un vibreur pourrait être envisagée si l'on arrive à obtenir une maturation groupée des fruits et si la rentabilité financière le permet.

Le rendement d'une culture pérenne dépend des caractéristiques du milieu naturel, du matériel de plantation utilisé, de son âge et des techniques de production appliquées. La diversité de ces facteurs se traduit par une grande variabilité des rendements atteints par *J. curcas* en Afrique subsaharienne. Ceux-ci sont plus faibles (Tableau 3) que les plafonds de 4 à 8 tonnes de graines ha⁻¹ cités par Heller (1996), Francis et al. (2005) et Jongshaap et al. (2007). Les délais mentionnés pour l'entrée en pleine production des plantes de *J. curcas* sont souvent plus longs que les 5 ans annoncés dans la littérature (Achten et al., 2008). Les faibles niveaux de rendement obtenus en conditions marginales (Singh et al., 2013) ont amené certains auteurs à considérer que la culture de *J. curcas* ne pouvait être rentable que dans des zones aux sols et au climat propices (Segerstedt et Bobert, 2013) qui devraient être réservées à la production alimentaire.

Tableau 3. Rendement de *J. curcas* dans quelques pays d'Afrique subsaharienne

Pays	Rendement	Age de la Plantation (années)	Pluviométrie (mm an ⁻¹)	Système de culture (avec ou sans application engrais)	Auteurs
Mali	500 kg de graines sèches ha ⁻¹ 1 kg m ⁻¹ de haie vive	3	800	Sans engrais	de Jongh et Nielsen, 2011 Henning, 2000
Kenya	1280 kg de graines sèches ha ⁻¹ 0,54 kg des graines sèches/plante cultivée en haie avec un espacement de 0,5 m entre les plantes	5	900	Sans engrais	Endelewu Energy et al., 2009
RDC	785 kg de graines sèches ha ⁻¹ 1150 kg de graines sèches ha ⁻¹	4 4	1500 1500	Sans engrais Avec engrais	Minengu et al., 2013a
Sénégal	500 kg de graines sèches ha ⁻¹ 1,02 kg mètre de haie avec un espacement de 2,5 m entre les plantes	4 30	180-300 800-1000	Avec engrais et irrigation Sans engrais	Terren et al., 2012a Barbier et al., 2012
Mozambique	214 kg de graines sèches ha ⁻¹	3	750	Sans engrais	de Jongh et Nielsen, 2011
Zambie	500 kg de graines sèches ha ⁻¹	3	950	Sans engrais	Trabucco et al., 2010
Afrique du Sud	348,8 kg de graines sèches ha ⁻¹	4	630	Sans engrais	Everson et al., 2012

3. Diversité génétique et disponibilité en matériel de plantation amélioré

Jatropha curcas n'est pas originaire d'Afrique. Il y a été introduit au 16^{ème} Siècle par les Portugais (Heller, 1996). La diversité génétique des écotypes africains évaluée au moyen de marqueurs moléculaires, est plus faible que celle des écotypes collectés en Amérique centrale, le centre d'origine supposé de l'espèce (Diedhiou et al., 2012). Paradoxalement, cette diversité génétique limitée ne se traduit pas par une faible variabilité phénotypique. Ce paradoxe pourrait s'expliquer par un contrôle épigénétique de nombreux caractères.

Dans des essais comparatifs d'écotypes originaires d'une dizaine de régions différentes du Sénégal et du Cap Vert, Heller (1996) a montré qu'il existe une interaction importante entre le génotype et l'environnement. Une étude réalisée en Malaisie sur des populations de *Jatropha curcas* L. provenant de Malaisie, d'Inde, de l'Indonésie et des Philippines (Biabani et al., 2012), indique des différences significatives entre ces populations en ce qui concernent la précocité de floraison, le nombre d'inflorescences, le nombre de fruits par plante, le nombre de graines par plante, le rendement en graines et en huile par hectare.

En effet, la plupart des plantations de *J. curcas* ont été réalisées avec des semences (boutures et graines) récoltées sur des arbustes subspontanés n'ayant fait l'objet d'aucune sélection préalable ou des semences sélectionnées pour leur productivité dans des zones géographiques ne présentant pas des conditions environnementales identiques (Wahl et al., 2012). Cela explique en grande partie les faibles performances de ces plantations et la très grande variabilité des rendements obtenus, d'un champ à l'autre, et entre plantes au sein d'une même parcelle (Jongschaap et al., 2007). Des programmes de sélection et d'amélioration génétique de *J. curcas* existent depuis plusieurs années en Afrique, notamment dans les îles du Cap Vert (Société Quinvita), au Ghana (Bionic Palm Ltd), au Bénin (Ahoton et al., 2012) et au Sénégal (Diedhiou et al., 2012). A notre connaissance, aucune publication comparant les performances de variétés de *J. curcas* ayant atteint leur plein potentiel de production n'est déjà disponible. *Jatropha curcas* est une plante monoïque dicline fortement allogame. Diverses méthodes d'amélioration génétique (sélection massale, sélection récurrente, mutation, hybridation interspécifique, etc.) peuvent être appliquées pour l'exploitation de la variabilité génétique de la plante

(Divakara et al., 2010). La société Bionic Palm Ltd mentionne des résultats très prometteurs concernant la production d'hybrides F1 (Riemann, 2013).

4. Conclusion et pistes d'amélioration des rendements

Peu de travaux scientifiques ont été publiés jusqu'à présent concernant l'influence des conditions de l'environnement et des pratiques culturales sur le rendement de la culture de *J. curcas* en Afrique subsaharienne. Les données disponibles permettent cependant d'affirmer que la diffusion de cette culture s'est heurtée à de fortes contraintes. En premier lieu, malgré sa toxicité et ses propriétés biocides, la plante n'est pas épargnée par les attaques de nombreux bioagresseurs dont certains peuvent avoir une incidence extrêmement négative sur son développement. D'autre part, si la plante peut pousser dans des conditions marginales en termes de disponibilité en eau et en nutriments au niveau du sol, les rendements obtenus dans ces conditions sont généralement plus faibles que ce qui était attendu.

Les plantations ont été installées avec un matériel végétal non amélioré et les connaissances concernant les techniques de production les mieux adaptées aux contextes locaux font le plus souvent défaut. Les expériences menées jusqu'à présent montrent qu'avec le matériel de plantation actuellement disponible, la culture de *J. curcas* ne peut se faire qu'en conditions favorables. L'ensemble de ces facteurs explique sans doute les faibles niveaux de rendement rapportés jusqu'à présent. Les résultats obtenus dans la plupart des plantations de *J. curcas* en Afrique subsaharienne, contrastent avec ce qui était annoncé par certains auteurs tant du point de vue de l'adaptation à l'environnement que des pratiques culturales à appliquer. Pour améliorer le rendement de la culture de *J. curcas* en Afrique subsaharienne, d'importantes recherches sont nécessaires dans les différentes zones de production. Il sera question : (i) de développer les programmes d'amélioration de la plante en fonction des zones agro-écologiques en se basant sur les critères comme la précocité d'entrée en pleine production, la résistance aux contraintes abiotiques et biotiques, le rendement, la facilité de récolte, la vitesse de maturation des fruits et la teneur en huile (cette activité vient en tête des priorités dans toutes les zones de culture), (ii) d'étudier l'influence des contraintes abiotiques et biotiques sur le développement et la production de *J. curcas* en fonction des zones agro-écologiques, (iii) de

développer les méthodes de lutte intégrée pour contrôler les bioagresseurs et les adventices, ceci est particulièrement important en Afrique centrale où l'extension durable de la culture de *J. curcas* ne peut se réaliser sans la mise au point de méthodes de lutte intégrée permettant de contrôler les principaux ravageurs de la plante, (iv) d'étudier la rentabilité des différentes méthodes de fertilisation et d'analyser le rapport coût/bénéfice de l'utilisation du tourteau de *J. curcas* comme amendement, (v) de déterminer les meilleures modalités de réalisation de tailles sur *J. curcas* en fonction des caractéristiques de l'environnement naturel, des variétés cultivées et du niveau d'intensification de la production, (vi) de déterminer les performances des systèmes de cultures associées (agriculture de conservation et agroforesterie) ainsi que les effets qu'ils induisent (concurrence vis-à-vis de *J. curcas*, impact sur les ravageurs, maladies et adventices, infiltration de l'eau, contrôle de l'érosion, effet brise-vent, etc.), et (vii) d'évaluer la rentabilité économique des plantations familiales et industrielles existantes.

Références bibliographiques

- Achten W.M.J., Verchot L., Franken Y.J., Mathijs E., Singh V.P., Aerts R. & Muys B., 2008. *Jatropha* bio-diesel production and use. *Biomass and Bioenergy*, 32, 1063-1084.
- Achten W.M.J., Maes W.H., Aerts R., Verchot L., Trabucco, A., Mathijs E., Singh V.P. & Muys B., 2010. *Jatropha*: from global hype to local opportunity. *Journal of Arid Environments*, 74, 164-165.
- Ahoton L.E. & Quenum F., 2012. Floral biology and hybridization potential of nine accessions of physic nut (*Jatropha curcas* L.) originating from three continents. *Tropicultura*, 30 (4), 193-198.
- Andersson C.E.F., Everson T.M. & Everson C.S., 2012. Management of oil producing *Jatropha curcas* silvopastoral system: risk of herbivory by indigenous goats and competition with planted pastures. *Biomass and Bioenergy*, 30, 1-9. doi:10.1016/j.biombioe.2012.05.007.
- Anonyme, 2011. *Rapport final du projet «Evaluation et optimisation du potentiel de développement d'une culture oléagineuse à hautes performances énergétique et environnementale pour la production de biodiesel, le Jatropha curcas»*, Cirad, Enerbio, Fondation Tuck.

- <http://www.fondation-tuck.fr/resultats/projets/2008/documents-projet-01/2008-P01-rapport-final.pdf>, (13/03/2013).
- Appiah A.S., Amoatey H.M., Klu G.Y.P., Afful N.T., Azu E. & Owusu G.K., 2012. Spread of African cassava mosaic virus from cassava (*Manihot esculenta* Crantz) to physic nut (*Jatropha curcas* L.) in Ghana. *Journal of Phytology*, 4(1), 31-37. <http://journal-phytology.com/>, (14/04/2013).
- Barbier J., Cissao M., Cissé C., Loch F., Grand C. & Mergeai G., 2012. *Intérêts de mettre en place une filière courte basée sur la culture du Jatropha (Jatropha curcas L.) dans la Communauté Rurale de Dialacoto Sénégal*. Document de synthèse de recherche. <http://orbi.ulg.ac.be/bitstream/2268/130282/1/20120703%20document%20synth%C3%A8se%20jatropha%20vf.pdf>, (24/04/2013).
- Barrel M., Battini J.L., Duris D., Hekimian Lethève C. & Trocmé O., 2002. Les plantes stimulantes, le Cacaoyer. In *Mémento de l'agronome*, Ministère des Affaires étrangères, Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement (CIRAD), Groupe de recherche et d'échanges technologiques (GRET), France, p. 1051-1078.
- Biabani A., Rafii M.Y., Saleh G.B., Shabanimofrad M. & Latif Md.A., 2012. Phenotypic and genetic variation of *Jatropha curcas* L. populations from different countries. *Maydica*, 57, 164-174.
- Brittaine R. & Litaladio N., 2010. *Jatropha: a smallholder bioenergy crop: the potential for pro-poor development*. *Integrated Crop Management*, vol. 8. Food and Agriculture Organization of The United Nations, Rome, 114 p. <http://www.fao.org/docrep/012/i1219e/i1219e.pdf>, (06/05/2012).
- Bruggeman P. G., Fakambi K., Fauveaud S. & Liagre L., 2010. Les filières agrocarburants de proximité à base de *Jatropha*: opportunités, acquis et points de vigilance pour un accès à l'énergie en faveur des populations rurales d'Afrique de l'Ouest. *SudSciences et Technologies*, 19 & 20, 107-108.
- Dayabhai Patel A., Sundaibhai Panchal N., Bhushan Pandey I. & Amar Nath Pandey A., 2010. Growth, water status and nutrient accumulation of seedlings of *Jatropha curcas* L. (Euphorbiaceae) in response to soil salinity. *Anales de Biologia*, 32, 59-71.
- de Jongh J. & Nielsen F., 2011. Lessons learned: *Jatropha* for local development. Fact foundation, 65 p. <http://www.fact-foundation.com/en/Knowledge>, (15/03/2013).

- de Souza A. C., Ribeiro R. P., Dourado Jacinto J. T., Rodrigues Cintra A. D. A., Amaral R. S., A Santos A. C. & Matos F. S., 2013. Intercropping of physic nut and bean: alternative to family farm. *Dourados*, 6(9), 36-42.
- Diedhiou I., Madiallacké Diédhiou P., Ndir K., Bayala R., Ouattara B. , Mbaye B., Kane M., Dia D. & Wade I., 2012. Diversity, Farming Systems, Growth and Productivity of *Jatropha curcas* L. in the Sudano-Sahelian Zone of Senegal, West Africa. In: *Jatropha, Challenges for a New Energy Crop: Volume 1: Farming, Economics and Biofuel* Eds: N. Carels *et al.*, Science+Business Media, New York, pp. 281-295.
- Divakara B.N, Upadhyaya H.D., Wani S.P. & Laxmipathi Gowda C.L., 2010. Biology and genetic improvement of *Jatropha curcas* L.: A review. *Applied Energy*, 87, 732-742.
- Domergue M. & Pirot R., 2008. *Jatropha curcas* L. Rapport de synthèse bibliographique, Cirad, 118 p. www.fact-foundation.com/media_en/French_Jatropha_Document_Cirad, (10/09/2010).
- Endelevu Energy, World Agroforestry Centre & Kenya Forestry Research Institute, 2009. *Jatropha Reality Check: A field assessment of the agronomic and economic viability of jatropha and other oilseed crops in Kenya*. Report GTZ–Regional Energy Advisory Platform, Nairobi, 158 p. <http://www.worldagroforestry.org/downloads/publications/PDFs/B16599.PDF>, (18/10/2012).
- Everson C.S., Mengistu M.G. & Gush M.B., 2012. A field assessment of the agronomic performance and water use of *Jatropha curcas* in South Africa. *Biomass and Bioenergy*, doi :10.1016/j.biombioe.2012.03.013.
- Francis G., Edinger R. & Becker K. A., 2005. A concept for simultaneous wasteland reclamation, fuel production, and socio-economic development in degraded areas in India: need, potential and perspectives of *Jatropha* plantations. *Natural Resources Forum*, 29, 12-24.
- Gour V.K., 2006. Production practices including post-harvest management of *Jatropha curcas*, in: *Proceedings of the biodiesel conference toward energy independence. Focus of Jatropha*, Hyderabad, India, June 9-10, pp. 223-251.
- Grimm C. & Maes J-M., 1997. Arthropod Fauna Associated with *Jatropha curcas* L. in Nicaragua: a synopsis of species, their biology and pest status. In: Gubitz GM, Mittelbach M, Trabi M, editors.

- Biofuels and industrial products from Jatropha curcas-Proceedings from the symposium ‘‘Jatropha 97,’’* Managua, Nicaragua, February, 23-27. Graz, Austria: Dbv-Verlag. p. 31-9.
- Heller J., 1996. *Physic nut. Jatropha curcas L. Promoting the conservation and use of underutilised and neglected crops*. 1. Gatersleben, Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research and Rome, International Plant Genetic Resources Institute, 66 p.
- Henning R.K., 2000. *The Jatropha Booklet-A guide to the Jatropha system and its dissemination in Zambia*. Bagani GbR, Weissensberg.
- Henning R. K., 2004. *Jatropha curcas L. in Africa. Case Study*. Weissenberg, Germany, Bagani. 49 p.
- Holl M.A., Gush M.B., Hallows J., & Versfeld D.B., 2007. *Jatropha curcas in South Africa: An Assessment of its Water Use and Bio-Physical Potential*. WRC Report No 1497/1/07, 154 p.
- Jongschaap R.E.E., Corre´ W.J., Bindraban P.S. & Brandenburg W.A., 2007. *Claims and facts on Jatropha curcas L.: global Jatropha curcas evaluation, breeding and propagation programme*. Plant Research International B.V., Wageningen. Report.
- King A.J., He W., Cuevas J.A., Freudenberger M., Ramiaramananana D. & Graham I.A., 2009. Potential of *Jatropha curcas* as source of renewable oil and animal feed. *Journal Exp. Environ. Botany*, 60 (10), 2897-2905.
- Kwetché Sop T., Wenemi Kagambega F., Bellefontaine R., Schmiedel U. & Thiombiano A., 2012. Effects of organic amendment on early growth performance of *Jatropha curcas* L. on a severely degraded site in the Sub-Sahel of Burkina Faso. *Agroforest Syst.*, 86, 387-399.
- Les Amis de la terre, 2010. *Afrique: terre(s) de toutes les convoitises, Ampleur et conséquences de l'accaparement des terres pour produire des agrocarburants*. Rapport, 36 P.
- Marini R.P., & Sowers D.S., 2000. Peach tree growth, yield, and profitability as influenced by tree form and tree density. *Hort. Sci.*, 35, 827-832.
- Minengu J.D.D., Mobambo P. & Mergeai G., 2013a. Analyse des performances technico-économiques de quatre systèmes de culture basés sur la production de *Jatropha curcas* L. dans la région de Kinshasa (République Démocratique du Congo). *Tropicultura*, In press.

- Minengu J.D.D, Verheggen F. & Mergeai G., 2013b. Dynamique et impact des principaux insectes ravageurs de *Jatropha curcas* L. dans deux systèmes de culture aux caractéristiques contrastées de la province de Kinshasa (République Démocratique du Congo). *Tropicultura*, In press.
- Münch E., & Kiefer J., 1986. *Le Pourghère (Jatropha curcas L.): Botanique, écologie, culture (1ère partie), produits de récolte, filières de valorisations, réflexions économique (2ème partie)*. Mémoire de Fin d'Etudes, Université de Stuttgart-Hohenheim, Germany, 276 p.
- Muzondiwa Jingura R., 2012. Socio-Economy, Agro-Ecological Zones, Agronomic Practices and Farming System of *Jatropha curcas* L. in Sub-Saharan Africa. In: *Jatropha, Challenges for a New Energy Crop: Volume 1: Farming, Economics and Biofuel* Eds: N. Carels *et al.* Science+Business Media, New York, pp. 53-69.
- Nyst J., 2010. *Contribution à l'étude des possibilités de culture de Jatropha curcas L. Sur le Plateau des Batéké RDC*. Travail de fin d'études présenté en vue de l'obtention de diplôme de master bioingénieur en sciences agronomiques, orientation agronomie tropicale, Université de Liège-Gembloux Agro-Bio Tech, Belgique, 81 p.
- Öhman J., 2011. *Cultivation and Management of Jatropha curcas L. by Smallholder Farmers in the Kenyan Districts Baringo and Koibatek*. Thesis, Yrkshocskolan Novia University of Applied Sciences, Finland, 92 p.
- Orwa C., Mutua A., Kindt R., Jamnadass R. & Simons A., 2009. *Agroforestry database: a tree reference and selection guide, version 4.0: Jatropha curcas*. Available at: www.worldagroforestry.org/sea/Products/AFDbases/af/asp/SpeciesInfo.asp?SpID=1013, (10/10/2013).
- Rajaona A.M., Brueck H. & Asch F., 2011. Effect of pruning history on growth and dry mass partitioning of *Jatropha* on a plantation site in Madagascar. *Biomass and Bioenergy*, 35, 4892-4900.
- Ranga Rao G.V., Marimuttu S., Wani S.P. & Rameshwar Rao V., 2010. *Insects pests of Jatropha curcas L. and their management*. Information bulletin. Patancheru, India: International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics, 26 p. http://oar.icrisat.org/5582/1/Insectpest_InfoBull_2010.pdf, (05/06/2012).

- Riemann U., 2013. *The Bionic Jatropha Breeding Platform in 2013*. <http://jatropha.bionic-enterprises.com/the-bionic-jatropha-breeding-platform-in-2013/>, (15/10/2013).
- Rijssenbeek W. & Galema T., 2010. Harvesting. In : *Fact foundation, The Jatropha handbook – from cultivation to application*. Eindhoven (Pays-Bas) : 29-37.
- Segerstedt A. & Bobert J., 2013. Revising the potential of large-scale *Jatropha* oil production in Tanzania: an economic land evaluation assessment. *Energy policy*, 57, 491-505.
- Shanker C. & Dhyani, S.K., 2006. Insect pests of *Jatropha curcas* L. and the potential for their management. *Current Science*, 91, 162-163.
- Singh R.A., Munish Kumar & Ekhlaiq Haider, 2007. Synergistic cropping of summer groundnut with *Jatropha curcas*-A new two-tier cropping system for Uttar Pradesh. *Journal of SAT Agricultural Research*, 5 (1). <http://www.icrisat.org/journal/volume5/Groundnut/gn9.pdf>. (10/10/2013).
- Singh B., Singh K., Rejeshwar Rao G. , Chikara J., Kumar D., Mishra D.K., Saikia S.P., Pathre U.V., Raghuvanshi N., Rahi T.S. & Tuli R., 2013. Agro-technology of *Jatropha curcas* for diverse environmental conditions in India. *Biomass and Bioenergy*, 48, 191-202.
- Sinkala T. & Johnson F.X., 2012. Small-Scale Production of *Jatropha* in Zambia and its Implications for Rural Development and National Biofuel Policies. In R. Janssen and D. Rutz (eds.). *Bioenergy for Sustainable Development in Africa*, p. 41-51.
- Smet J., 2011. *Bilan et perspective des premières campagnes de plantation de Jatropha curcas L. en agriculture pluviale au niveau du Groupement de Bambougar, dans le cadre du Programme Energie Eau Solidarité Foundiougne, Sénégal*. Travail de fin d'études, Master Bioingénieur en Sciences Agronomiques, orientation Agronomie Générale, Université de Liège, Gembloux Agro-BioTech, Belgique, 99 p.
- Srinophakun P., Titapiwatanakun B., Sooksathan I. & Punsuvon V., 2012. Prospect of Deoiled *Jatropha curcas* Seedcake as Fertilizer for Vegetables Crops-A Case Study. *Journal of Agricultural Science*, 4(3), 211-226.
- Suriharn B., Sanitchon J., Sangsri P. & Kesmala T., 2011. Effets of Pruning Levels and Fertilizer Rates on Yield of Physic Nut (*Jatropha curcas* L.). *Asian Journal of Plant Sciences*, 10(1), 52-59.

- Terren M., Saverys S., Jacquet de Haveskercke P., Winandy S. & Mergeai G., 2012a. Attempted Cultivation of *Jatropha curcas* L. in the Lower Senegal River Valley: Story of a Failure. *Tropicultura*, 30(4), 204-208.
- Terren M., Mignon J., Declerck C., Jijakli H., Savery S., Jacquet de Haveskercke P., Winandy S. & Mergeai G., 2012b. Principal Disease and Insect Pests of *Jatropha curcas* L. in the Lower Valley of the Senegal River. *Tropicultura*, 30(4), 222-229.
- Tim Kagiso L., 2009. *Socio-economic Impact of a Jatropha-Project on Smallholder Farmers in Mpanda, Tanzania, Case Study of a Public-Private-Partnership Project in Tanzania*. Hohenheim, October 2008, revised January 2009. Master Thesis related to the module. University of Hohenheim, Institute for Agricultural Economics and Social Sciences in the Tropics and Subtropics, 157 p. https://www.uni-hohenheim.de/fileadmin/einrichtungen/troz/Documents/Bioenergy/M.Sc.Loos_Tansania.pdf, (12/02/2012).
- Trabucco A., Achten W.M.J., Bowe C., Aerts R., Van Orshoven J., Norgrove L. *et al.*, 2010. Global mapping of *Jatropha curcas* yield based on response of fitness to present and future climate. *Glob. Change. Biol. Bioenergy*, 2, 139-151. doi: 10.1111/j.1757-1707.2010.01049.x
- Wahl N., Hildebrandt T., Moser C., Lüdeke-Freund F., Averdunk K., Bailis R., *et al.*, 2012. *Insights Into Jatropha Projects Worldwide*. Key Facts & Figures from a Global Survey, Report, 72 p.
- Wen Yg., Tang M., Sun D., Zhua H., Wei J., Chen F. & Tang L., 2012. Influence of Climatic Factors and Soil Types on Seed Weight and Oil Content of *Jatropha curcas* in Guangxi, China. *Procedia Environmental Sciences*, 12, 439-444.
- Yossi H., Kaya B., Traoré CO., Niang A., Butare I., Levasseur V. & Sanogo D., 2006. *Les haies vives au Sahel. Etat des connaissances et recommandations pour la recherche et le développement*. ICRAF Occasional Paper No. 6. Nairobi: World Agroforestry Centre, 60 p. <http://www.worldagroforestry.org/downloads/publications/PDFs/OP14457.PDF>, (24/06/2012).
- Zarafi A.B. & Abdulkadir L.D., 2013. The incidence and severity of *Jatropha* dieback disease in Zaria, Nigeria. *Archives of phytopathology and plant protection*, 46, 952-961

II.2. Analyse des performances technico-économiques de quatre systèmes de culture basés sur la production de *Jatropha curcas* L. dans la région de Kinshasa (République Démocratique du Congo)

Résumé

Afin d'évaluer la durabilité de la production de *Jatropha curcas* L. dans la partie rurale de la région de Kinshasa, quatre systèmes de culture de la plante ont été comparés: la culture pure de *J. curcas* avec et sans engrais, l'association de *J. curcas* avec des cultures vivrières (maïs *Zea mays* L., haricot commun *Phaseolus vulgaris* L.) avec et sans engrais. Les fortes attaques de ravageurs (principalement *Aphthona* sp.) subies par les plantes de *J. curcas* dans la région rendent indispensable la réalisation d'au moins deux traitements insecticides par an.

Les rendements en graines sèches de *J. curcas* obtenus en 4^{ème} année de culture s'élevaient respectivement à 753 kg ha⁻¹ en culture pure de *J. curcas* sans engrais, 797 kg ha⁻¹ en cultures associées sans engrais, 1158 kg ha⁻¹ en culture pure de *J. curcas* avec engrais et 1173 kg ha⁻¹ en cultures associées avec engrais. Les rendements des cultures vivrières n'ont pas été améliorés par l'application d'engrais. Ils s'élevaient en moyenne à 815 kg ha⁻¹ pour le maïs et 676 kg ha⁻¹ pour le haricot commun. La rentabilité de l'association de *J. curcas* avec le maïs et le haricot commun est meilleure que la culture pure de *J. curcas*. Le revenu agricole d'un ha de cette association s'élève respectivement à 1102 USD ha⁻¹ sans engrais et à 1049 USD ha⁻¹ avec engrais. L'exploitation durable de *J. curcas* dans les conditions d'étude nécessite la mise au point de méthodes efficaces de contrôle des adventices et des ravageurs et d'amélioration de la fertilité du sol minimisant l'emploi d'engrais minéraux.

Mots clés : *Jatropha*, associations culturales, rendement, revenu agricole, Kinshasa.

Abstract

To assess the sustainability of the production of *Jatropha curcas* L. in the rural area of Kinshasa, four cropping systems were compared: sole cropping *J. curcas* with and without fertilizer, association of *J. curcas* with food crops (maize *Zea mays* L., beans *Phaseolus vulgaris* L.), with and without

fertilizer. Heavy attacks on *J. curcas* in the region from insect pests (mainly *Apthona* sp.) make it essential to carry out at least two insecticide treatments a year.

The dry seed yields of *J. curcas* obtained the fourth year of cultivation amounted respectively to 753 kg ha⁻¹ in sole cropping of *J. curcas* without fertilizer, 797 kg ha⁻¹ in intercropping without fertilizer, 1158 kg ha⁻¹ in sole cropping with fertilizer, and 1173 kg ha⁻¹ in intercropping with fertilizer. The yields of the two annual crops were not improved by the application of mineral fertilizers on the *J. curcas* plants. On an average, dry seed yields were respectively 815 kg ha⁻¹ for maize and 675 kg ha⁻¹ for beans. The profitability of the intercropping of *J. curcas* with maize and beans is better than when *J. curcas* is cultivated alone. Farm income of one hectare of this association is respectively 1102 USD ha⁻¹ without fertilizer and 1049 USD ha⁻¹ with fertilizers. The sustainable exploitation of *J. curcas* under the conditions of study requires the development of effective methods of pest and weed control, and soil fertility improvement minimizing the use of mineral fertilizers.

Keywords: *Jatropha*, intercropping, yield, farm income, Kinshasa.

1. Introduction

Jatropha curcas L., est une plante de la famille des Euphorbiacées provenant d'Amérique centrale. Il fut introduit au 16^{ème} siècle dans les îles du Cap Vert par les marins portugais, puis en Guinée Bissau et s'est répandu ensuite en Afrique et en Asie. Il est cultivé dans les zones tropicales du globe (4). Grâce à ses graines riches (35% en moyenne) en une huile à haute valeur combustible, *J. curcas* présente des caractéristiques intéressantes pour la production d'agrocarburants. Cependant, le développement des plantes de *J. curcas* et le rendement sont faibles dans la plupart des zones de production (15). Certains auteurs indiquent que *J. curcas* peut être cultivé sur des terres marginales sans apport d'intrants (16, 19).

Le Plateau des Batéké à Kinshasa constitue un endroit idéal pour tester les possibilités qu'offre la culture de *J. curcas* pour mettre en valeur des terres très peu fertiles en climat tropical humide. La mise en culture des sols de cette zone se traduit en effet par une chute rapide de la fertilité liée à la minéralisation de l'humus accumulé pendant la jachère. Différents systèmes de production de *J. curcas* coexistent dans cette zone. Ceux-ci se caractérisent par la pratique de la culture pure ou

d'associations culturales avec des plantes vivrières (principalement le haricot commun *Phaseolus vulgaris* L. et le maïs *Zea mays* L.) et par la quantité d'engrais minéraux appliquée.

Le présent article vise à évaluer les performances technico-économiques de quatre systèmes de culture de *J. curcas* (culture pure avec et sans engrais ; association culturale avec maïs puis haricot commun avec et sans engrais) dans une plantation de 4 ans installée sur les sols les plus pauvres de la partie rurale de la province de Kinshasa.

2. Matériel et méthodes

2.1. Caractéristiques du site d'étude

Le site d'étude se situe sur le Plateau des Batéké à 4°47' de latitude Sud, 16°12' de longitude Est et à une altitude de 684 m. La plantation a été installée après une courte jachère (5 ans) sur une surface de 3 ha en décembre 2007 dans un sol très pauvre dont l'horizon arable contenait 94,2% de sable (48,7% de sable grossier 0,2–2 mm, 45,5% de sable fin 0,05–0,2 mm), 1,4% de limon (1,1% de limon grossier 0,02–0,05 mm, 0,3% de limon fin 0,002–0,02 mm), 3,3% d'argile (<0,002 mm) et 5,3 g/kg de carbone organique soit 1,1% d'humus et le pH était de 5,3. Le climat est de type AW₄ selon la classification de Köppen. La température moyenne annuelle est de 25 °C et la pluviométrie oscille autour de 1500 mm/an (18). Les formations végétales du Plateau des Batéké se composent principalement de savanes arbustives alternant avec des savanes herbeuses (23).

2.2. Composition et disposition des parcelles d'essai

L'étude a été réalisée dans une plantation installée sur un terrain totalement plat. La densité de plantation était de 2 500 plantes ha⁻¹ (2 m x 2 m). Le matériel de plantation était constitué de plants produits par semis de graines d'un écotype de Mwabo (Province du Bandundu en RDC) élevés pendant 3 mois en pépinière. Afin d'augmenter le nombre de ramifications, deux tailles ont été réalisées sur les plantes de *J. curcas* selon la méthode préconisée par Henning (12).

Aucun intrant n'a été appliqué sur les plantes et celles-ci n'ont pas été associées à d'autres cultures durant les deux premières années qui ont suivi l'installation de la plantation. Les rendements en graines sèches de *J. curcas* obtenus au cours des premières années qui ont suivi la plantation se sont élevés respectivement à 97 kg ha⁻¹ la première année, 182 kg ha⁻¹ la deuxième année, et 372 kg ha⁻¹ la

troisième année. En avril 2011, la surface totale de la plantation a été divisée en 4 parcelles de 0,5 ha (100 m x 50 m) sur lesquelles ont été appliqués de manière aléatoire les traitements repris au tableau 1.

Tableau 1. Systèmes de culture de *J. curcas* comparés dans l'essai

Système sans engrais (1 ha)	Système avec engrais (1 ha)
<i>Jatropha</i> culture pure 0,5 ha	<i>Jatropha</i> culture pure 0,5 ha
<i>Jatropha</i> associé avec haricot et ensuite maïs 0,5 ha	<i>Jatropha</i> associé avec haricot et ensuite maïs 0,5 ha

Les engrais minéraux (50 kg d'urée ha⁻¹ et 50 kg de NPK 17-17-17 ha⁻¹) ont été appliqués (5 avril 2011) de façon localisée en cercles de 30 cm de rayon au pied de chaque plante de *J. curcas*. La canopée de *J. curcas* étant encore loin de couvrir complètement le sol 4 ans après la mise en place de la plantation, l'espace laissé libre a permis de réaliser des cultures intercalaires (Fig. 1).

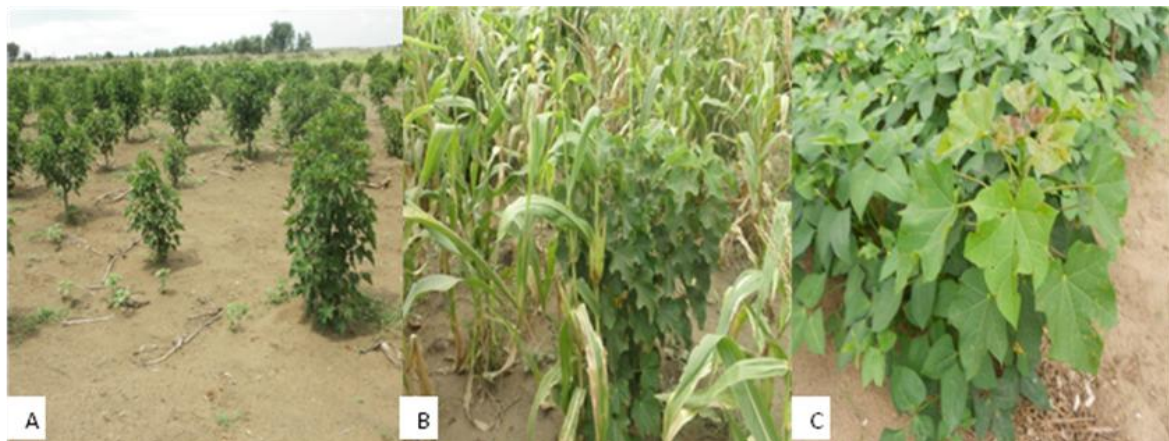


Figure 1. Culture pure de *Jatropha* (A), associations *Jatropha*-maïs (B) et association *Jatropha*-haricot commun (C) en 4^e année de culture de *Jatropha*

Le semis des variétés locales de haricot commun (variété naine semi-érigée du Bas-Congo, le 10 avril 2011) et de maïs (population locale du Plateau des Batéké, le 3 octobre 2011) a été effectué en intercalaires à raison de 5 lignes de haricot (83 500 plants ha⁻¹ - 0,3 m x 0,3 m) entre deux lignes de *J. curcas* et de 4 lignes de maïs (40 200 plants ha⁻¹ - 0,5 m x 0,4 m) entre deux lignes de *J. curcas*.

2.3. Observations morphologiques et rendements

Le diamètre au collet, la hauteur des plantes (longueur de la tige principale) et le nombre total de branches ont été mesurés le 3 avril 2011 (première mesure) et le 15 février 2012 (deuxième mesure) sur 125 plantes de *J. curcas* dans chaque unité expérimentale. Les rendements en graines sèches de

J. curcas, de haricot commun et de maïs ont été obtenus en récoltant la totalité des plantes de chaque parcelle.

2.4. Calcul des performances technico-économiques

L'évaluation des performances technico-économiques des différents systèmes de production de *J. curcas* s'est basée sur la méthode de Dufumier (7). La durée d'amortissement de la plantation de *J. curcas* a été évaluée à 30 ans (4). Pour les outils agricoles et les claies de séchage, la durée d'amortissement a été évaluée respectivement à 5 et 2 ans.

2.5. Validation des résultats

Le site de l'étude est représentatif des conditions de culture les plus défavorables du Plateau en termes de fertilité du sol et de pression des ravageurs (*Aphthona* sp. et *Stomphastis thraustica* Meyrick). Afin de pouvoir comparer les résultats obtenus au niveau de l'essai à ceux observés sur la culture de *J. curcas* dans d'autres endroits de la région, les autres plantations de *J. curcas* installées sur le Plateau des Batéké (Menkao, Domaine des sources à Mongata et N'sele) ont été visitées à partir du début de l'année 2008.

3. Résultats et discussion

3.1. Caractéristiques morphologiques de plantes de *J. curcas*

L'application d'engrais a favorisé le développement des plantes pour tous les paramètres analysés (Tableau 2). Le développement végétatif atteint par *J. curcas* après quatre années de culture est faible par rapport à celui observé dans d'autres régions du monde comme le Brésil (climat Aw et sol du type oxisol) et dans d'autres endroits de la région de Kinshasa où les conditions de culture sont plus favorables. Une étude sur *J. curcas* au Brésil indique que les hauteurs moyennes de plantes de 12, 24 et 36 mois étaient respectivement de $1,3 \pm 0,4$ m, $2,3 \pm 0,3$ m et $2,5 \pm 0,3$ m (17).

Dans un périmètre maraîcher situé à N'sele dans la banlieue de Kinshasa où les plantes sont irriguées et régulièrement fertilisées, la taille de *J. curcas* après trois ans atteint plus de 2 mètres de haut et le nombre de ramifications par plante dépasse largement 20 branches. Si on considère à la fois les plantes cultivées en pur et en association, l'application de fertilisants minéraux s'est traduite par une augmentation du diamètre au collet, de la hauteur et du nombre de branches. Et si on considère les

plantes cultivées avec et sans application d'engrais, ce sont des plantes qui étaient cultivées en pur qui présentent les augmentations les plus importantes des paramètres observés.

Tableau 2. Influence des traitements comparés sur le développement végétatif des plantes de *J. curcas*

Modes de culture	Diamètre au collet (cm)			Hauteur des plantes (m)			Nombre de ramifications		
	Au 3 avril 2011	Au 15 février 2012	Accroissement (cm)	Au 3 avril 2011	Au 15 février 2012	Accroissement (m)	Au 3 avril 2011	Au 15 février 2012	Accroissement
<i>Jatropha</i> en culture pure sans engrais	10,5±1,2	15,1±2,2	4,6	1,6±0,1	1,9±0,1	0,3	10±2,1	14±3,3	4
<i>Jatropha</i> en culture pure avec engrais	10,4±2,1	16,6±3,1	6,2	1,7±0,2	2,1±0,2	0,4	9±1,8	16±2,4	7
<i>Jatropha</i> en association sans engrais	11,1±2,3	14,8±1,7	3,7	1,6±0,1	1,8±0,1	0,2	11±3,0	15±2,8	4
<i>Jatropha</i> en association avec engrais	10,8±1,9	17,1±2,3	6,2	1,8±0,1	2,0±0,1	0,1	12±2,3	16±1,9	4

Les moyennes et les écart-types ont été calculés à partir de 125 plantes choisies au hasard par traitement.

3.2. Rendement des cultures

La productivité de *J. curcas* dépend du régime pluviométrique qui détermine le nombre de fructifications et donc de récoltes annuelles (16). Dans la région de Kinshasa, *J. curcas* produit 2 fois par an (Tableau 3). La première production intervient entre avril et juillet (période qui va de la saison B au début de la saison sèche) et la deuxième entre septembre et décembre (saison A). Les meilleurs rendements obtenus en saison A s'expliquent par le plus haut niveau de pluviosité et la meilleure répartition des pluies pendant cette période. La saison B est plus courte et les pluies sont plus irrégulières.

Du fait de la très mauvaise économie en eau du sol, environ 70% des graines contenues dans les capsules produites pendant la petite saison des pluies (saison B : mars à mai) n'arrivent pas à maturité car la fin de leur développement a lieu au début de la grande saison sèche (juillet). Des essais d'application de paillis sur le sol menés dans des parcelles de *J. curcas* situées à proximité de notre plantation ont montré que cette technique permet d'améliorer sensiblement la maturation des graines produites pendant la petite saison des pluies. Le rendement obtenu pour la culture de *J. curcas* est du même ordre de grandeur en culture pure et en culture associée. Sans application d'engrais, il s'élève en moyenne à 774 kg ha^{-1} (753 kg ha^{-1} en culture pure et 797 kg ha^{-1} en cultures associées) tandis qu'avec l'application d'engrais, il est en moyenne de 1166 kg ha^{-1} (1158 kg ha^{-1} en culture pure et 1173 kg ha^{-1} en cultures associées).

L'application d'engrais minéraux ne permet d'obtenir qu'un gain moyen de 396 kg ha^{-1} , soit seulement 4 kg de graines de *J. curcas* par kg d'engrais apporté. Aucune recherche n'ayant été menée jusqu'ici pour déterminer la formule et la dose d'engrais minéraux qui conviennent le mieux pour favoriser le développement de *J. curcas* dans les sols du Plateau des Batéké, il est possible que des niveaux de production plus élevés puissent être obtenus avec une autre dose d'engrais minéral que celle appliquée lors de notre essai.

Les rendements moyens obtenus pour les espèces annuelles associées, avec ou sans application d'engrais, étaient de l'ordre de 815 kg ha^{-1} pour le maïs (783 kg ha^{-1} sans engrais et 846 kg ha^{-1} avec engrais) et 675 kg ha^{-1} pour le haricot commun (667 kg ha^{-1} sans engrais et 684 kg ha^{-1} avec engrais).

L'absence d'effet des cultures intercalaires sur le rendement de *J. curcas* peut être attribué au fait que les plantes de *J. curcas* issues de la multiplication par graines développent des racines pivotantes qui entrent peu en concurrence avec les cultures vivrières qui lui sont associées (6). Ceci est vrai tant que le développement de la plante pérenne n'est pas trop important par rapport à la densité des deux composantes de l'association.

Tableau 3. Rendement des cultures

Modes de culture	Rendement (kg/ha/an) Système sans engrais			Rendement (kg/ha/an) Système avec engrais*		
	Saison B 2011	Saison A 2011	Total	Saison B 2011	Saison A 2011	Total
<i>Jatropha</i> en culture pure	271	482	753	376	782	1158
<i>Jatropha</i> en association	287	510	797	353	820	1173
Rendement moyen <i>Jatropha</i>	279	496	775	365	801	1166
Haricot associé avec <i>Jatropha</i>	667	-	667	684	-	684
Maïs associé avec <i>Jatropha</i>	-	783	783	-	846	846

Saison B : va de mars à mai. Saison A : va de septembre à décembre. * 50 kg d'urée ha⁻¹ et 50 kg de NPK 17-17-17 ha⁻¹

Jatropha curcas est une plante dont le développement dépend fortement du niveau de fertilité du sol et qui répond positivement à l'application d'engrais minéraux (20). Les niveaux de rendement atteints après quatre années de culture sont plus faibles que ceux mentionnés pour des plantations de même âge au Nicaragua (2500 kg ha⁻¹) sous 650 mm de précipitations an⁻¹ (8), à Sadivayal en Inde (4000 kg ha⁻¹) sous 2000 mm de précipitations an⁻¹ (11) et à Allahabad en Inde (2000 kg ha⁻¹) sous 1000 mm de précipitation an⁻¹ (1).

Le très faible niveau de fertilité du sol et l'importante pression des ravageurs subis par les plantes dans la zone d'essai peuvent expliquer les faibles niveaux de rendement atteints. Selon différents auteurs (14, 19, 21), *J. curcas* atteint son plein potentiel de production après 3 à 5 années. Des études récentes (3, 5) ont cependant montré que le temps nécessaire pour que les arbustes atteignent leur niveau de rendement maximum pouvait être plus long que 5 ans. Il est probable que les plantes de *J. curcas* des parcelles observées à Mbankana continuent à croître et donc à produire plus au cours des années qui viennent. S'il est difficile de prédire avec exactitude le niveau de rendement maximum qu'elles

devraient atteindre, il est cependant peu probable que ce dernier dépasse les estimations de rendement avancées par Trabucco *et al.* (22) (2500 kg ha⁻¹) pour la région, une fois qu'elles auront atteint leur plein potentiel de production.

3. 3. Performances technico-économiques des systèmes de production de *J. curcas*

3.3.1. Produit brut

Comme il n'existe pas encore de marchés structurés pour les graines de *J. curcas* en RDC, le prix de 0,125 USD kg⁻¹ correspondant au prix d'achat moyen pratiqué dans d'autres pays d'Afrique où il existe déjà un marché (10), a été retenu pour calculer le produit brut. Le produit brut généré par la production des seules graines de *J. curcas* sans application d'engrais (94 USD ha⁻¹) est plus faible que celui de l'association culturale correspondante (1236 USD ha⁻¹) (Tableau 4). L'application d'engrais sur *J. curcas* ne permet qu'un gain d'une centaine de dollars américains ha⁻¹ quand il est cultivé en association avec les cultures vivrières et d'une cinquantaine de dollars américains ha⁻¹ quand il est cultivé en pur.

Tableau 4. Produits bruts ha⁻¹ an⁻¹

Systèmes de culture	<i>Jatropha</i>			Maïs			Haricot commun			PB total (USD)
	Récolte (kg ha ⁻¹)	Prix achat (USD Kg ⁻¹)	PB (USD)	Récolte (kg ha ⁻¹)	Prix achat (USD Kg ⁻¹)	PB (USD)	Récolte (kg ha ⁻¹)	Prix achat (USD Kg ⁻¹)	PB (USD)	
Culture pure <i>Jatropha</i> sans engrais	753	0,125	94	-	-	-	-	-	-	94
Culture pure <i>Jatropha</i> avec engrais	1158	0,125	145	-	-	-	-	-	-	145
Culture associée <i>Jatropha</i> sans engrais	797	0,125	100	783	0,6	470	667	1	667	1236
Culture associée <i>Jatropha</i> avec engrais	1173	0,125	147	846	0,6	508	684	1	684	1338

Légende : PB (produit brut)

3.3.2. Consommations intermédiaires

Dans les systèmes de culture sans engrais minéraux, la composante des consommations intermédiaires la plus coûteuse concerne l'application d'insecticides ($40 \text{ USD ha}^{-1} \text{ an}^{-1}$) (Tableau 5). Le recours aux pesticides est indispensable dans la zone d'étude pour permettre la production de *J. curcas*. Sans application de ceux-ci, les feuilles et les bourgeons sont totalement détruits par une chrysomèle du genre *Aphthona* (18). Pour les systèmes de culture avec engrais minéraux, ce sont ces derniers qui constituent de loin l'intrant le plus coûteux ($150 \text{ USD ha}^{-1} \text{ an}^{-1}$).

Tableau 5. Consommations intermédiaires

Charges	Coût de production USD ha ⁻¹ an ⁻¹			
	Culture pure <i>Jatropha</i>	Cultures associées	Culture pure	Cultures associées
	Sans engrais	(<i>Jatropha</i> +haricot+maïs) Sans engrais	<i>Jatropha</i> Avec engrais	(<i>Jatropha</i> +haricot+maïs) Avec engrais
Engrais (Urée+NPK)	0	0	150	150
Insecticides	40	40	40	40
Semences haricot	0	15	0	15
Semences maïs	0	10	0	10
Sacs de récolte <i>Jatropha</i>	10	11	15	16
Sacs de récolte maïs	0	5	0	5
Sacs de récolte haricot	0	3	0	3
Total	50	84	205	239

3.3.3. Amortissements

Les amortissements considérés concernent les coûts de mise en place de la plantation et le petit matériel agricole. Le coût d'installation d'un ha de plantation est estimé à 292 USD (Tableau 6) et la durée de vie de cet investissement est évaluée à 30 ans. Le petit matériel utilisé dans la production de *J. curcas* est constitué de petits outils agricoles (houes, bêches, râteliers et pulvérisateur à dos à pression entretenue) dont le coût total est de 80 USD qui s'amortissent en 5 ans soit 16 USD par an.

Tableau 6. Coût d'installation d'un hectare de *J. curcas* (2 500 plantes)

Charges	Coût en USD/ha
Semences <i>Jatropha</i>	18
Labour et hersage (tracteur)	160
Installation pépinière et entretien pendant 3 mois (5 h.j)	50
Dessouchement (10 h.j)	20
Piquetage et trouaison (15 h.j)	30
Plantation <i>Jatropha</i> (5 h.j)	10
Regarnissage <i>Jatropha</i> (2 h.j)	4
Total	292

Le dernier élément du capital fixe d'exploitation se compose de claies pour le séchage des graines de *J. curcas*. Il en faut 2 par ha, elles coûtent chacune 20 USD et elles s'amortissent sur une durée de 2 ans. La valeur totale des amortissements annuels s'élèvent donc à 46 USD.

3.3.4. Main d'œuvre

Le sarclage et la récolte des fruits de *J. curcas* associés au décorticage de ces derniers représentent les activités nécessitant le plus de main d'œuvre (Tableau 7). Il faut compter 80 h.j ha⁻¹ an⁻¹ pour le sarclage et 50 h.j ha⁻¹ an⁻¹ pour la récolte des fruits et le décorticage de ceux-ci dans le cas d'un rendement moyen de 800 kg ha⁻¹ an⁻¹ de graines sèches, à raison de 16 kg de graines sèches collectées par personne et par jour (récolte et décorticage des capsules).

Comme le rendement augmente avec l'âge de la culture, il est certain que la main d'œuvre nécessaire pour réaliser les opérations de collecte des graines augmentera également. Le nombre élevé de journées de travail consacrées au sarclage est lié à la très forte pression des adventices (*Cynodon dactylon* L., *Digitaria* sp., *Imperata cylindrica* (L.) P.Beauv., etc) dans les parcelles cultivées sur le Plateau des Batéké. La quantité de graines obtenue par journée de travail dans les conditions de notre

essai paraît faible par rapport à ce qui est annoncé dans d'autres régions du monde (9). Elle est cependant cohérente avec les chiffres avancés par Henning (13) sur base d'observations réalisées au Mali. La quantité de capsules récoltées par heure de travail dépend de nombreux facteurs : la hauteur et le port de l'arbuste, la méthode de ramassage des capsules, la densité de plantation et également la productivité de l'arbuste (la collecte est d'autant plus efficace que le rendement est élevé) (5).

Tableau 7. Main d'œuvre nécessaire (h.j ha⁻¹ an⁻¹)

<i>Activités/opérations</i>	<i>Culture pure Jatropha</i>	<i>Cultures associées</i>	<i>Culture pure Jatropha</i>	<i>Culture associées</i>
	<i>Sans engrais</i>	<i>(Jatropha+haricot+maïs) Sans engrais</i>	<i>Avec engrais</i>	<i>(Jatropha+haricot+maïs) Avec engrais</i>
Semis maïs	0	10	0	10
Semis haricot	0	15	0	15
Sarclage	80	80	80	80
Taille plantes <i>Jatropha</i>	5	5	5	5
Fertilisation minérale	0	0	10	10
Traitement phytosanitaire	10	10	10	10
Récolte et décortilage <i>Jatropha</i>	47	50	72	73
Récolte maïs	0	10	0	10
Récolte haricot et décortilage	0	15	0	15
Egrenage maïs	0	15	0	15
Total	142	210	177	243

3.3.5. Rente foncière

La rente foncière (4 USD an⁻¹) a été calculée en divisant le prix d'achat du terrain sur lequel la plantation a été installée (120 USD ha⁻¹) par la durée de vie de la plantation (30 ans).

3.3.6. Revenu agricole

En culture pure, pour un prix d'achat des graines sèches de 0,125 USD kg⁻¹, la culture de *J. curcas* se traduit par une perte de revenu agricole familial de 6 USD ha⁻¹ sans engrais et de 144 USD ha⁻¹ avec engrais (Tableau 8). Au prix de 0,125 USD kg⁻¹, les rendements en graines sèches à atteindre pour couvrir les charges liées à la production de *J. curcas* en culture pure s'élèvent respectivement à 872 kg ha⁻¹ sans engrais et 2112 kg ha⁻¹ avec engrais.

Pour obtenir une rémunération de 2 USD par journée de travail, dans les conditions où la plantation a été installée, le prix d'achat des graines de *J. curcas* devrait s'élever à 0,52 USD kg⁻¹ sans engrais et à 0,54 USD kg⁻¹ avec engrais. La rentabilité de l'association de la culture de *J. curcas* avec le maïs et le haricot commun est meilleure que celle de la culture pure de *J. curcas*, ceci aussi bien pour le revenu par ha que pour celui par journée de travail. Au prix d'achat considéré des graines de *J. curcas*, l'application d'engrais minéral n'est pas du tout rentable. Un kg d'engrais qui coûte en moyenne 1,5 USD ne permet d'obtenir qu'une augmentation de production de 4 kg de graines sèches, soit seulement 0,5 USD (pour un prix d'achat des graines de 0,125 USD).

L'application d'au moins deux traitements insecticides est indispensable pour le développement des plantes de *J. curcas*. Comme cela a été observé dans d'autres parties du monde, il est probable que la pression des bioagresseurs augmente avec l'extension des surfaces cultivées (2, 6). Le coût très élevé des intrants (engrais et insecticides), l'importance du travail nécessaire pour désherber les parcelles et les faibles quantités de graines récoltées par journée de travail sont les principales causes de la très faible rémunération de la main d'œuvre familiale calculée pour la culture pure de *J. curcas*.

Une réduction importante des coûts de production en culture pure pourrait être obtenue grâce à la mise en place d'une plante de couverture ne nécessitant pas ou très peu d'entretien. Cependant, avec la productivité observée dans le cadre de l'essai pour le travail de collecte des graines, même une augmentation infinie des rendements ne permettrait pas d'atteindre une rémunération de la main

d'œuvre familiale correspondant à son coût d'opportunité (2 USD jour⁻¹). En effet, la rémunération d'une journée de travail consacrée à la réalisation de la récolte, au décorticage des capsules et au séchage des graines correspond à son coût d'opportunité (16 kg de graines sèches obtenues jour⁻¹ x 0,125 USD kg⁻¹ = 2 USD jour⁻¹). Ce qui signifie qu'au prix d'achat de 0,125 USD kg⁻¹, la production de *J. curcas* en culture pure se fera toujours à perte tant qu'une solution ne sera pas trouvée pour augmenter la productivité du travail consacré aux opérations de récolte et de post-récolte.

Dans d'autres régions du monde, l'augmentation du rendement par ha et l'utilisation de décortiqueuses mécaniques (6, 9), permettent d'atteindre des rendements de 40 kg de graines collectées jour⁻¹. Avec un tel rendement journalier et en considérant un prix d'achat des graines de 0,125 USD kg⁻¹, la production à atteindre par ha pour couvrir l'ensemble des charges en cas d'application d'engrais (y compris le travail considéré à son coût d'opportunité) s'élève respectivement à 6129 kg ha⁻¹ en cas de désherbage manuel et 3549 kg ha⁻¹ en cas d'installation d'une plante de couverture. Si on considère un rendement de collecte des graines de 40 kg h.j et les coûts de production actuels (avec application d'engrais et le coût de la main d'œuvre estimé à son coût d'opportunité), le prix d'achat des graines pour couvrir les charges d'exploitation si le rendement maximum atteint 2500 kg ha⁻¹ s'élève à 0,215 USD kg⁻¹ en cas de désherbage manuel et 0,143 USD kg⁻¹ en cas de mise en place d'une plante de couverture ne nécessitant pas d'entretien.

Tableau 8. Revenu agricole

Systèmes de culture	PB ha ⁻¹ an ⁻¹ (USD)	C.I. ha ⁻¹ an ⁻¹ (USD)	Amortissement ha ⁻¹ an ⁻¹ (USD)	Rente foncière ha ⁻¹ an ⁻¹ (USD)	RA ha ⁻¹ an ⁻¹ (USD)	Nb h.j ha ⁻¹ an ⁻¹	R.A h.j (USD)
Culture pure <i>Jatropha</i> sans engrais	94	50	46	4	-6	142	-0,0
Cultures associées sans engrais	1236	84	46	4	1102	210	5,2
Culture pure <i>Jatropha</i> avec engrais	145	205	46	4	-144	177	-0,8
Cultures associées avec engrais	1338	239	46	4	1049	243	4,3

Légende : PB (Produit brut), CI (Consommations intermédiaires), RA (Revenu agricole), Nb h.j (Nombre hommes-jour), R.A h.j (Revenu agricole homme-jour).

4. Conclusion

La quantification des performances techniques et économiques de la culture pure de *J. curcas*, avec et sans application d'engrais, dans une plantation de 4 ans située dans la région du Plateau des Batéké a permis de mettre en évidence l'absence de rentabilité financière de la production de cette spéculature pour les modalités de production comparées. Sur base d'un prix d'achat des graines similaire à celui pratiqué dans d'autres pays d'Afrique (0,125 USD kg⁻¹), les pertes de revenu agricole familial par ha s'élèvent respectivement à 6 USD en l'absence d'application d'engrais et à 144 USD en cas d'application d'engrais.

Les faibles rendements obtenus, le coût très élevé des intrants (engrais et insecticides) et du désherbage, ainsi que les faibles quantités de graines récoltées par journée de travail sont les principales causes du faible revenu généré par la culture pure de *J. curcas*. La rentabilité de l'association de la culture de *J. curcas* avec le maïs et le haricot commun est meilleure que la culture pure de *J. curcas*. Le revenu agricole d'un ha de cette association s'élève respectivement à 1102 USD ha⁻¹ sans engrais et à 1049 USD ha⁻¹ avec engrais. La culture de *J. curcas* en association avec des cultures vivrières semble donc être la meilleure solution pour l'installation de plantations paysannes dans la région. L'exploitation durable de ces plantations nécessitera cependant la mise au point de méthodes efficaces de contrôle des adventices et des ravageurs ainsi que d'amélioration de la fertilité du sol minimisant l'emploi d'engrais minéraux et de pesticides.

Références bibliographiques

1. Achten W.M.J., Verchot L., Franken Y.J., Mathijs E., Singh V.P., Aerts R. & Muys B., 2008, *Jatropha* bio-diesel production and use. Biomass and Bioenergy, **32**, 1063-1084.
2. Achten W.M.J., Maes W.H., Aerts R., Verchot L., Trabucco A., Mathijs E., Singh V.P. & Muys B., 2010, *Jatropha*: from global hype to local opportunity. Journal of Arid Environments, **74**, 1, 164-165.
3. Anonyme, 2011, Evaluation et optimisation du potentiel de développement d'une culture oléagineuse à hautes performances énergétique et environnementale pour la production de biodiesel, le *Jatropha curcas*. Rapport final Cirad, Enerbio, Fondation Tuck. <http://www.fondation-tuck.fr/resultats/projets/2008/documents-projet-01/2008-P01-rapport-final.pdf>, (29/02/2012).

4. Brittain R. & Litaladio N., 2010, *Jatropha*: a smallholder bioenergy crop. The potential for poor development. Integrated Crop Management, vol 8. Food and Agriculture Organization of The United Nations, Rome.
5. de Jongh J. & Nielsen F., 2011, Lessons Learned: *Jatropha* for local development. Report for FACT Foundation.
6. Domergue M. & Pirot R., 2008, *Jatropha curcas* L. Rapport de synthèse bibliographique, CIRAD, France, 118 p.
7. Dufumier M., 1996, Les projets de développement agricoles, manuel d'expertise. Karthala, Paris, France.
8. Foidl N., Foidl G., Sanchez M., Mittelbach M. & Hackel S., 1996, *Jatropha curcas* L. as a source for the production of bio-fuel in Nicaragua. Bioresource Technology, **58**, 77-82.
9. Franken Y. J. & Nielsen F., 2010, Plantation establishment and management. In: The *Jatropha* Handbook: From Cultivation to Application, Eds: Jan de Jongh. Fact Foundation, Netherlands, pp. 8-27
10. GEXSI, 2008, Global Market Study on *Jatropha*. Final Report. Prepared for the World Wide Fund for Nature (WWF). London/Berlin: Global Exchange for Social Investment.
11. Gunaseelan V.N., 2009, Biomass estimates, characteristics, biochemical methane potential, kinetics and energy flow from *Jatropha curcas* on dry lands. Biomass and Bioenergy, **33**, 589-596.
12. Henning R., 2007, Identification, selection and multiplication of high yielding *Jatropha curcas* L. plants and economic key points for viable *Jatropha* oil production costs. (Henning paper).
13. Henning R., 2009, The *Jatropha* System - An integrated approach of rural development. The *Jatropha* Book.
14. Jongschaap R.E.E., Corre W.J., Bindraban P.S. & Brandenburg W.A., 2007, Claims and facts on *Jatropha curcas* L.: Global *Jatropha curcas* evaluation, breeding and propagation programme. Report 158 (Plant Research International BV, Wageningen, The Netherlands and Stichting Het Groene Woudt, Laren, The Netherlands).
15. Les Amis de la terre, 2010, Afrique : terre(s) de toutes les convoitises, Ampleur et conséquences de l'accaparement des terres pour produire des agrocarburants. Rapport, 36 p.

16. Maes W.H., Trabucco A., Achten W.M.J. & Muys B., 2009, Climatic growing conditions of *Jatropha curcas* L. Biomass and Bioenergy, **33**, 1481-1485.
17. Moreira Miquelino E. T. C., Antônio Gonçalves Jacovine L., De Paula Toledo D., Pedro Boechat Soares C., Cerruto Ribeiro S. & Cristina Martins M., 2011, Biomass and Carbon stock in *Jatropha curcas* L. Cerne, Lavras, **17**, 3, 353-359.
18. Nyst J., 2010, Contribution à l'étude des possibilités de culture de *Jatropha curcas* L. Sur le Plateau des Batéké RDC. Travail de fin d'études présenté en vue de l'obtention de diplôme de master bioingénieur en sciences agronomiques, orientation agronomie tropicale, Université de Liège-Gembloux Agro-Bio Tech, Belgique, 81 p.
19. Openshaw K., 2000, A review of *Jatropha curcas*: an oil plant of unfulfilled promise. Biomass and Bioenergy. **9**, 1-15.
20. Patolia, J., Ghosh A., Chikara J., Chaudhary D. R., Parmar D.R. & Bhuva H. M., 2007, Response of *Jatropha curcas* grown on wasteland to N and P fertilization. Expert Seminar on *Jatropha curcas* L. Agronomy and Genetics. Wageningen
21. Rao GR, Korwar GR, Shanker AK. & Ramakrishna YS., 2008, Genetic associations, variability and diversity in seed characters, growth, reproductive phenology and yield in *Jatropha curcas* (L.) accessions. Trees-Structure and Function, **22**, 5, 697-709.
22. Trabucco A., Achten W. M. J., Bowe C., Aerts R., Van Orshoven J., Norgrove L. & Muys B., 2010, Global mapping of *Jatropha curcas* yield based on response of fitness to present and future climate. Global Change Biol. *Bioenergy*, **2**, 3, 139-151.
23. Vermeulen C. & Lanata F., 2006, Le domaine de chasse de Bombo-Lumene: un espace naturel en péril aux frontières de Kinshasa. Parcs et réserves, **61**, 2, 4-8.

**Chapitre III. Dynamique et impact des principaux insectes ravageurs de *Jatropha*
curcas L. dans la région de Kinshasa**

Objectif du chapitre

Jatropha curcas L. a la réputation d'être une plante « rustique », peu sensible aux différents ravageurs. La mise en place des plantations de *J. curcas* dans plusieurs zones de production s'est néanmoins rapidement traduite par d'importantes attaques des différents bioagresseurs. Les connaissances dans ce domaine sont limitées étant donné que ce type d'exploitation est récent en RDC. L'objectif de ce chapitre est de déterminer la dynamique des principaux insectes ravageurs qui ont un impact sur le développement et la production de *J. curcas*, et de proposer des moyens de lutte.

III.1. Dynamique et impact des principaux insectes ravageurs de *Jatropha curcas* L. dans deux systèmes de culture aux caractéristiques contrastées de la province de Kinshasa (République Démocratique du Congo)

Résumé

La dynamique et l'impact des principaux insectes ravageurs de *Jatropha curcas* L. ont été étudiés dans deux plantations installées dans la province de Kinshasa ; la première en culture pure sans irrigation (site de Mbankana) ; la deuxième sous irrigation en association avec d'autres cultures (Site de N'sele). A Mbankana, lors de leur mise en place pendant la grande saison des pluies (entre octobre et décembre), les plants endurent d'importantes attaques de grillons *Brachytrupes membranaceus* Drury (Orthoptera, Grillidae) qui induisent des mortalités variant entre 10 et 40%. La période de plantation la plus propice pour limiter le niveau de ces pertes se situe lors de la première moitié du mois d'octobre et lors de la deuxième moitié du mois de décembre. A N'sele, les attaques de grillons au moment de l'installation de la plantation sont contrôlées par les agriculteurs, qui consomment ces insectes. Une fois installées, les plantes subissent dans les deux sites des attaques de chenilles mineuses des feuilles *Stomphastis thraustica* Meyrick (Lepidoptera, Gracillariidae) et de chrysomèles *Aphthona* sp. (Coleoptera, Chrysomelidae), consommatrices du limbe des feuilles et des bourgeons. L'importance des populations de ces deux ravageurs et leurs dégâts culminent lors de la période la plus pluvieuse de l'année.

Sur les plantes adultes à N'sele, en plus des attaques de chrysomèles et de chenilles mineuses des feuilles, on observe la présence de punaises à bouclier *Calidea* sp. (Heteroptera, Scutelleridae). Les punaises causent des dégâts aux fleurs et aux capsules. En l'absence de traitements insecticides, le niveau des pertes de rendement occasionnées atteignaient 90% à Mbankana et 60% à N'sele. Les causes des différences de rendement enregistrées et les mesures pour limiter les dégâts des principaux ravageurs de *J. curcas* dans la région de Kinshasa sont discutées.

Mots clés : *Jatropha curcas*, dynamique ravageurs, rendement, Kinshasa

Abstract

The dynamic and impact of the major insect pests of *Jatropha curcas* L. were studied in two plantations located in the province of Kinshasa, the first in pure stand without irrigation (Mbankana site), the second under irrigation in combination with other crops (N'sele site). In Mbankana, at their establishment during the long rainy season (October to December), the plants suffer significant attacks of tobacco crickets *Brachytrupes membranaceus* Drury (Orthoptera, Grillidae) causing a mortality ranging from 10 to 40%. The first half of October and the second half of December are the planting periods best suited to limit these losses. In N'sele, cricket attacks during planting are controlled by the farmers consuming them. Once installed in both sites, the plants are attacked by leaf miner caterpillars *Stomphastis thraustica* Meyrick (Lepidoptera, Gracillariidae) and flea beetles *Aphthona* sp. (Coleoptera, Chrysomelidae), consuming the leaf blades and buds. The importance of these two populations of pests and their damages culminate during the wettest time of the year.

On adult plants at N'sele, the insect pests observed are: flea beetles, leaf miners, and shield-backed bugs *Calidea* sp. (Heteroptera, Scutelleridae). These bugs cause damage to flowers and capsules. In the absence of insecticide treatments, the level of yield losses reached 90% in Mbankana and 60% in N'sele. The causes of the pest impact differences recorded between the cropping systems and the methods to limit the main insect damages on *J. curcas* in the Kinshasa region are discussed.

Keywords: *Jatropha curcas*, pest dynamics, yield, Kinshasa

1. Introduction

Jatropha curcas L. (Euphorbiaceae) est un arbuste originaire d'Amérique centrale qui produit de l'huile non comestible utilisée comme carburant en remplacement total ou partiel des combustibles fossiles. Tous les organes de *J. curcas* contiennent des composés toxiques tels que les esters de phorbol, la curcine et les inhibiteurs de la trypsine (16). Les propriétés toxiques et anti-nutritionnelles des graines de *J. curcas* sont exploitées en médecine traditionnelle pour le déparasitage et comme purgatif (4). En culture, la toxicité et les propriétés biocides de *J. curcas* ne lui épargnent pas les attaques de ravageurs et d'autres organismes pouvant avoir une incidence sur la production (1, 10).

Les insectes ravageurs potentiels de *J. curcas* les plus fréquemment observés dans la région de Kinshasa sont le grillon *Brachytrupes membranaceus* Drury (Orthoptera, Grillidae), une chrysomèle du genre *Aphthona* (Coleoptera, Chrysomelidae), la mineuse des feuilles *Stomphastis thraustica* Meyrick (Lepidoptera, Gracillariidae) et une punaise à bouclier du genre *Calidea* (Heteroptera, Scutelleridae) (Figure 1) (25).

Les grillons sont des insectes phytophages largement répandus en Afrique tropicale qui vivent dans des galeries souterraines étendues et rarement visibles le jour (15, 30). La nuit, ils coupent les jeunes plants de *J. curcas* fraîchement mis en place au niveau du collet et traînent les feuilles ou les plants entiers dans leurs terriers.

La chrysomèle cause des graves dégâts sur *J. curcas* en Afrique. Les adultes s'attaquent au feuillage et aux fruits en développement et les larves pénètrent dans les racines (10). La mineuse des feuilles est signalée dans quasi toutes les zones de culture de *J. curcas* en Afrique (31). Ses larves minuscules rongent le limbe en y creusant des galeries. En cas de fortes attaques, elles provoquent une défoliation de la plante (11). Les punaises à bouclier (adultes et larves) provoquent la chute des fleurs, des malformations de fruits et l'avortement des graines (2, 31). Les graines des fruits infestés possèdent une taille, un poids et une teneur en huile faibles. Des informations sur la dynamique des ravageurs de *J. curcas* et leur impact sur la production font défaut en Afrique.



Figure 1. Principaux insectes ravageurs de *J. curcas* à Kinshasa : A (plantule coupée par *B. membranaceus*), B (feuille attaquée par *Aphthona* sp.) C (feuilles attaquées par *S. thraustica*), D (fruits attaqués par *Calidea* sp.)

L'objectif de la présente étude est de déterminer la dynamique au cours de l'année des populations des principaux insectes ravageurs de *J. curcas* et leur impact sur le rendement dans deux systèmes de production aux caractéristiques contrastées de la région de Kinshasa, afin d'identifier les moments de pullulation de ces ravageurs, de quantifier l'importance de leurs dégâts et de proposer les mesures à prendre pour une meilleure protection de la culture.

2. Matériel et méthodes

2.1. Localisation des sites d'étude

L'étude a été réalisée dans des plantations de *J. curcas* installées à N'sele (30 ha ; 4°25' de latitude Sud, 15°30' de longitude Est et 280 m d'altitude) et à Mbankana (3 ha ; 4°47' de latitude Sud, 16°12' de longitude Est et 684 m d'altitude).

2.2. Climat

Le climat est du type AW₄ selon la classification de Köppen. Ce climat tropical humide se distingue par une saison des pluies s'étendant de la mi-septembre à la mi-mai, dans laquelle vient s'intercaler, de la mi-janvier à la mi-février, une petite saison sèche. La grande saison sèche dure, quant à elle, quatre

mois, de la mi-mai à la mi-septembre (5). Les relevés climatiques de la zone d'étude fournis par l'Agence Nationale de Météorologie et de Télédétection par Satellite (METELSAT en sigle) de la République Démocratique du Congo sont repris à la figure 2.

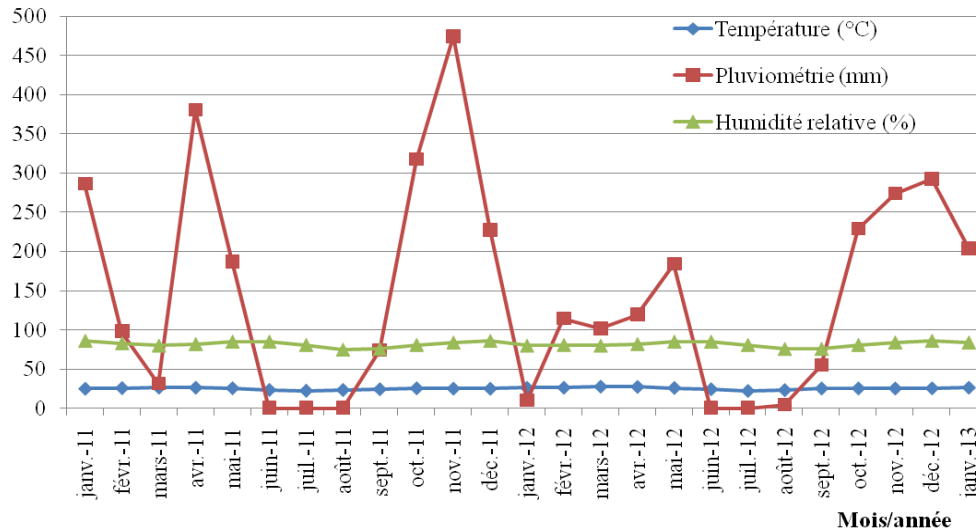


Figure 2. Variations de la température, de la pluviométrie et de l'humidité relative dans la zone d'étude de Janvier 2011 à Janvier 2013

2.3. Sols et végétation

A Mbankana, *J. curcas* est cultivé sur un sol pauvre dont l'horizon arable contient plus de 90% de sable. A N'sele, le sol est également très sablonneux (95% de sable). Les formations végétales de Mbankana se composent principalement de savanes arbustives alternant avec des savanes herbeuses (35). A N'sele, elles sont constituées naturellement de savanes herbeuses entrecoupées de galeries forestières le long des rivières.

2.4. Plantations

Les deux sites se distinguent par les systèmes de culture mis en place (Fig. 3). A Mbankana, les plants de *J. curcas* ont été installés en octobre 2009 en conditions d'agriculture pluviale à une densité de 2 500 arbustes ha⁻¹. Par contre à N'sele, la plantation a été réalisée en septembre 2008 à une densité de 2 000 arbustes ha⁻¹ dans un périmètre où il est associé pendant toute l'année à la ciboule (*Allium fistulosum* L.), cultivée sur des planches de 30 m x 1,2 m et aux espèces fruitières suivantes : le manguiier (*Mangifera indica* L., 4 arbres ha⁻¹), le safoutier (*Dacryodes edulis* (G. Don) H.J. Lam, 10 arbres ha⁻¹) et le mangoustanier (*Garcinia mangostana* L., 20 arbres ha⁻¹). Dans ce site, les parcelles de

ciboule sont irriguées et elles reçoivent d'importantes quantités d'engrais (0,1 kg de NPK 17-17-17 + 0,1 kg d'urée + 1,5 kg de fumier de porc m⁻² an⁻¹).

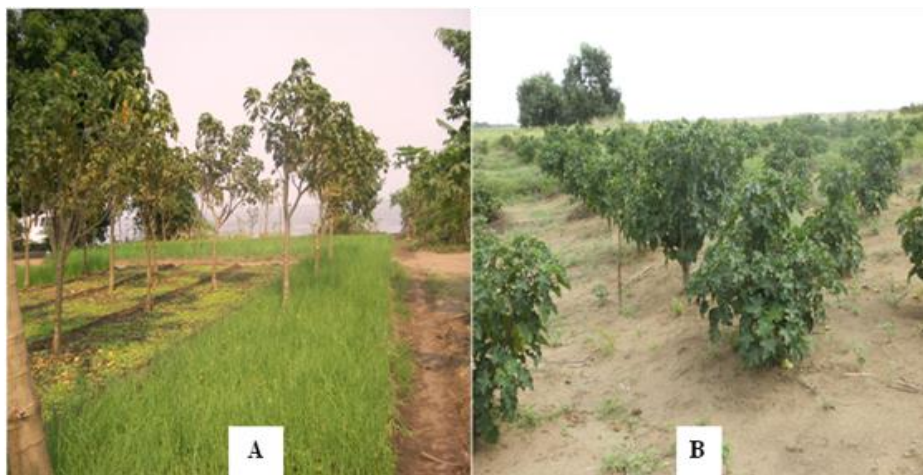


Figure 3. Plantations de *J. curcas*: A (*J. curcas* associé aux cultures maraîchères à N'sele), B (*J. curcas* en culture pure à Mbankana)

Les plantules de *J. curcas* mises en place dans les deux sites proviennent des graines récoltées sur les arbustes subspontanés (Province de Bandundu) et semées en pépinière. Les plantations avaient été protégées par des traitements insecticides (diméthoate 40%) entre leur installation et le démarrage des essais.

2.5. Identification des insectes ravageurs

A part pour les grillons, les échantillons des principaux insectes ravageurs trouvés dans les deux sites expérimentaux ont été déterminés à l'Unité d'Entomologie fonctionnelle et évolutive de Gembloux Agro-Bio Tech - Université de Liège dans le cadre du travail de fin d'études de Master Bioingénieur de Jonathan Nyst (25), au moyen des clés d'identification de Delvare & Aberlenc (8), Mike *et al.* (22), Lecoq (20), Launois et Launois-Luong (18), Launois-Luong et Lecoq (19) et Zahradnik (37).

2.6. Evaluation des dégâts des grillons

L'incidence des dégâts des grillons sur les plantules repiquées a été évaluée pendant trois années successives (de 2009 à 2011) à Mbankana dans un dispositif entièrement aléatoire avec des jeunes plantes mis en terre au début de la 1^{re} et de la 2^{ème} quinzaine de chaque mois pendant la période allant du 1^{er} octobre au 31 décembre. Les observations ont porté sur 125 plants par date de mise en terre.

L'évaluation consistait à relever le nombre de plants coupés ou détruits après 15 jours sur le total planté, car au-delà de 15 jours après la transplantation, les plants sont bien fixés au sol et ne peuvent plus être déterrés ou coupés par les grillons. L'évaluation des dégâts des grillons n'a pas été réalisée à N'sele, car ceux-ci sont consommés par les populations locales qui les extraient régulièrement de leurs terriers.

2.7. Dynamique des effectifs d'*Aphthona* sp., *Stomphastis thraustica* et *Calidea* sp.

La dynamique des populations des insectes ravageurs a été évaluée dans les sites de Mbankana et de N'sele pendant deux ans, de janvier 2011 à janvier 2013. Le comptage n'a porté que sur les 3 principaux insectes ravageurs cités ci-haut. D'autres insectes présents de manière occasionnelle sur les plantes de *J. curcas* ont été identifiés. L'évaluation consistait à compter les insectes présents sur l'arbuste sans les capturer. Pour la mineuse des feuilles, ce sont les larves présentes sur les feuilles qui ont fait l'objet de comptage. Le temps de comptage était de 5 minutes arbuste⁻¹ et avait été défini après deux essais réalisés au préalable. Les observations se faisaient de 6h30 à 11h30 selon une fréquence de 2 visites par mois, ce qui a permis de calculer le nombre moyen d'insectes par mois.

Dans chaque site, 2 parcelles de 0,3 ha chacune ont été choisies au hasard. La première parcelle (P₁) n'a pas reçu de traitement insecticide tandis que la deuxième parcelle (P₂) a été traitée trois fois par an (avril, septembre et décembre) avec du diméthoate 40% (1 litre ha⁻¹ traitement⁻¹). Dans la parcelle P₁ qui comptait 750 plantes à Mbankana et 587 plantes à N'sele, 30 plantes ont été choisies de façon aléatoire à chaque observation pour compter le nombre d'insectes par arbuste. Aucun relevé n'a été réalisé dans la parcelle P₂ car le nombre de traitements insecticides réalisé ne permet pas la pullulation des insectes ravageurs sur l'arbuste.

2.8. Evaluation de l'impact des attaques des insectes ravageurs sur le développement végétatif et la production de *J. curcas*

L'impact des insectes ravageurs sur le développement végétatif de *J. curcas* a été évalué de deux manières. Premièrement, en comptant deux fois par mois (le 1^{er} et le 30^{ème} jour) tout au long de l'année, le nombre de feuilles de la 3^{ème} branche à partir du collet, sur 30 plantes choisies au hasard dans chaque parcelle (traitée et non traitée). Ce comptage a été réalisé de janvier 2011 à janvier 2013.

Deuxièmement, en mesurant au démarrage (janvier 2011) et à la fin de l'étude (janvier 2013), la taille, le nombre de ramifications et le diamètre au collet des mêmes 30 plantes choisies au hasard dans chaque parcelle. L'impact des ravageurs sur le rendement a été évalué en comparant la production de toutes les plantes de la parcelle non protégée (P_1) à celle de la parcelle protégée avec un insecticide (P_2).

2.9. Traitement et analyse des données

Les données collectées ont été traitées et analysées avec Excel 2010 et MINITAB 16. L'analyse de variance et le test de comparaison des moyennes (LSD : Least Significant Difference) au seuil de probabilité de 5% ont été effectués. La régression linéaire a permis de vérifier les corrélations entre les facteurs climatiques (variables indépendantes) et les données sur la dynamique des principaux insectes ravageurs de *J. curcas* (variables dépendantes). Le test *t* de Student a été effectué pour comparer les moyennes des données sur le développement végétatif de *J. curcas* (diamètre, hauteur et ramification).

3. Résultats et discussion

3.1. Incidence des dégâts des grillons sur les plantules de *J. curcas*

L'incidence des dégâts des grillons (exprimée en pourcentage de plantules coupées) sur *J. curcas* est présentée dans la figure 4. Les attaques des grillons sont élevées dès le retour des pluies avec un maximum d'incidence lors de la deuxième moitié du mois de novembre ($30,8 \pm 4,6\%$) et la première moitié du mois de décembre ($38,3 \pm 5,5\%$). L'analyse de la variance a montré des différences significatives ($P < 0,05$) au niveau de l'incidence des dégâts des grillons enregistrée pour les périodes de plantation. Nos résultats sont en accord avec ceux obtenus par Büttiker et Bünzli (7) au Zimbabwe. Ils affirment que de juin à octobre, période sèche où la nourriture est souvent rare, le développement des grillons est retardé et le stade adulte est atteint pendant la période pluvieuse entre novembre et décembre. D'après Taylor (33), le grillon atteint le stade adulte lors de la saison des pluies, ce qui correspond à la période comprise entre les mois d'octobre et décembre dans la région de Kinshasa.

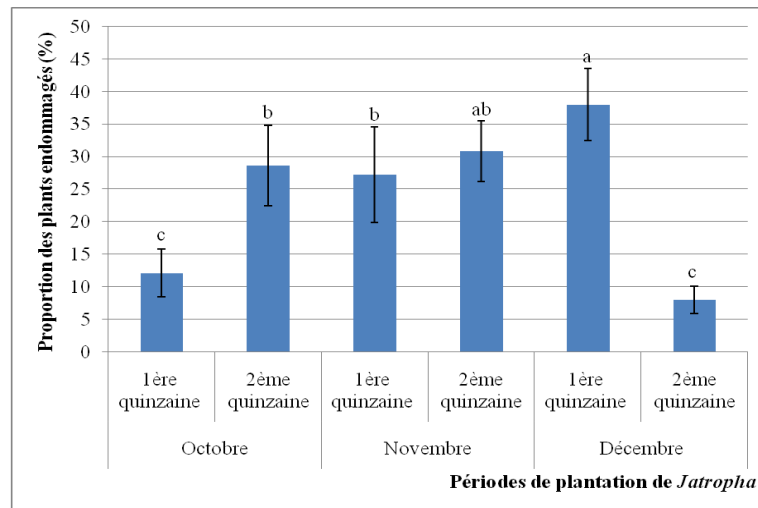


Figure 4. Incidence des dégâts des grillons en fonction des périodes de plantation de *J. curcas*

Les attaques des grillons sont plus importantes dans des zones à sols sablonneux (7). Les grillons constituent un des ravageurs majeurs de nombreuses cultures en Afrique (33, 36). Dans une plantation de *J. curcas* (5 ha) située à 80 km du centre-ville de Kinshasa près de la cité de Menkao, plus de 50% de plantules ont été détruites par les grillons 10 jours après la mise en place définitive en octobre 2010. En Chine, Li Kun *et al.* (21) indiquent que les grillons peuvent causer des dégâts sur la culture de *J. curcas*.

Les résultats de notre étude renseignent que la transplantation de *J. curcas* entre les mois d'octobre et de décembre dans la région de Kinshasa nécessite un regarnissage important. Les niveaux d'attaque significativement plus faibles (10%) lors de la première moitié du mois d'octobre et de la deuxième moitié du mois de décembre plaident en faveur de la réalisation des plantations à ces périodes. Un report de la plantation en deuxième saison des pluies (mars-mai) permet d'éviter totalement les attaques des grillons mais est moins propice au développement initial des plantes car la période favorable à la croissance qui suit la plantation est beaucoup plus courte.

3.2. Dynamique des principaux insectes ravageurs de *J. curcas*

Les figures 5 et 6 illustrent les variations des effectifs moyens des insectes ravageurs arbuste⁻¹ mois⁻¹ respectivement dans les sites de N'sele et de Mbankana. Deux ravageurs sont communs aux deux sites d'investigation. Il s'agit de la chrysomèle (*Aphthona sp.*) et de la mineuse de feuilles (*Stomphastis thraustica*). La punaise à bouclier (*Calidea sp.*) était présente à N'sele mais n'a pas été observée à

Mbankana. Les effectifs des populations des insectes ravageurs de *J. curcas* connaissent des variations saisonnières marquées.

L'analyse de la variance a montré des différences significatives ($P < 0,05$) entre les effectifs moyens des ravageurs arbuste⁻¹ mois⁻¹. Les effectifs les plus élevés sont observés pendant la période la plus pluvieuse de l'année (entre octobre et janvier). Leur nombre est en moyenne inférieur à 5 individus arbuste⁻¹ pendant le reste de l'année. A Nsele, il faut cependant remarquer un regain de la présence de la punaise entre avril et juin, période correspondant à la maturation des capsules produites lors du 2^{ème} pic de floraison. Pour la chrysomèle, les effectifs les plus élevés étaient de $41,2 \pm 4,9$ à N'sele et de $33,8 \pm 11,3$ à Mbankana et les plus faibles de $4,4 \pm 3,5$ à N'sele et de $1,3 \pm 0,1$ à Mbankana. S'agissant de la mineuse de tige, les effectifs ont varié entre $1,0 \pm 0,1$ (avril) à $6,7 \pm 2,9$ (décembre) à N'sele et de 0 (juillet et août) à $12,2 \pm 5,6$ (en décembre) à Mbankana.

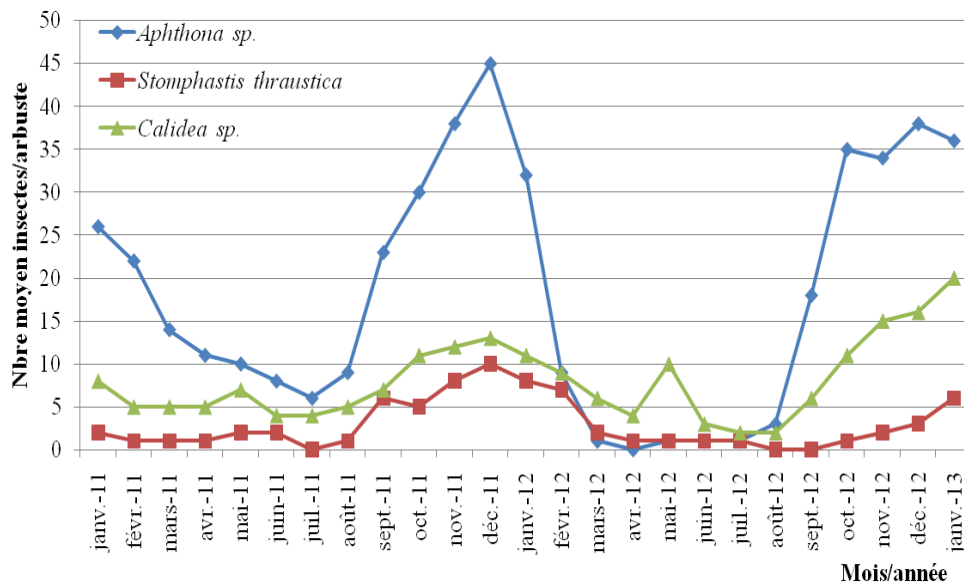


Figure 5. Fluctuation mensuelle des effectifs d'*Aphthona sp.*, *S. thraustica* et *Calidea sp.* dans le site de N'sele

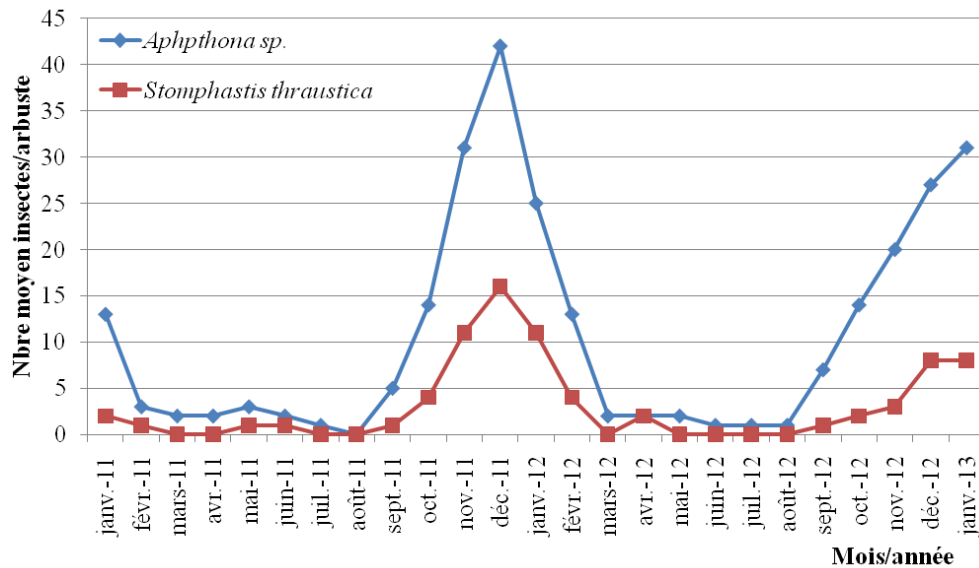


Figure 6. Fluctuation mensuelle des effectifs d'*Aphiphthona sp.* et de *S.thraustica* dans le site de Mbankana

Les effectifs de *Calidea sp.* les plus élevés étaient de $14,9 \pm 2,1$ individus arbuste⁻¹ (en décembre) et les plus faibles de $3,1 \pm 4$ individus arbuste⁻¹ (en juillet). La pluviométrie a présenté des variations importantes au cours de l'année, de 0 mm en juillet et août à $374,5 \pm 142,2$ mm en novembre (Figure 2). Dans les deux sites, les effectifs des ravageurs sont significativement corrélés (corrélations positives) avec la pluviométrie ($P < 0,05\%$, $R^2 \geq 50\%$) et très faiblement avec l'humidité relative.

La pluviométrie est un facteur important du développement de *J. curcas* (6). Les précipitations et l'humidité relative agissent de manière indirecte sur les fluctuations (augmentation ou diminution) des principaux insectes ravageurs de *J. curcas* en influant sur l'état physiologique de la plante cultivée à travers la disponibilité de la ressource alimentaire (feuilles, fleurs et fruits) pour les insectes. La température et l'humidité relative ont montré de faibles variations au cours de la période d'étude. L'humidité relative seule n'est certainement pas suffisante pour prédire l'augmentation ou la diminution des insectes ravageurs. Au Kenya, les plantations de *J. curcas* connaissent beaucoup de problèmes de ravageurs pendant la saison des pluies (26). Kiy indou (17) affirme que la pluie est un facteur important et responsable des fluctuations des populations d'Hémiptères au Congo. La température, relativement stable, n'a pas montré de corrélation significative avec les fluctuations des effectifs des ravageurs ($P > 0,05$). Dans une étude sur la dynamique des Hétéroptères sur *J. curcas* au

Nicaragua, Grimm et Fuhrer (13) indiquent que la densité des populations de ces ravageurs varie avec les saisons climatiques. Les corrélations significatives et positives ont été trouvées entre les effectifs des ravageurs dans chaque site ($P < 0,05$, $R^2 \geq 80\%$). La relation entre ces ravageurs peut s'expliquer par le fait qu'ils dépendent tous de la disponibilité alimentaire (feuilles, fleurs et fruits) qui est elle-même influencée par la pluviométrie et l'humidité relative.

En Afrique, d'après Franken et Nielsen (10), *Aphthona* sp. cause de graves dégâts sur *J. curcas*. De nombreuses espèces de Scutelleridae sont observées sur *J. curcas* dans la plupart des zones de production au Mali, au Kenya, etc. (4, 27). Terren *et al.* (34) ont observé les attaques de *Calidea panaethiopica* Kirkaldy (Heteroptera, Scutelleridae) sur *J. curcas* dans la basse vallée du fleuve Sénégal. En juillet et août, la mineuse est presque inexistante à Mbankana suite à la défoliation complète des plantes mais elle est présente pendant toute l'année à N'sele. Du fait de l'irrigation réalisée dans ce site, les plantes de *J. curcas* ne perdent pas totalement leurs feuilles, ce qui est favorable au maintien de populations élevées de mineuses de feuilles et de chrysomèles.

Pour lutter contre ces ravageurs, de nombreux produits chimiques sont utilisés (Diméthoate, Cyperméthrine, Endosulfan, etc.). Le moment le plus propice pour contrôler ces ravageurs dans la région de Kinshasa est la fin de la saison sèche. Pendant cette période, le développement foliaire est peu important et le produit atteint facilement toutes les parties de la plante. Cette protection précoce favorise une bonne reprise des feuilles pendant la saison pluvieuse. S'agissant de la lutte biologique, Anitha et Varaprasad (3) indiquent que l'application des solutions commerciales des nématodes entomophages peut détruire les larves de la chrysomèle qui se nourrissent à partir des racines et briser le cycle du ravageur. Les Hyménoptères *Notanisomorphella borborica* Giard et *Apleurotropis lamellata* Kerrich (Hymenoptera, Eulophidae) sont des parasitoïdes importants de la mineuse de feuilles au Mozambique (23). Les parasitoïdes *Trissolcus* sp. (Hymenoptera, Platygasteridae), *Beauveria bassiana* (Bals.-Criv.) Vuill. (Hypocreales, Ophiocordycipitaceae) et *Metarhizium anisopliae* (Metchnikoff) Sorokin (Hypocreales, Clavicipitaceae), permettent de réduire les populations de punaises (14).

3.3. Impact des attaques des insectes ravageurs sur le développement végétatif de *J. curcas*

Les comptages réalisés dans les deux sites du nombre de feuilles présentes sur la 3^{ème} branche primaire des arbustes mettent en évidence une évolution de la couverture feuillée en relation directe avec le régime des pluies (Fig. 7). Les deux phases de défoliation annuelle se situent juste après la petite saison sèche qui s'étend de mi-janvier à fin mars, et pendant la grande saison sèche qui s'étend de mi-mai à fin septembre.

Le nombre de feuilles observé dans les parcelles qui n'ont pas reçu de traitement insecticide est plus faible que dans celles ayant été traitées trois fois au dimethoate. Cette différence très élevée résulte sans doute des importantes attaques de ravageurs dont sont victimes les arbustes non traités. A Mbankana, les arbustes non traités ne portent aucune feuille pendant la grande saison sèche. En cas de défoliation complète de la plante et en l'absence de fruits sur l'arbuste, *Apthona sp.* s'installe au bout des branches et dévore les bourgeons foliaires en formant une couche noirâtre qui empêche tout développement de nouvelles feuilles.

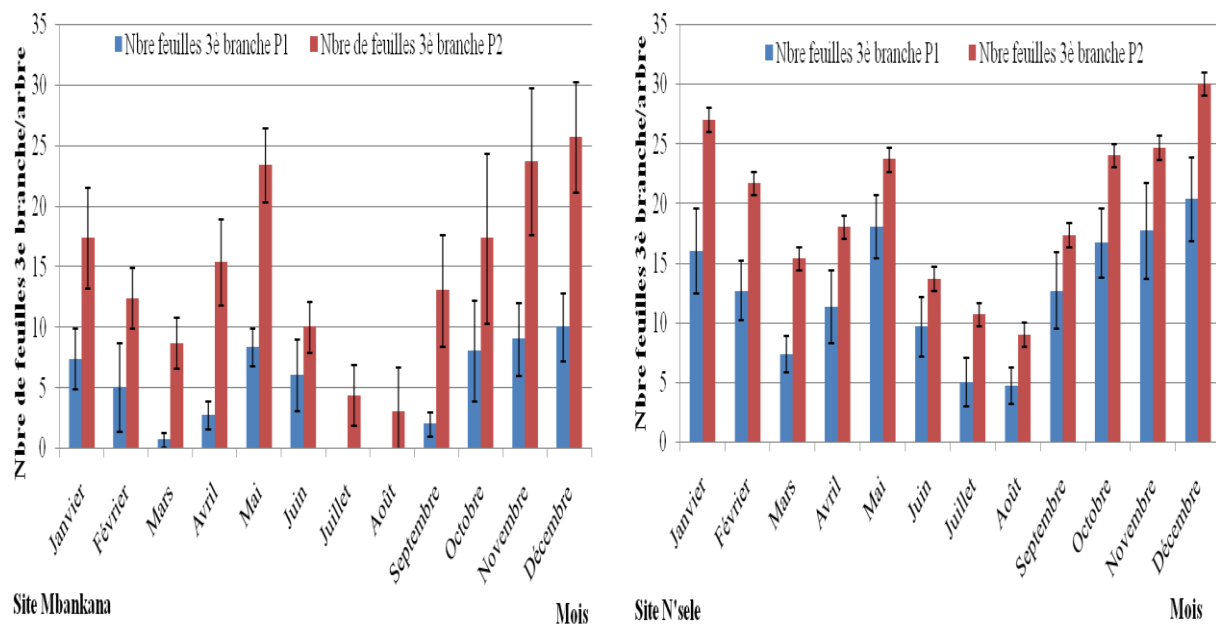


Figure 7. Impact des attaques des insectes ravageurs sur le feuillage de *J. curcas*

La présence de feuilles de fin avril à début juin, aussi bien au niveau du site de N'sele que de celui de Mbankana, ne se traduit pas par une augmentation du nombre d'individus de *S. thraustica* et d'*Apthona sp.* arbuste⁻¹ (Fig. 5 et Fig. 6). Une réduction importante du nombre de feuilles arbuste⁻¹

causée par les chrysomèles et les mineuses de feuilles avait également été observée par Nyst (25) dans un autre essai installé à proximité de Mbankana sur des plantes non protégées avec un insecticide. En cas de non application d'insecticide, certaines plantes peuvent rester totalement défoliées pendant plusieurs mois. Que ce soit à Mbankana ou à N'sele, les plantes qui ont reçu des traitements insecticides présentent une augmentation significative du diamètre au collet, de la hauteur et du nombre de branches (tableau 1). La présence d'une croûte noirâtre au bout des branches, en cas de fortes attaques par la chrysomèle, explique aussi la faible ramification observée chez les plantes non protégées par un insecticide.

Tableau 1. Développement végétatif de *J. curcas*

Parcelles	Janvier 2011			Janvier 2013		
	Diamètre (cm)	Hauteur (m)	Ramification	Diamètre (cm)	Hauteur (m)	Ramification
P1 N'sele	11,0±2,1	1,8±0,2	35,6±4,3	15,1±2,6	2,2±0,3	44,8±5,1
P2 N'sele	12,1±1,8	1,7±0,3	34,2±2,6	18,4±4,5	2,5±0,5	57,3±6,3
	NS	NS	NS	$P<0,05$	$P<0,05$	$P<0,05$
P1 Mbankana	5,5±0,5	1,3±0,1	15,4±3,4	7,2±4,1	1,4±0,7	23,4±4,5
P2 Mbankana	5,9±0,7	1,3±0,1	16,1±2,1	9,1±3,4	1,6±0,8	37,9±5,6
	N.S	N.S	N.S	$P<0,05$	$P<0,05$	$P<0,05$

N.S : non significatif ; P₁ = parcelle non traitée à l'insecticide, P₂ = parcelle traitée 3 fois an⁻¹ au diméthoate

La ramification est un des éléments importants du rendement chez *J. curcas* car les fleurs se forment au bout des branches (9). La défoliation provoquée par les ravageurs, réduit l'activité photosynthétique de la plante et se traduit par un faible développement végétatif.

3.4. Impact des attaques des insectes ravageurs sur la production de *J. curcas*

L'application de traitements insecticides permet une augmentation du rendement en graines au cours des deux pics de production annuels, aussi bien à Mbankana qu'à N'sele (Tableau 2). A Mbankana, en l'absence de traitements insecticides, le niveau des pertes de rendement occasionnées en 2^{ème} et en 3^{ème} années de production atteignait 90% (21 kg ha⁻¹ sans pulvérisation et 206 kg ha⁻¹ avec pulvérisation en 2^{ème} année ; 39 kg ha⁻¹ sans pulvérisation et 412 kg ha⁻¹ avec pulvérisation en 3^{ème} année). A N'sele par contre, le pourcentage des pertes de rendement dans les parcelles non traitées est d'environ 60% (366

kg ha⁻¹ sans pulvérisation et 948 kg ha⁻¹ avec pulvérisation en 3^{ème} année ; 797 kg ha⁻¹ sans pulvérisation et 1878 kg ha⁻¹ avec pulvérisation la 4^{ème} année).

Tableau 2. Impact des attaques des insectes ravageurs sur le rendement en graines de *J. curcas*

Parcelles	Rendement (kg/ha)					
	Année 2011			Année 2012		
	1 ^{er} pic production	2 ^{ème} pic production	Total	1 ^{er} pic production	2 ^{ème} pic production	Total
P ₁ N'sele	159	207	366	324	473	797
P ₂ N'sele	385	563	948	792	1082	1878
P ₁ Mbankana	9	12	21	16	23	39
P ₂ Mbankana	77	129	206	167	245	412

1^{er} pic de production : avril-juillet. 2^{ème} pic de production : septembre-décembre

P₁ = parcelle non traitée à l'insecticide, P₂ = parcelle traitée 3 fois an⁻¹ au diméthoate

Le plus faible niveau des pertes de rendement enregistrées à N'sele est sans doute dû aux importants apports de fertilisants organiques et minéraux et à l'irrigation qui agissent favorablement sur le développement des plantes ainsi qu'à l'effet des cultures associées qui pourraient jouer un rôle dans la prévention des attaques d'insectes. A Mbankana où *J. curcas* est cultivé en pur, le très faible niveau des rendements obtenus est sans doute dû à la pauvreté du sol en nutriments et à l'importance des problèmes phytosanitaires.

Des systèmes de culture pure pratiqués à grande échelle, peuvent favoriser la pullulation des populations des ravageurs (24, 28). D'après Grimm (12), les dommages économiques causés par les punaises sur *J. curcas* au Nicaragua sont estimés à 18,5% de la production totale des graines. La mineuse des feuilles seule ne constituerait pas en réalité une menace pour la production (11), mais lorsqu'elle est associée avec d'autres ravageurs, les dommages peuvent devenir économiquement importants. Ainsi, le développement de programmes phytosanitaires adaptés au contexte local s'avère indispensable pour assurer une production durable de *J. curcas*.

3.5. Autres insectes présents sur *J. curcas* dans la périphérie de Kinshasa

Plusieurs insectes sont présents de manière occasionnelle sur les plantes de *J. curcas*. Parmi ces insectes, on note la cochenille *Phenacoccus* sp. (Hemiptera, Pseudococcidae) qui attaque les feuilles et les fruits en développement ainsi que les criquets migrateurs *Locusta migratoria* Linné (Orthoptera, Acrididea) qui dévorent les feuilles de *J. curcas*. Les dégâts causés par ces insectes étaient très peu importants dans les parcelles observées. Cela ne signifie cependant pas qu'ils n'atteindront pas un jour des seuils critiques. On a également observé la présence d'insectes utiles comme les mantes religieuses *Mantis religiosa* Linné (Mantodea, Mantidea) sur les plantes de nos essais.

Dans une étude réalisée par Srinophakun *et al.* (32) en Thaïlande, les cochenilles ont été identifiées comme ravageurs sur la plantation de *J. curcas*. Sahito *et al.* (29), ont également trouvé des populations de cochenilles sur *J. curcas* chez un écotype indien dont le nombre moyen maximal d'individus plante⁻¹ était de 3,5. La plantation de *J. curcas* à côté de champs de manioc (*Manihot esculenta* Crantz) doit être évitée à cause du risque de transfert de la cochenille du manioc vers *J. curcas*.

4. Conclusion

Dans la région de Kinshasa, la culture de *J. curcas* est soumise à la pression des quatre insectes ravageurs majeurs (*B. membranaceus*, *Aphthona* sp., *S. thraustica* et *Calidea* sp.) appartenant aux ordres des Orthoptères, Coléoptères, Lépidoptères et Hétéroptères. Les attaques de ces bioagresseurs constituent une contrainte très importante à la production.

Sur le Plateau des Batéké, la période de plantation de *J. curcas* coïncide avec le moment de la pullulation des grillons. Entre mi-novembre et mi-décembre, 30 à 40% des plants mis en terre sont détruits par leurs attaques. Ce pourcentage tombe aux environs de 10% au cours de la 1^{re} quinzaine d'octobre et de la deuxième quinzaine de décembre. Les pertes de rendement en graines sur les plantations installées en culture pure sur les terres marginales du Plateau des Batékés atteignent environ 90% en l'absence de protection avec un insecticide. L'importance de ces pertes est de 60% dans le système de maraîchage agroforestier pratiqué sous irrigation à N'selé. Les effectifs moyens les plus élevés des principaux ravageurs (mineuse de feuille, chrysomèle, punaise) ont été observés entre

octobre et janvier avec un pic en décembre et les plus faibles entre février et septembre avec les effectifs les plus bas en juillet. Les précipitations agissent de manière indirecte sur les fluctuations des populations des principaux ravageurs de *J. curcas* à travers la disponibilité de la ressource alimentaire.

La mise en place des méthodes de gestion intégrée de ces ravageurs doit tenir compte de leur dynamique pendant l'année. L'application de biopesticides et l'utilisation des auxiliaires potentiels de la culture, constituent des pistes à explorer pour la production durable de *J. curcas* dans la région de Kinshasa. Des informations sur les paramètres biologiques des insectes ravageurs et leurs plantes hôtes pour l'alimentation et la ponte sont importantes pour le développement des stratégies alternatives efficaces pour leur contrôle.

Références bibliographiques

1. Abdoul Habou Z., Haubruge E., Toudou A. & Verheggen F. J., 2013, *Jatropha curcas* L. (Euphorbiaceae): Insectes ravageurs et propriétés biocides. Biotechnol. Agron. Soc. Environ., In press.
2. Abdoul Habou Z., Adam T., Haubruge E. Mergeai G. & Verheggen F.J., 2013, Analyse de la faune entomologique associée au *Jatropha curcas* L. dans la région de Maradi au Sud-Est du Niger. Faunistic Entomology. In press.
3. Anitha K. & Varaprasad K. S.N., 2012, *Jatropha* Pests and Diseases: An Overview, Chap. 10. In Carels *et al.* (eds.), *Jatropha*, Challenges for a New Energy Crop: Volume 1: Farming, Economics and Biofuel. DOI 10.1007/978-1-4614-4806-8_10, (10/06/2013).
4. Anonyme, 2011, Rapport final du projet Evaluation et optimisation du potentiel de développement d'une culture oléagineuse à hautes performances énergétique et environnementale pour la production de biodiesel, le *Jatropha curcas*, Cirad, Enerbio, Fondation Tuck. <http://www.fondation-tuck.fr/resultats/projets/2008/documents-projet-01/2008-P01-rapport-final.pdf>, (16/03/2013).
5. Bisiaux F., Peltier R. & Muliele J-C., 2009, Plantations industrielles et agroforesterie au service des populations des plateaux de Batéké, Mampu, en République démocratique du Congo. Bois et Forêts des Tropiques, **301**, 3, 21-23.

6. Brittain R. & Litaladio N., 2010, *Jatropha*: a smallholder bioenergy crop. The potential for pro-poor development. Integrated Crop Management, Vol. 8. Food and Agriculture Organization of The United Nations, Rome, Italy, 114 p.
7. Büttiker W. W. & Bünzli G. H., 1958, Biological Notes on the Tobacco Cricket, *Brachytrupes membranaceus* (Drury) (Orthopt., Gryllidae), in Southern Rhodesia. Bulletin of Entomological Research, **49**, 01, 49-57. DOI: <http://dx.doi.org/10.1017/S0007485300053426> (About DOI), Published online: 10 July 2009, (07/06/2013).
8. Delvare G. & Aberlenc H.P., 1989, Les insectes d'Afrique et d'Amérique tropicale : clé de reconnaissance des familles d'insectes, Montpellier, CIRAD-GERDAT, 302 p.
9. Domergue M. & Pirot R., 2008, *Jatropha curcas* L. Rapport de synthèse bibliographique, Cirad, France, 118 p. www.fact-foundation.com/media_en/French_Jatropha_Document_Cirad, (10/09/2010).
10. Franken Y. J. & Nielsen F., 2010, Plantation establishment and management. In: The *Jatropha* Handbook: From Cultivation to Application, Eds: Jan de Jongh. Fact Foundation, Netherlands, pp. 8-27.
11. Ranga Rao G.V., Marimuttu SWani S.P. & Rameshwar Rao V., 2010, Insect pests of *Jatropha curcas* L. and their management. Information bulletin. Patancheru, A.P. 502 324, India: International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics, 26 p.
12. Grimm C., 1996, Utilization of a life table to quantify damages caused by insects on *Jatropha curcas* (Euphorbiaceae) fruits. Manejo Integ. Plagas, **42**, 23-30.
13. Grimm C. & Fuhrer E., 1998, Population dynamics of true bugs (Heteroptera) in physic nut (*Jatropha curcas*) plantations in Nicaragua. J. Appl. Ent., **122**, 515-521.
14. Grimm C. & Guharay F., 1998, Control of leaf-footed bug *Leptoglossus zonatus* and shield-backed bug *Pachycoris klugii* with entomopathogenic fungi. Biocontrol Sci. Techn., **8**, 3, 365-376.
15. Hill D.S., 1983, Agricultural Insect Pests of the Tropics and their Control. Cambridge University Press, Cambridge, pp. 746.
16. Jongschaap R.E.E., Corre W.J., Bindraban P.S. & Brandenburg W.A., 2007, Claims and facts on *Jatropha curcas* L.: Global *Jatropha curcas* evaluation, breeding and propagation programme. Report

158. (Plant Research International BV, Wageningen. The Netherlands and Stichting Het GroeneWoudt, Laren), 66 p.
17. Kiy indou A., 2002, Contribution à l'étude de l'écologie et de la biologie des Homoptères ravageurs des arbres fruitiers et autres plantes I.-Comparaison de l'évolution des populations d'*Aleurodicus dispersus* Russell (Hom.: Aleyrodidae) sur agrumes et avocatier en République du Congo. Tropicultura, **20**, 3, 135-139.
18. Launois M. & Launois-Luong M.H., 1989, *Oedaleus senegalensis* (Krauss, 1877) sauteriau ravageur du sahel, *Collection Acridologie Opérationnelle* (IV), CIRAD/PRIFAS, 36 p.
19. Launois M.H.L. & Lecoq M., 1989, Vade-mecum des criquets du sahel, *Collection Acridologie Opérationnelle* (V), CIRAD/PRIFAS, 82 p.
20. Lecoq M., 1988, Les Criquets du sahel, *Collection Acridologie Opérationnelle* (I) CIRAD/PRIFAS, 125 p.
21. Li Kun, Liu Fang-Yan & Sun Yong-Yu, 2012, Research Development and Utilization Status on *Jatropha curcas* in China, New Advances and Contributions to Forestry Research, Dr. Andrew A. Oteng-Amoako (Ed.), ISBN: 978-953-51-0529-9, In Tech, Available from:<http://www.intechopen.com/books/new-advances-and-contributions-toforestryresearch/research-development-and-utilization-status-on-jatropha-curcas-in-china>, (5/04/2013).
22. Mike P., Charles G. & Alan W., 2004, Field guide to insects of South Africa. Edition Struik, 443 p.
23. Natha S.A. & Olmi M., 2011, Two parasitoids of *Stomphastis thraustica* (Meyrick) (Lepidoptera, Gracillariidae) found for the first time in Mozambique: *Notanisomorphella borboriga* (Giard) and *Apleurotropis lamellata* (Kerrich) (Hymenoptera, Eulophidae). Frustula Entomologica, **33**, 70-75.
24. Nickel J.L., 1973, Pest situation in changing agricultural systems. A review. Bull. Entom. Soc. Am., 18-19.
25. Nyst J., 2010, Contribution à l'étude des possibilités de culture de *Jatropha curcas* L. sur le Plateau des Batéké RDC, Travail de fin d'études présenté en vue de l'obtention de diplôme de master

bioingénieur en sciences agronomiques, orientation agronomie tropicale, Université de Liège-Gembloux Agro-Bio Tech, Belgique, 81 p.

26. Öhman J., 2011, Cultivation and Management of *Jatropha curcas* L. by Small holder Farmers in the Kenyan Districts Baringo and Koibatek. Thesis, Yrkshocskolan Novia University of Applied Sciences, Finland, 92 p.

27. Otieno B. & Mwangi L., 2009, *Jatropha* under attack. A host of insect pests and diseases has been reported in Kenya. Miti, **4**, 28-31.

28. Pimentel D., 1961, Species diversity and insect population's outbreaks. Ann. Entom. Soc. Amer., **19**, 136-142.

29. Sahito HA., Dhilo KH., Mal B. & Memon SA., 2012, Preliminary Studies on Monitoring of Insect Pests and their Natural Enemies on Biodiesel Plant, *Jatropha curcas* L. Crown Journal of Medicine, **2**, 1, 6-14.

30. Schmutterer H., 1969, Pests of crops in the Northeast and Central Africa with particular reference to the Sudan. Fischer, Stuttgart.

31. Shanker C. & Dhyani S. K., 2006, Insect pests of *Jatropha curcas* L. and potential for their management. Curr. Sci., **91**, 2, 162-163.

32. Srinophakun P., Saimaneerat A., Sooksathan I., Visarathanon N., Malaipan S., Kosol Charernsom, & Chongrattanameteekul W., 2011, Integrated Research on *Jatropha curcas* Plantation Management. World Renewable Energy Congress, Sweden, 8-13 May 2011, Linköping, 232-238.

33. Taylor D.E., 1981, The giant or sand cricket. Zimbabwe Agric. J., **78**, 117-118.

34. Terren M., Mignon J., Declerck C., Jijakli H., Savery S., Jacquet de Haveskercke P., Winandy S. & Mergeai G., 2012, Principal Disease and Insect Pests of *Jatropha curcas* L. in the Lower Valley of the Senegal River. Tropicultura, **30**, 4, 222-229.

35. Vermeulen C. & Lanata F., 2006, Le domaine de chasse de Bombo-Lumene : un espace naturel en péril aux frontières de Kinshasa. Parcs et réserves, **61**, 2, 4-8.

36. Walangululu J.M & Mushagalusa G.N., 2000, Les principaux ravageurs des choux pommés (*Brassica oleracea* var. *capitata* subs *sabouda*) à Bukavu et ses environs. Tropicultura, **18**, 2, 55-57.

37. Zahradnik S., 1984, Guide des insectes, Hatier, 264 p.

Chapitre IV. Mise au point de techniques de production permettant à la fois de maintenir la fertilité des sols, de diminuer l'impact des ravageurs et d'obtenir des revenus complémentaires avant l'entrée en pleine production des plantations de *Jatropha curcas* L.

Objectif du chapitre

Jatropha curcas L. pousse relativement bien sur les sols dégradés qui sont marginalement adaptés à l'agriculture, mais le rendement de la plante reste très fortement influencé par le niveau de fertilité du sol et les techniques culturales. L'objectif de ce chapitre est d'évaluer les effets de l'application de la taille, de la fertilisation minérale, de la couverture du sol avec *Stylosanthes guianensis* et de l'association de *J. curcas* avec les cultures vivrières dans des conditions des sols pauvres en périphérie de Kinshasa.

IV.1. Effets de la couverture du sol avec *Stylosanthes guianensis* (Aublet) Swartz, de la taille et de la fumure minérale sur la production de *Jatropha curcas* L. dans la région de Kinshasa

Résumé

En vue d'évaluer les performances de production de *Jatropha curcas* L. en conditions de sols pauvres, un essai a été réalisé entre juillet 2009 et décembre 2012 sur le Plateau des Batéké dans les sites de Mbankana et de Mongata à proximité de Kinshasa. Les résultats obtenus montrent des différences significatives ($p < 0,05$) entre les traitements appliqués (T0: témoin, T1: taille, T2: engrais, T3: taille+engrais, T4: *Stylo*, T5: taille+*Stylo*, T6: engrais+*Stylo*, T7: taille+engrais+*Stylo*) sur le développement végétatif et le rendement en graines.

La couverture du sol avec *S. guianensis* a permis de réduire significativement le taux d'avortement des fruits de *J. curcas* et d'augmenter le nombre moyen de graines par capsule. La combinaison de l'application de la taille, d'engrais minéraux et de la couverture du sol avec *S. guianensis* a permis d'améliorer le rendement de *J. curcas* en 3^{ème} année de production avec, respectivement de $498,7 \pm 5,8$ kg de graines sèches ha^{-1} à Mbankana et de $552,9 \pm 5,0$ kg ha^{-1} à Mongata. Dans les parcelles témoins, les rendements étaient de $167,8 \pm 6,5$ kg de graines sèches ha^{-1} à Mbankana et de $172,2 \pm 5,9$ kg de graines sèches ha^{-1} à Mongata.

Mots clés : Rendement *Jatropha*, avortement des fruits, engrais, *Stylosanthes*, Kinshasa

Abstract

In order to evaluate the performance of *Jatropha curcas* L. in poor soil conditions, a test was conducted near Kinshasa on the Batéké Plateau between July 2009 and December 2012 in the sites of Mbankana and Mongata. The results show significant differences ($p < 0.05$) between the treatments applied (T0: control, T1: pruning, T2: fertilizers, T3: pruning+fertilizers, T4: *Stylo*, T5: pruning+*Stylo*, T6: fertilizers+*Stylo*, T7: pruning+fertilizers+*Stylo*) on the vegetative development and seed yield.

Ground cover with *S. guianensis* permitted to reduce significantly the rate of fruit abortion of *J. curcas* and to increase the average number of seeds per capsule. The combination of pruning, mineral fertilizers application, and *S. guianensis* cover improved drastically the yields of *J. curcas* obtained in the 3rd year of production compared to the control with respectively 498.7 ± 5.8 kg of dry seeds ha^{-1} in

Mbankana and $552.9 \pm 5.0 \text{ kg ha}^{-1}$ in Mongata. In the control plots, yields were $167.8 \pm 6.5 \text{ kg ha}^{-1}$ of dry seeds in Mbankana and $172.2 \pm 5.9 \text{ kg ha}^{-1}$ of dry seeds in Mongata.

Keywords: Yield *Jatropha*, fruit abortion, fertilizers, *Stylosanthes*, Kinshasa

1. Introduction

Des projets pilotes de culture de *Jatropha curcas* L. pour la production d'agrocarburants ont été réalisés sur le Plateau des Batéké dans la partie rurale de Kinshasa en République Démocratique du Congo (RDC) à partir des années 2006 (Minengu *et al.*, 2013a). Les rendements en graines obtenus ont été faibles, ce qui a entraîné l'arrêt de certains projets. La production de *J. curcas* dans cette zone est principalement limitée par la faible fertilité du sol, la forte pression des ravageurs, la grande concurrence exercée par les mauvaises herbes sur la culture principale et la chute prématurée des fruits en début de saison sèche (Minengu *et al.*, 2013b).

Le rendement d'une culture dépend des caractéristiques du milieu naturel, du matériel de plantation utilisé et des techniques de production appliquées. Bien qu'il soit rapporté que *J. curcas* puisse prospérer dans des sols marginaux avec de faibles teneurs en nutriments, la production de graines et le rendement en huile dans ces conditions sont faibles dans la plupart des zones de production (Achten *et al.*, 2008 ; Singh *et al.*, 2013). Dans les conditions du Plateau des Batéké, il est très important d'identifier des techniques qui permettent d'améliorer la fertilité du sol tout en limitant le développement des adventices (*Cynodon dactylon* L., *Digitaria sp.*, *Imperata cylindrica* (L.) P.Beauv., etc). L'installation d'une plante de couverture bien adaptée à l'environnement local, constitue l'une des solutions à ces problèmes.

Stylosanthes guianensis (Aublet) Swartz (appelé ci-après *Stylo*) est une légumineuse qui se développe bien sur des sols très peu fertiles. Elle est capable de dominer les adventices et de produire une forte biomasse même sur des sols dégradés et sans engrais ($5 \text{ à } 10 \text{ tonnes ha}^{-1}$ de matière sèche, et jusqu'à $20 \text{ tonnes ha}^{-1}$ sur sol riche) (Husson *et al.*, 2008).

L'application d'engrais minéraux constitue une autre solution possible pour améliorer la fertilité du sol. Peu de recherches ont été menées jusqu'à présent en ce qui concerne la réponse de la plante aux engrais minéraux en Afrique. Chez *J. curcas*, les fleurs se forment au bout des tiges et la production en

graines peut être améliorée par l'augmentation du nombre de branches grâce à la taille des arbres (King *et al.*, 2009). Des résultats contrastés ont cependant été observés en ce qui concerne l'application de cette technique dans différentes parties du monde (Everson *et al.*, 2012). Il est donc important de tester la pertinence de cette pratique avant de préconiser sa diffusion. Dans ce contexte, la présente étude vise à évaluer l'intérêt de la taille des plantes, de l'apport d'une fertilisation minérale et de la mise en place d'un couvert de *S. guianensis* sur la production de *J. curcas* dans les conditions du Plateau des Batéké à proximité de Kinshasa.

2. Matériel et méthodes

2.1. Sites expérimentaux

2.1.1. Localisation

L'étude a été réalisée dans deux sites du Plateau des Batéké : Mbankana (4°25' de latitude Sud, 15°25' de longitude Est et à 670 m d'altitude) et Mongata (4°46' de latitude Sud, 16°12' de longitude Est et à 607 m d'altitude). Le site de Mbankana est situé sur la route n° 1 (Kinshasa-Kikwit), à 145 km du centre-ville de Kinshasa et à 10 km de la localité de Mbankana. Le site de Mongata est situé à 180 km du centre-ville de Kinshasa et à 9 km de la localité de Mongata sur la route menant vers la ville de Bandundu.

2.1.2. Sol

Les deux sites d'étude sont caractérisés par des sols sablonneux. A Mbankana, le sol contient 94,2% de sable, 1,5% de limon, 4,3% d'argile avec un pH_{eau} de 5,3. La quantité de carbone organique était de 5,3 g kg⁻¹ et le pourcentage de l'humus inférieur à 1,1%. A Mongata, le sol est constitué de 92,2% de sable, 3,5% de limon et 4,3% d'argile avec un pH_{eau} de 5,6. La quantité de carbone organique était de 7 g kg⁻¹ et le pourcentage de l'humus de 1,4%. A Mbankana, l'essai a été installé après une jachère de 7 ans qui a suivi une période de trois ans de culture du manioc puis du maïs. A Mongata, il a été mis en place sur défrichement d'une savane herbeuse utilisée depuis plus de vingt ans comme pâturage.

2.1.3. Climat et végétation

Le climat des deux sites est du type AW₄ selon la classification de Köppen. Ce climat tropical humide se distingue par une saison des pluies s'étendant de la mi-septembre à la mi-mai, subdivisée en deux saisons culturales (A et B) séparées, de la mi-janvier à la mi-février, par une petite saison sèche. La

grande saison sèche dure quatre mois, de la mi-mai à la mi-septembre. Les relevés climatiques de la station météorologique la plus proche de la zone d'étude (Mbankana) pour la période 2009-2012 sont repris au *tableau 1*. Les formations végétales du Plateau des Batéké se composent principalement de savanes arbustives alternant avec des savanes herbeuses (Vermeulen et Lanata, 2006).

Tableau 1. Relevés climatiques pour la période 2009-2012

Années	Température moyenne/an (°C)	Pluviométrie (mm)/an	Humidité relative moyenne/an (%)
2009	25,4	1647,1	84,6
2010	24,8	1290,7	80,6
2011	24,7	2078,0	82,0
2012	25,2	1383,6	81,4

Source : METALSAT-RDC

2.2. Matériel

Les plantules de *J. curcas* mises en place dans les deux sites proviennent des graines récoltées sur un arbuste subspontané à Ilebo dans la province du Kasai occidental en RDC. Pour assurer la couverture permanente du sol, la variété 202cc de *Stylosanthes guianensis* (provenant d'Australie) a été semée dans les parcelles d'essai.

2.3. Méthodes

2.3.1. Plantation de *Jatropha curcas*

Les graines de *J. curcas* ont été semées dans une pépinière installée en pleine terre le 4 juillet 2009. Les plants issus de la pépinière ont été transplantés en racines nues le 13 octobre 2009 dans des trous de plantation de 0,20 cm x 0,20 cm x 0,20 cm à la densité de 2 500 arbres ha⁻¹ (écartement de 2 m x 2 m, 8 plants parcelle⁻¹) sur un terrain préalablement labouré et hersé. L'essai a été installé selon un dispositif expérimental en blocs complets randomisés avec 8 traitements répétés trois fois. Les parcelles élémentaires de 32 m² chacune étaient séparées entre elles de 3 m de distance.

2.3.2. Fertilisation minérale

Les engrais minéraux NPK 17-17-17 (50 kg ha⁻¹) et l'urée (50 kg ha⁻¹) ont été appliqués de façon localisée dans un rayon de 20 cm au pied des plantes de *J. curcas*. La formule et la dose d'engrais appliquées ont été choisies sur base des travaux de Patolia *et al.* (2007). La première fertilisation minérale a été effectuée 30 jours après la mise en place définitive. Les autres apports ont été réalisés à

raison d'une application par an, au début de la saison pluvieuse (octobre) de chaque année.

2.3.3. Installation de la plante de couverture (*S. guianensis*)

Stylosanthes guianensis a été semé le 7 décembre 2009 en intercalaire à raison de 5 lignes entre deux lignes de *J. curcas* et à l'écartement de 30 cm x 30 cm. Les plantes ont été recepées tous les quatre mois afin de limiter la concurrence de *S. guianensis* vis-à-vis des plantes de *J. curcas* tout en maintenant un couvert végétal sur le sol. Avant le démarrage de la grande saison sèche, un paillis issu du rabattage de *S. guianensis* est appliqué au pied de chaque arbre pour améliorer l'économie en eau du sol. *Stylosanthes guianensis* produit de grandes quantités de graines qui permettent la réinstallation naturelle de la plante même après un recepage du couvert (Husson *et al.*, 2008).

2.3.4. Taille des plantes de *J. curcas* et traitement insecticide

Trois tailles ont été réalisées en saison sèche (août) sur les plantes de *J. curcas* à raison d'une taille an⁻¹. Le choix de la période et des modalités de réalisation de ces tailles s'est basé sur les informations reprises chez Achten *et al.* (2008) et de Behera *et al.* (2010). La première taille a consisté à pincer la tige principale pour favoriser le débourrement des bourgeons latéraux. Les deux tailles suivantes ont consisté à couper les branches formées à 10 cm de leur sommet pour former de nouvelles ramifications. Trois traitements au diméthoate (E.C. 40%) ont été appliqués tous les ans pendant la saison pluvieuse (septembre, décembre et avril) à raison de 1 litre ha⁻¹ pour chaque pulvérisation.

2.3.5. Objets comparés

Les objets testés au cours de l'essai sont : T0 (témoin : pas de taille, pas de plante de couverture et pas d'engrais), T1 (taille), T2 (engrais), T3 (taille+engrais), T4 (*Stylo*), T5 (taille+*Stylo*), T6 (engrais+*Stylo*), T7 (taille+engrais+*Stylo*).

2.3.6. Observations

Les plantes de *J. curcas* ont été installées en plein champ au début de la saison culturale A de 2009 (octobre). Elles ont commencé à produire des capsules dès la saison B qui a suivi. A partir de ce moment, un pic de production a été observé lors de chaque saison culturale (saison B : de mars à mai et saison A : de septembre à décembre). Les observations ont été réalisées sur chacune des plantes de chaque parcelle dans tous les blocs et ont porté sur le développement végétatif des plantes de

J. curcas, l'avortement des capsules de *J. curcas*, la production de biomasse de *S. guianensis* et le rendement en graines de *J. curcas* et ses composantes.

Le développement végétatif des plantes de *J. curcas* : les observations végétatives ont porté sur le diamètre au collet, la hauteur de la tige principale et le nombre de ramifications 42 mois après le début de la culture.

L'avortement des capsules de *J. curcas* en saison B : le taux d'avortement des fruits a été évalué chaque année à la fin de la saison B (mai). Cette période se caractérise par un taux élevé d'avortement des capsules à cause du stress hydrique. Ce phénomène est moins important lors du 2^{ème} pic de floraison qui a lieu lors de la saison A (entre septembre et décembre).

La production de biomasse de *Stylo* : pour évaluer la matière sèche produite par *S. guianensis*, huit échantillons de biomasse fraîche ont été prélevés au hasard dans les quatre parcelles (T4 à T7) de chaque site à raison des 2 échantillons par parcelle et par recépage. *Stylosanthes guianensis* a été coupé à la cisaille au niveau de placettes de 1 m² de superficie, le poids total a été pesé et un échantillon de 300 g a été prélevé puis amené au laboratoire pour l'évaluation à l'étuve de la matière sèche (MS). La main d'œuvre nécessaire pour le recépage de *S. guianensis* et le sarclage réalisé dans chaque parcelle a été évaluée.

Le rendement de *J. curcas* et ses composantes : le rendement en graines sèches a été obtenu en ramenant la production totale de chaque traitement à l'hectare. Le nombre de fruits par plante a été compté sur toutes les plantes de chaque parcelle élémentaire. Le nombre de graines par fruit a été obtenu en comptant le nombre total de graines de 30 fruits prélevés au hasard dans la récolte de chaque unité expérimentale. Le poids de 100 graines a été obtenu en pesant 100 graines prélevées au hasard dans la récolte après séchage au soleil. Pour le rendement et ses composantes, seules les données de 2012 sont présentées. La récolte des capsules de *J. curcas* s'étalant sur 30 jours en moyenne, la fréquence de passage dans les parcelles était d'une fois par semaine.

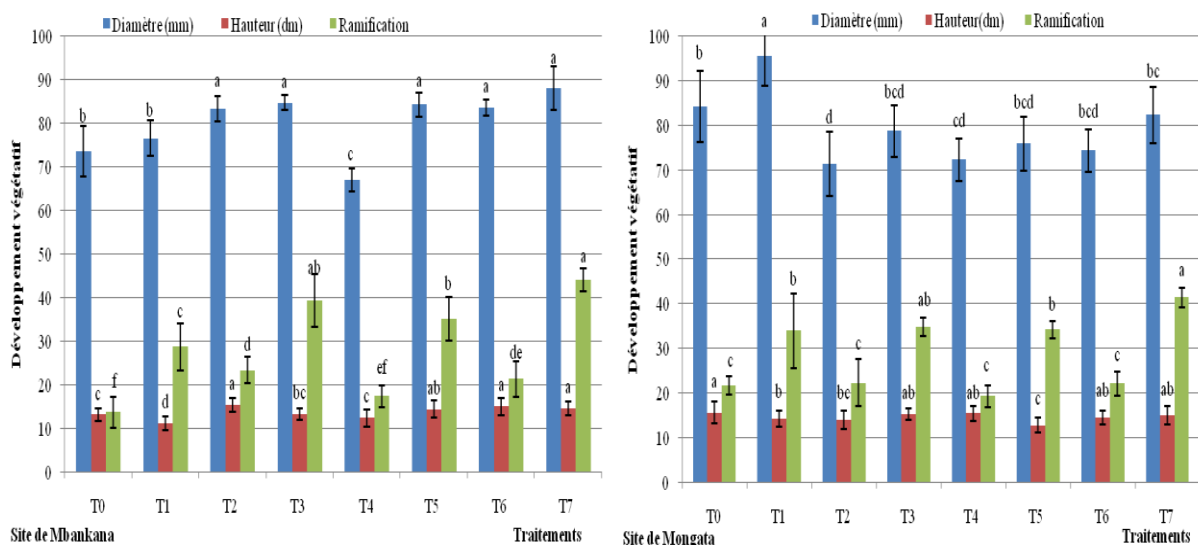
3.3.7. Analyse des données

L'analyse statistique des données a été réalisée avec Excel 2010 et Statistix 8. Le test de la plus petite différence significative au seuil de probabilité de 5% a été utilisé pour la comparaison des moyennes des traitements.

3. Résultats et discussion

3.1. Développement végétatif de *J. curcas* à 42 mois

Les résultats obtenus sur le développement végétatif ont montré des différences significatives entre les traitements appliqués ($p < 0,05$) (Figure 1). L'application de l'engrais minéral et la couverture du sol avec *S. guianensis* ont influencé significativement le diamètre au collet, la hauteur des plantes et le nombre de branches latérales par arbuste dans les deux sites. La concurrence exercée par *S. guianensis* la première année de culture a été défavorable au développement initial des plantes de *J. curcas* dans les deux sites d'étude (données non présentées). Ce qui confirme la sensibilité de *J. curcas* à la concurrence exercée par d'autres plantes au moment de son installation (Everson *et al.*, 2012 ; Barbier *et al.*, 2012). Plusieurs études rapportent une amélioration de la croissance de *J. curcas* avec l'apport d'une fumure organique sur sols pauvres dans plusieurs zones de son aire de distribution (Kumar et Sharma, 2008 ; Kwetche Sop *et al.*, 2012 ; Srinophakun *et al.*, 2012).



La présence de lettres identiques au-dessus des barres de même couleur indique les objets qui ne sont pas significativement différents ($p > 0,05$) pour le paramètre concerné

Légende : T0 (témoin), T1 (taille), T2 (engrais), T3 (taille+engrais), T4 (*Stylo*), T5 (taille+*Stylo*), T6 (engrais+*Stylo*), T7 (taille+engrais+*Stylo*)

Figure 1. Développement végétatif de *J. curcas* à 42 mois

Dans les deux sites d'essai, la réalisation d'une taille a permis d'augmenter sensiblement le nombre de ramifications. La plus forte augmentation est systématiquement obtenue pour l'objet combinant la taille, la fumure minérale et la présence de la plante de couverture. A Mbankana, la combinaison de la

taille avec la fumure minérale, ou avec le couvert de *Stylo* se traduit par une augmentation significative du nombre de ramifications par rapport à l'application de la taille seule. Ces différences ne sont pas observées à Mongata. En l'absence de taille, l'application d'engrais, l'installation de la plante de couverture ou la combinaison des deux, se traduisent par une augmentation significative du nombre de ramifications à Mbankana mais pas à Mongata.

Dans une étude réalisée en Inde dans sept sites aux sols et aux climats très différents correspondant approximativement aux climats BS, Aw, Cw, Am et Af de Köppen, Singh *et al.* (2013) n'ont pas observé systématiquement un effet significatif de l'application d'engrais organiques (entre 0 et 5 kg de fumier de ferme par plante) et minéraux (10 g N, 20 g P et 10 g K par plante) sur la ramification des arbustes. Nous avons fait le même constat au niveau du site de Mongata ; par contre, une différence significative a été enregistrée à Mbankana entre le témoin et l'application d'engrais (traitement T2). L'effet favorable de la réalisation d'une taille selon les modalités mentionnées par Achten *et al.* (2008) et Behera *et al.* (2010) sur le nombre de ramifications par plante est mentionné par de nombreux auteurs qui ont testé cette pratique. Ce traitement ne se traduit cependant pas nécessairement par une augmentation du nombre de capsules récoltables lors de la saison des pluies qui suit sa réalisation (Ghosh *et al.*, 2011 ; Everson *et al.*, 2012).

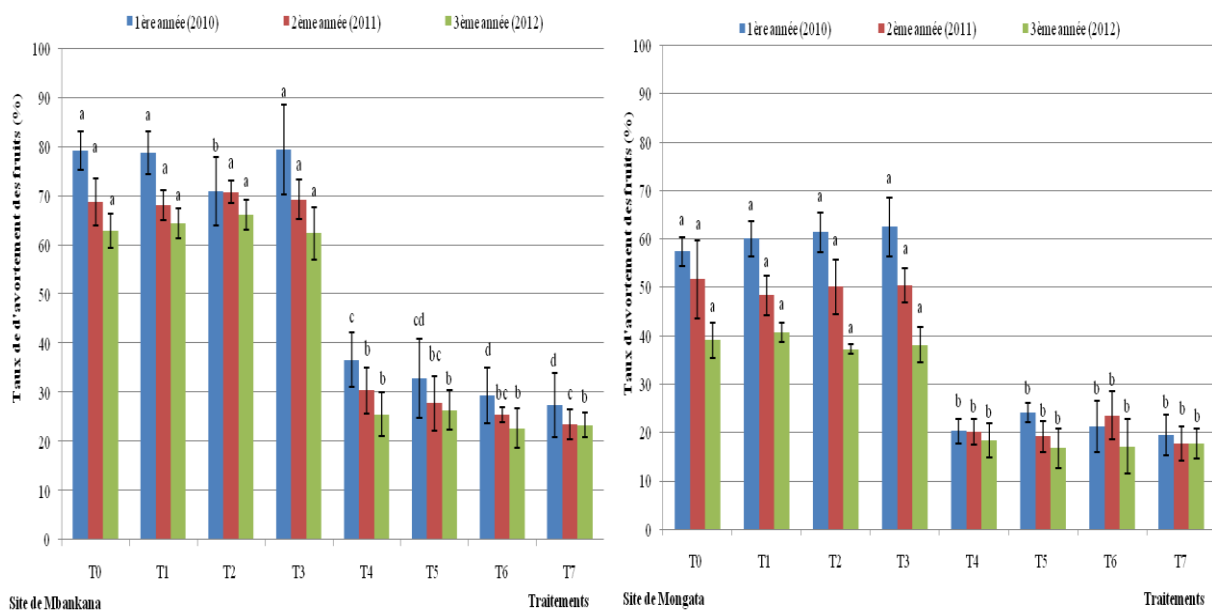
Les mauvais résultats enregistrés la 1^{re} année pour le développement végétatif des plantes de *J. curcas* dans les parcelles où elles sont cultivées en association avec *S. guianensis* pose la question du choix du moment optimal de l'installation de la plante de couverture. Un plus grand décalage du semis de cette dernière par rapport à la date d'installation en plein champ des plants de *J. curcas* ainsi qu'un contrôle plus drastique de son développement initial devraient être favorables à un meilleur développement des arbustes.

3.2. Taux d'avortement des fruits de *J. curcas*

Dans la région de Kinshasa, du fait du très faible potentiel de rétention en eau du sol, on observe une chute prématurée des capsules produites pendant la saison B car la fin de leur développement a lieu au début de la grande saison sèche (Minengu *et al.*, 2013a). Que ce soit à Mbankana ou à Mongata, le taux de chute des fruits par arbuste était plus important pendant la 1^{ère} année de fructification

comparativement aux suivantes (Figure 2). Cette réduction sensible du taux de chute de fruits d'une année à une autre peut s'expliquer par une augmentation du développement racinaire de *J. curcas* avec l'âge de la plante. Plus les racines vont en profondeur, mieux elles permettent à la plante de résister au stress hydrique.

Quels que soient l'année et le site d'essai, l'application d'un paillis issu du rabattage de *S. guianensis* au pied de chaque arbre permet de diminuer significativement ($p < 0,05$) le taux d'avortement des fruits. De plus, pendant les trois années de production, on constate des niveaux d'avortement des capsules supérieurs à Mbankana par comparaison à Mongata. La plus faible capacité de rétention en eau du sol de Mbankana est l'explication probable de ces résultats.



La présence de lettres identiques au-dessus des barres de même couleur indique les objets qui ne sont pas significativement différents ($p > 0,05$) pour le paramètre concerné.

Légende : T0 (témoin), T1 (taille), T2 (engrais), T3 (taille+engrais), T4 (*Stylo*), T5 (taille+*Stylo*), T6 (engrais+*Stylo*), T7 (taille+engrais+*Stylo*)

Figure 2. Taux d'avortement des fruits de *J. curcas*

3.3. Rendement de *J. curcas* et ses composantes

Lors de la 3^{ème} année de production (2012), le nombre de fruits par arbuste, le nombre de graines par fruit, le poids de 100 graines ainsi que le rendement en graines sèches ont montré des différences significatives ($p < 0,05$) entre les objets testés (Tableau 2). Au cours de la première année de fructification, la pratique de la taille et la couverture du sol avec *S. guianensis* n'ont pas permis

d'améliorer la production en fruits de *J. curcas* (données non montrées). Le nombre de capsules le plus élevé a été observé dans les parcelles avec des plantes non taillées et sans couverture du sol. Plusieurs auteurs rapportent un retard de l'entrée en production en cas de taille précoce (Everson *et al.*, 2012 ; Singh *et al.*, 2013). La concurrence exercée par *S. guianensis* au cours de la première année de culture de *J. curcas* a donc probablement affecté à la fois le développement végétatif et la fructification de la plante. L'effet négatif de la culture de *S. guianensis* sur le nombre de fruits par arbuste s'est estompé après la 1^{re} année de production dans les deux sites.

A l'exception du traitement (T2 : engrais) à Mongata, le nombre de capsules par plante observé en 3^{ème} année de fructification est significativement supérieur ($p < 0,05$) à celui du témoin (T0 : $41,4 \pm 5,1$ fruits arbre⁻¹ à Mbankana et $42,6 \pm 7,0$ fruits arbre⁻¹ à Mongata) pour tous les traitements comparés dans les deux sites d'essai. Les nombres de capsules les plus élevés sont obtenus par les combinaisons taille+engrais (T3 : $72,6 \pm 3,2$ fruits arbre⁻¹ à Mbankana et $96,7 \pm 5,6$ fruits arbre⁻¹ à Mongata) et taille+engrais+Stylo (T7 : $123,6 \pm 13,0$ fruits arbre⁻¹ à Mbankana et $136,3 \pm 12,4$ fruits arbre⁻¹ à Mongata). L'augmentation significative du nombre de ramifications constatée dans tous les objets où la taille est réalisée ne se traduit pas par un nombre plus élevé de capsules par plante sauf dans le cas des traitements T3 et T7.

Dans les conditions de l'essai, la combinaison des trois traitements testés se traduit par des effets de synergie importants qui permettent d'obtenir des augmentations très élevées du nombre de capsules par plante. S'agissant du nombre de graines par fruit, des différences significatives ($p < 0,05$) ont été trouvées entre les parcelles avec *Stylo* et sans plante de couverture. Les plantes des parcelles avec *Stylo* ont donné un nombre de graines par fruit plus élevé ($2,8 \pm 0,0$ graines à Mbankana et $2,8 \pm 0,0$ graines à Mongata) que celui des plantes des parcelles sans *Stylo* ($2,5 \pm 0,0$ graines à Mbankana et $2,6 \pm 0,0$ graines à Mongata). *Stylosanthes guianensis* est une légumineuse qui fixe de fortes quantités d'azote (70 à plus de $200 \text{ kg ha}^{-1} \text{ an}^{-1}$) (Husson *et al.*, 2008). Les combinaisons engrais+*Stylo* (T6 : $75,8 \pm 1,6$ g à Mbankana et $80,4 \pm 1,5$ g à Mongata) et taille+engrais+*Stylo* (T7 : $77,8 \pm 2,4$ g à Mbankana et $78,1 \pm 1,9$ g à Mongata), ont donné les poids de 100 graines les plus élevés. Des poids de 100 graines similaires ont été trouvés par Rao *et al.* (2008) dans leur étude sur *J. curcas* en Inde.

Des différences variant entre 20% (Mongata) et 30% (Mbankana) ont été observées au niveau du poids des graines entre les traitements les plus et les moins favorables pour ce paramètre. Les tendances observées pour le nombre de fruits par plante se retrouvent au niveau du rendement en graines. Un effet dépressif de la présence de *S. guianensis* a été constaté à la 1^{re} année (données non montrées) et un gain significatif de rendement par rapport au témoin en 3^{ème} année de production pour tous les traitements appliqués. Les combinaisons taille+engrais (T3 : 295,4±5,9 kg de graines sèches ha⁻¹ à Mbankana et 393,0±8,2 kg ha⁻¹ à Mongata) et taille+engrais+*Stylo* (T7 : 498,7±5,8 kg de graines sèches ha⁻¹ à Mbankana et 552,9±5,0 kg ha⁻¹ à Mongata) ont donné des rendements significativement plus élevés que tous les autres traitements.

Des études menées en Inde et en Thaïlande sur la fertilisation minérale (Patolia *et al.*, 2007 ; Suriharn *et al.*, 2011), montrent qu'elle contribue efficacement à l'augmentation du rendement. Au Mali, les rendements de l'ordre de 500 kg ha⁻¹ dans une plantation de 3 ans ont été signalés dans une agriculture à faibles niveaux d'intrants (de Jongh et Nielsen, 2011). Au Mozambique, les rendements de 79 kg ha⁻¹ et 248 kg ha⁻¹ ont été obtenus dans des plantations âgées respectivement d'un et deux ans (de Jongh et Nielsen, 2011). En Inde, dans l'Etat du Tamil Nadu où la pluviométrie varie entre 690 mm et 1040 mm an⁻¹, des rendements maximums de 750 kg ha⁻¹ avec irrigation et de 450 kg ha⁻¹ en culture pluviale ont été observés en milieu paysan en 3^{ème} année de culture (Ariza-Montobbio *et al.*, 2010).

Les rendements de notre étude sont plus bas que les rendements et les performances agronomiques mentionnés par de nombreux travaux (Heller, 1996 ; Openshaw, 2000 ; Francis *et al.*, 2005; Tewari, 2007), dans lesquels manquent certaines informations sur le type de matériel de plantation utilisé (graines ou bouture), l'âge de la plantation, les conditions climatiques du site, la fertilisation, la protection phytosanitaire, etc. Nos résultats montrent que dans les conditions du Plateau des Batékés, l'application de techniques de production appropriées (taille, fertilisation, plante de couverture) permet d'augmenter sensiblement le rendement en graines de *J. curcas*. Il n'est pas possible de préjuger le temps qui sera nécessaire pour que la plante atteigne son plein potentiel de production, ni du niveau de rendement qui sera atteint à ce stade.

Tableau 2. Rendement et ses composantes en 3^{ème} année de production (récoltes de *J. curcas* réalisées lors des saisons culturales B et A de 2012).

Traitements	Site de Mbankana				Site de Mongata			
	Nombre fruits/arbre	Nombre graines/fruit	Poids 100 graines (g)	Rendement en graines (kg/ha)	Nombre fruits/arbre	Nombre graines/fruit	Poids 100 graines (g)	Rendement en graines (kg/ha)
T0	41,4±5,1 ^d	2,5±0,1 ^b	54,9±3,1 ^e	167,8±6,5 ^g	42,6±7,0 ^d	2,6±0,1 ^b	65,2±2,1 ^e	172,2±5,69 ^e
T1	60,9±6,5 ^{bc}	2,5±0,1 ^b	53,8±1,8 ^e	246,3±5,6 ^d	65,4±4,8 ^c	2,6±0,1 ^b	62,1±3,7 ^e	265,1±7,5 ^{cd}
T2	48,6±4,7 ^{cd}	2,6±0,1 ^b	68,9±1,6 ^{cd}	195,4±6,4 ^f	59,0±3,6 ^c	2,6±0,0 ^b	73,8±1,4 ^{cd}	236,8±8,1 ^d
T3	72,6±3,24 ^b	2,5±0,1 ^b	66,9±1,8 ^d	295,4±5,9 ^b	96,7±5,6 ^b	2,6±0,1 ^b	73,6±2,7 ^d	393,0±8,2 ^b
T4	61,3±9,8 ^{bc}	2,8±0,0 ^a	74,1±2,8 ^b	151,3±4,7 ^h	64,5±3,9 ^c	2,8±0,0 ^a	77,8±1,4 ^{abc}	237,5±8,3 ^d
T5	70,9±7,6 ^b	2,7±0,0 ^a	70,5±2,3 ^c	287,5±4,3 ^c	66,5±10,0 ^c	2,8±0,1 ^a	75,2±1,4 ^{bcd}	382,7±6,4 ^b
T6	51,6±10,0 ^{cd}	2,9±0,1 ^a	75,8±1,6 ^{ab}	205,2±5,8 ^e	68,4±8,3 ^c	2,8±0,0 ^a	80,4±1,5 ^a	276,0±7,4 ^c
T7	123,6±8,4 ^a	2,8±0,0 ^a	77,8±2,4 ^a	498,7±5,8 ^a	136,3±12,4 ^a	2,9±0,1 ^a	78,1±1,9 ^{ab}	552,9±5,0 ^a

Les résultats sont présentés sous forme de moyennes ± écart types des moyennes. Les valeurs affectées d'une même lettre en exposant sur la même colonne ne sont pas significativement différentes au seuil de probabilité de 5%.

Légende : T0 (témoin), T1 (taille), T2 (engrais), T3 (taille+engrais), T4 (*Stylo*), T5 (taille+*Stylo*), T6 (engrais+*Stylo*), T7 (taille+engrais+*Stylo*)

3.4. Gestion de la plante de couverture (*Stylo*) et production de matière sèche

L'installation de *S. guianensis* comme plante de couverture a permis de limiter le développement des adventices (*Digitaria sp.*, *Imperata cylindrica* (L.) P.Beauv., *Cynodon dactylon* L., etc.) mais a demandé la réalisation régulière d'un rabattage du couvert pour limiter la concurrence qu'il exerce vis-à-vis des plantes de *J. curcas*. Après son installation, *S. guianensis* connaît un développement très important et a tendance, s'il n'est pas contrôlé, à étouffer les plantes qui lui sont associées. Trois recepages $\text{ha}^{-1} \text{an}^{-1}$ ont été réalisés pour contrôler le développement de *S. guianensis* ce qui correspond à $60 \pm 5 \text{ h.j ha}^{-1} \text{an}^{-1}$. Le contrôle des adventices dans les parcelles non couvertes par *S. guianensis* a nécessité $80 \pm 4 \text{ h.j ha}^{-1} \text{an}^{-1}$ répartis en 4 sarclages. L'efficacité de la plante de couverture dans la lutte contre les adventices est le résultat de son ombrage préjudiciable au développement des mauvaises herbes (Aklamavo et Mensah, 1997).

La biomasse produite par *S. guianensis* (Tableau 3) ne montre pas de différences significatives entre les objets ($p > 0,05$) et ne dépasse pas 4 tonnes $\text{ha}^{-1} \text{an}^{-1}$ de matière sèche ($3,3 \pm 0,0$ tonnes à Mbankana et $3,6 \pm 0,0$ tonnes à Mongata). Cette production est bien inférieure au chiffre de 5 à 10 tonnes ha^{-1} de matière sèche avancé par Husson *et al.* (2008) à Madagascar, ce qui confirme l'extrême pauvreté du sol dans nos sites d'étude.

Tableau 3. Biomasse moyenne sèche de *S. guianensis* (tonnes/ha/an) (moyenne calculée sur 3 ans)

Traitements	Site de Mbankana	Site de Mongata
T0 (témoin)	-	-
T1 (taille)	-	-
T2 (engrais)	-	-
T3 (taille+engrais)	-	-
T4 (<i>Stylo</i>)	$3,2 \pm 0,0^a$	$3,6 \pm 0,0^a$
T5 (taille+ <i>Stylo</i>)	$3,2 \pm 0,0^a$	$3,6 \pm 0,0^a$
T6 (engrais+ <i>Stylo</i>)	$3,3 \pm 0,0^a$	$3,6 \pm 0,0^a$
T7 (taille+engrais+ <i>Stylo</i>)	$3,3 \pm 0,0^a$	$3,6 \pm 0,0^a$

Comparé aux autres plantes de couverture qui ont été testées par l'Université de Kinshasa en association avec d'autres cultures sur le Plateau des Batéké (*Mucuna pruriens* (L.) DC., *Pueraria phaseolides* (Roxb.) Benth.), *S. guianensis* constitue l'alternative la plus intéressante. Pour réduire la concurrence de *S. guianensis* vis-à-vis de la culture de *J. curcas* au cours de la première année de son développement, un plus grand délai est nécessaire entre la transplantation des plantes de *J. curcas* et le semis de *S. guianensis*. La durée exacte de ce décalage reste à déterminer. La réalisation d'une culture vivrière annuelle à faible développement végétatif au moment de l'installation des plantes de *J. curcas* en attendant le semis de *S. guianensis*, permettrait de générer des revenus tout en assurant l'entretien de la plantation.

4. Conclusion

L'installation de la plante de couverture (*S. guianensis*), l'application de la taille et la fertilisation minérale ont permis d'augmenter significativement la production de *J. curcas* dans les deux sites d'étude. Les rendements obtenus en 3^{ème} année de production étaient respectivement en cas de combinaison de ces trois traitements de $498,7 \pm 5,8$ kg de graines sèches ha⁻¹ à Mbankana et de $552,9 \pm 5,0$ kg graines sèches ha⁻¹ à Mongata. Les parcelles témoins ont donné les rendements les plus faibles ($167,8 \pm 6,5$ kg des graines sèches ha⁻¹ à Mbankana et $172,2 \pm 5,9$ kg des graines sèches ha⁻¹ à Mongata).

La couverture du sol avec *S. guianensis* et la constitution d'un paillis au pied de *J. curcas* par rabattage de *S. guianensis* ont permis de réduire significativement le taux de chute des fruits de la 1^{ère} à la 3^{ème} année de production. Elles se sont également traduites par une augmentation du nombre moyen de graines par capsule. Pour réduire la concurrence de la plante de couverture au cours du premier cycle de développement de *J. curcas*, il est indispensable que la légumineuse de couverture soit installée plusieurs mois après la mise en place définitive de la culture pérenne. La durée optimale de ce délai reste à déterminer. Les résultats obtenus confirment les faibles performances de *J. curcas* au cours des premières années de son développement dans des sols pauvres en conditions de culture extensive. Ils mettent également en avant la nécessité d'adapter à chaque contexte de culture les itinéraires techniques à appliquer.

Références

- Achten WMJ, Verchot L, Franken YJ *et al.* 2008. *Jatropha* bio-diesel production and use. *Biomass and Bioenergy* 32: 1063-1084.
- Aklamavo M, Mensah GA. 1997. Quelques aspects de l'utilisation du *Mucuna* en milieu rural en République du Bénin. *Bulletin de la Recherche Agronomique* 3: 34-46.
- Ariza-Montobbio P, Sharachchandra L, Giorgos K, Martinez-Alier J. 2010. The political ecology of *Jatropha* plantations for biodiesel in Tamil Nadu, India. *Journal of Peasant Studies* 37(4): 875-897. DOI: 10.1080/03066150.2010.512462.
- Barbier J, Cissao M, Cissé C, Loch F, Grand C, Mergeai G. 2012. Intérêts de mettre en place une filière courte basée sur la culture du *Jatropha* (*Jatropha curcas* L.) dans la Communauté Rurale de Dialacoto Sénégal. Document de synthèse de recherche, 138 p.
- Behera SK, Srivastava P, Tripathi R, Singh JP, Singh N. 2010. Evaluation of plant performance of *Jatropha curcas* L. under different agro-practice for optimizing biomass - A case study. *Biomass and Bioenergy* 32(1): 30-41.
- de Jongh J, Nielsen F. 2011. *Lessons learned: Jatropha for local development*. Fact foundation, 65 p. <http://www.fact-foundation.com/en/Knowledge>.
- Everson CS, Mengistu MG, Gush MB. 2012. A field assessment of the agronomic performance and water use of *Jatropha curcas* in South Africa. *Biomass and Bioenergy* XXX: I-II. doi :10.1016/j.biombioe.2012.
- 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 perspectives of *Jatropha* plantations. *Natural Resources Forum* 29: 12-14.
- Ghosh A, Chikara J, Chaudhary DR. 2011. Diminution of economic yield as affected by pruning and chemical manipulation of *Jatropha curcas* L. *Biomass and Bioenergy* 35(3): 1021-1029.

- Heller J. 1996. *Physic nut. Jatropha curcas* L. *Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops*. 1. Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research, Gatersleben/ International Plant Genetic Resources Institute, Rome.
- Husson O, Charpentier H, Razanamparany C *et al.* 2008. *Stylosanthes guianensis*. Fiches techniques, plantes de couverture : Légumineuses pérennes, Cirad, France. 1205643257(1).pdf
- King AJ, He W, Cuevas JA, Freudenberger M, Ramiaramanana D, Graham IA. 2009. Potential of *Jatropha curcas* as source of renewable oil and animal feed. *Journal Exp Environ Botany* 60 (10): 2897-2905.
- Kumar A, Sharma S. 2008. An evaluation of multipurpose oil seed crop for industrial uses (*Jatropha curcas* L.): a review. *Ind Crops Prod.* 28: 1-10.
- Kwetché Sop T, Wenemi Kagambega F, Bellefontaine R, Schmiedel U, Thiombiano A. 2012. Effects of organic amendment on early growth performance of *Jatropha curcas* L. on a severely degraded site in the Sub-Sahel of Burkina Faso. *Agroforest Syst* 86: 387-399.
- Minengu JDD, Mobambo P, Mergeai G. 2013a. Analyse des performances technico-économiques de quatre systèmes de culture basés sur la production de *Jatropha curcas* L. dans la région de Kinshasa (République Démocratique du Congo). *Tropicultura* (In press).
- Minengu JDD, Verheggen F, Mergeai G. 2013b. Dynamique et impact des principaux insectes ravageurs de *Jatropha curcas* L. dans deux systèmes de culture aux caractéristiques contrastées de la province de Kinshasa (République Démocratique du Congo). *Tropicultura* (In press).
- Openshaw K. 2000. A review of *Jatropha curcas*: an oil plant of unfulfilled promise. *Biomass and Bioenergy* 19: 1-15. [http://dx.doi.org/10.1016/S0961-9534\(00\)00019-2](http://dx.doi.org/10.1016/S0961-9534(00)00019-2).
- Patolia J, Ghosh A, Chikara J, Chaudhary DR, Parmar DR, Bhuva HM. 2007. Response of *Jatropha curcas* grown on wasteland to N and P fertilization. In *Expert Seminar on Jatropha curcas* L. *Agronomy and Genetics, Wageningen, Netherlands*.

- Rao GR, Korwar GR, Shanker AK, Ramakrishna YS. 2008. Genetic associations, variability and diversity in seed characters, growth, reproductive phenology and yield in *Jatropha curcas* (L.) accessions. *Trees* 22: 697-709. DOI 10.1007/s00468-008-0229-4.
- Singh B, Singh K, RejeshwarRao *et al.* 2013. Agro-technology of *Jatropha curcas* for diverse environmental conditions in India. *Biomass and Bioenergy* 48: 191-202.
- Srinophakun P, Titapiwatanakun B, Sooksathan I, Punsuvon V. 2012. Prospect of Deoiled *Jatropha curcas* Seedcake as Fertilizer for Vegetables Crops-A Case Study. *Journal of Agricultural Science* 4(3): 211-226.
- Suriharn B, Sanitchon J, Sangsri P, Kesmala T. 2011. Effets of Pruning Levels and Fertilizer Rates on Yield of Physic Nut (*Jatropha curcas* L.). *Asian Journal of Plant Sciences* 10(1): 52-59.
- Tewari D N. 2007. *Jatropha and biodiesel*. 1st ed. New Delhi : Ocean Books Ltd.
- Vermeulen C, Lanata F. 2006. Le domaine de chasse de Bombo-Lumene : un espace naturel en péril aux frontières de Kinshasa. *Parcs et réserves* 61(2) : 4-8.

IV.2. Etude des possibilités de production de *Jatropha curcas* L. dans un couvert permanent de *Stylosanthes guianensis* (Aublet) Swartz en association avec le maïs (*Zea mays* L.) et le soja (*Glycine max* (L.) Merr.) dans les conditions du Plateau des Batéké à Kinshasa

Résumé

Une expérience a été réalisée entre juillet 2009 et fin décembre 2012 sur le Plateau des Batéké à proximité de Kinshasa en vue d'évaluer l'impact de l'association de *Jatropha curcas* L. avec des cultures vivrières à cycle court (maïs *Zea mays* L. et soja *Glycine max* (L.) Merr.) dans un couvert permanent de *Stylosanthes guianensis* (Aublet) Swartz. Les treize objets comparés se composaient de la rotation maïs – maïs – soja en culture pure et de douze objets avec *J. curcas* combinant : (1) la culture de *J. curcas* en pur ou en association avec *S. guianensis*, (2) trois densités de plantation de *J. curcas* (3 333, 2 500, ou 1 667 arbustes ha⁻¹) et (3) l'association ou non de *J. curcas* avec une culture annuelle à cycle court (rotation maïs - maïs, soja).

Le développement végétatif et le rendement des cultures vivrières et de *J. curcas* ont été plus élevés dans les parcelles avec couverture permanente de *S. guianensis*. Le rendement le plus élevé de *J. curcas* en 3^{ème} année de production (récoltes de juillet et de décembre 2012) était de 409,4±13,2 kg de graines sèches ha⁻¹ dans les parcelles avec *S. guianensis* et de 289,6±8,1 kg ha⁻¹ dans les parcelles sans couverture végétale permanente. La gravité des dégâts des insectes ravageurs sur *J. curcas* a été plus élevée en culture pure (>60%) qu'en association culturale (<45%). La culture de *J. curcas* dans un couvert permanent de *S. guianensis* en association avec des cultures de maïs et de soja permet d'assurer à la fois un bon développement des arbustes et des rendements intéressants des cultures vivrières pendant les premières années qui suivent l'installation de la plantation. Au cours de cette phase, la densité de plantation optimale est de 2 500 arbustes ha⁻¹.

Mots-clés : *Jatropha*, cultures vivrières, *Stylosanthes*, rendement, Kinshasa

Abstract

An experiment was carried out between July 2009 and December 2012 on the Batéké Plateau near Kinshasa to assess the impact of the intercropping of *Jatropha curcas* L. with short-cycle food crops (maize *Zea mays* L. and soybeans *Glycine max* (L.) Merr.) in a permanent cover of *Stylosanthes guianensis* (Aublet) Swartz. The thirteen compared treatments consisted in the rotation corn – corn – soybean in pure stand and twelve combinations involving the cultivation of *J. curcas*: (1) *Jatropha curcas* in sole crop or in association with *S. guianensis*, (2) three *J. curcas* planting densities (3 333, 2 500, or 1 667 shrubs ha⁻¹) and (3) *Jatropha curcas* sole cropped or associated with a short-cycle annual crop (rotation corn - corn, soybean).

Vegetative development and seed yield of food crops and *J. curcas* were higher in plots with permanent *S. guianensis* cover. The highest mean yield of *J. curcas* in the 3rd year of production (harvests of July and December 2012) was 409.4±13.2 kg ha⁻¹ dry seeds in plots with *S. guianensis* cover and 289,6±8,1 kg ha⁻¹ in plots without mulch. The gravity of the damage of insect pests on *J. curcas* was higher in sole cropping (>60%) than in intercropping (<45%). The cultivation of *J. curcas* in a permanent cover of *S. guianensis* in intercropping with maize and soybean ensures both a good development of *J. curcas* plants and attractive yields of annual food crops in the early years following the installation of the plantation. During this phase, the optimum planting density is 2 500 shrubs ha⁻¹.

Keywords: *Jatropha*, food crops, *Stylosanthes*, yield, Kinshasa

1. Introduction

Au cours de ces dernières années, une attention considérable a été accordée à la culture de *Jatropha curcas* L. en tant que source de matière première pour la production d'agrocarburants (16). Une demi-douzaine de plantations de *J. curcas* ont été mises en place dans la partie rurale de Kinshasa sur des sols très peu fertiles. Les faibles rendements obtenus, le coût très élevé des intrants (engrais et insecticides) et les faibles quantités de graines récoltées par journée de travail sont les principales causes du faible revenu généré par la culture pure de *J. curcas* dans la région (18).

Aucun produit comestible n'est actuellement obtenu avec les variétés de *J. curcas* cultivées en RDC, et l'extension de sa culture pure sur de grandes surfaces peut constituer une menace pour la sécurité

alimentaire des populations. De plus, plusieurs auteurs ont constaté que la durée nécessaire avant l'entrée en pleine production de *J. curcas* était supérieure à 5 ans (2, 13, 26). L'absence de revenu pendant une période aussi longue n'étant pas envisageable pour la grande majorité des petits planteurs, la culture de plantes vivrières à cycle court dans les interlignes de *J. curcas* est souvent pratiquée dans d'autres parties du monde (10, 25). Les associations culturales les plus fréquemment observées sur le Plateau des Batéké à Kinshasa sont manioc (*Manihot esculenta* Crantz) – maïs, manioc – soja (*Glycine max* (L.) Merr.), maïs – arachide (*Arachis hypogaea* L.) et manioc – niébé (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.).

Parmi ces cultures, le manioc est sensible à certains des bio-agresseurs qui s'attaquent aux plantes de *J. curcas* (maladies virales, cochenilles) et ne convient donc pas à la culture associée avec ce dernier (11). Après le manioc, le maïs est la principale denrée alimentaire produite en République Démocratique du Congo (RDC), et sa culture est principalement réalisée par des exploitations paysannes de très petite taille, centrées sur la sécurité alimentaire familiale (8). Le niébé, l'arachide et le soja sont des cultures très importantes au point de vue nutritionnel du fait de leur teneur élevée en protéines. Grâce à leur capacité de fixer l'azote atmosphérique via la symbiose rhizobienne, elles sont également importantes pour la durabilité des systèmes de production où elles entrent dans de nombreuses associations ou rotations culturales (8).

La sédentarisation de l'agriculture par l'abandon de la jachère s'accompagne souvent d'une diminution de la fertilité des sols sous les tropiques et plus particulièrement dans les zones humides (12). Le déclin rapide de la fertilité des sols du Plateau des Batéké est provoqué par une fertilité initiale déjà très faible, une décomposition rapide de la matière organique et le lessivage des éléments nutritifs provoqués par des précipitations intenses. La culture de différentes spéculations annuelles (manioc, riz, maïs) sans travail du sol, en semis direct dans un couvert végétal permanent de *Stylosanthes guianensis* (Aublet) Swartz (ci-après dénommé *Stylo*) a permis d'améliorer la fertilité de sols très pauvres et acides dans des régions de moyenne altitude à Madagascar (14). Dans ce système, le rôle du couvert de *Stylo* est de produire une biomasse destinée à protéger le sol en permanence et à empêcher la lixiviation des éléments nutritifs hors de portée des racines des plantes cultivées en les

remontant continuellement vers l'horizon supérieur du substrat. De manière à maintenir un tapis de végétation protectrice en surface, le semis des cultures commerciales s'effectue directement sans travailler le sol.

Dans toute association culturale, la disposition et la densité des plantes des espèces cultivées conjointement doivent tenir compte des exigences de chaque espèce végétale afin de réduire la compétition entre les composantes (9). Il y a peu d'informations scientifiques sur les impacts de l'association de *J. curcas* avec les cultures vivrières à cycle court sur couvert permanent d'une légumineuse. L'objectif de la présente recherche est d'évaluer les possibilités de production de cultures vivrières traditionnelles de la région (maïs et soja) en culture continue dans un couvert permanent du sol avec *S. guianensis* et en association avec la culture de *J. curcas*.

2. Matériel et méthodes

2.1. Site d'étude

L'étude a été réalisée à Mbankana (4°47' de latitude Sud, 16°12' de longitude Est et à 684 m d'altitude). L'essai a été installé sur défrichement d'une jachère de six ans dans un sol très pauvre, constitué de 94,2% de sable et de 1,1% d'humus. Le climat est de type AW₄ selon la classification de Köppen. Ce climat tropical humide se distingue par une saison des pluies s'étendant de la mi-septembre à la mi-mai qui est subdivisée en deux saisons culturales (A et B) séparées, de la mi-janvier à la mi-mars, par une petite saison sèche. La grande saison sèche dure, quant à elle, quatre mois, de la mi-mai à la mi-septembre (6). Les relevés climatiques de la zone d'étude (Mbankana) pour la période 2009-2012 fournis par l'Agence Nationale de Météorologie et de Télédétection par Satellite (METELSAT) de la RDC sont repris au tableau 1.

Tableau 1. Relevés climatiques pour la période 2009-2012

Années	Température moyenne/an (°C)	Pluviométrie (mm)/an	Humidité relative moyenne/an (%)
2009	25,4	1647,1	84,6
2010	24,8	1290,7	80,6
2011	24,7	2078,0	82,0
2012	25,2	1383,6	81,4

Source : METELSAT-RDC

Les formations végétales du Plateau des Batéké se composent principalement de savanes arbustives alternant avec des savanes herbeuses (26).

2.2. Matériel végétal

Les plantes de *J. curcas* installées proviennent de graines récoltées sur un arbuste subspontané de la province du Kasaï occidental. La plantation en plein champ a été précédée par une phase de culture en pépinière pendant 3 mois (du 8 juillet au 13 octobre 2009). La couverture permanente du sol a été réalisée avec la variété 202cc de *S. guianensis*. Les semences de maïs et de soja, provenant de populations locales du Plateau des Batéké, ont été utilisées pour réaliser les cultures intercalaires.

2.3. Méthodes

2.3.1. Plantation

Les plantes de *J. curcas* ont été mises en place le 15 octobre 2009, au début de la saison culturale A (grande saison des pluies qui va de septembre à décembre) aux densités de 3 333, 2 500 et 1 667 arbustes ha⁻¹ (écartements de 2 m x 1,5 m ; 2 m x 2 m ; 3 m x 2 m) sur un terrain préalablement labouré et hersé. L'essai a été installé selon un dispositif expérimental en blocs complets randomisés (blocs de Fisher) avec 13 objets répétés trois fois. Chaque parcelle élémentaire avait une superficie de 48 m² (8 m x 6 m) et était séparée de ses voisines par une distance de 3 m. *Stylosanthes guianensis* a été semé le 17 novembre 2009 dans les interlignes de *J. curcas* à l'écartement de 30 cm x 30 cm. Les cultures de maïs et de soja ont été semées chaque année en saison A (1^{ère} semaine du mois d'octobre) à partir de 2010 entre les lignes de *J. curcas* respectivement aux écartements de 0,50 m x 0,50 m et 0,30 m x 0,30 m. Les densités de semis du maïs et du soja en association avec *J. curcas* et en culture pure sont présentées dans le tableau 2.

Tableau 2. Densité du maïs et du soja

Parcelle	Densité maïs (plants ha ⁻¹)	Densité soja (plants ha ⁻¹)
De 3 333 plants <i>Jatropha</i> ha ⁻¹	40 200	83 500
De 2 500 plants <i>Jatropha</i> ha ⁻¹	40 200	83 500
De 1 667 plants <i>Jatropha</i> ha ⁻¹	41 580	88 176
Plante vivrière	50 000	111 111

2.3.2. Entretien de la plantation

Trois tailles ont été réalisées en saison sèche (août) sur les plantes de *J. curcas* à raison d'une taille an⁻¹. La première taille a consisté à pincer la tige principale pour favoriser le débourrement des bourgeons latéraux. Les deux tailles suivantes ont consisté à couper les branches formées à 10 cm de leur sommet pour former de nouvelles ramifications.

Les plantes de *S. guianensis* ont été recepées afin de limiter la concurrence qu'elles exercent vis-à-vis des plantes de *J. curcas* tout en maintenant un couvert végétal sur le sol. Pour permettre la réinstallation de *S. guianensis* par semis naturel, un seul recepage de la plante a été réalisé au cours de la première année de culture, en août 2010 (8 mois après le semis). A partir de cette date, *S. guianensis* a été rabattu tous les quatre mois. Avant le démarrage de la grande saison sèche, un paillis issu du rabattage de *S. guianensis* est appliqué au pied de chaque arbuste pour améliorer l'économie en eau du sol.

Trois traitements au diméthoate (E.C. 40%, 1 litre ha⁻¹ à chaque pulvérisation) ont été appliqués lors de la première année de culture (respectivement en février, juin et septembre). En vue d'évaluer l'impact de l'association culturale sur la gravité des dégâts des insectes ravageurs sur *J. curcas*, un seul traitement insecticide a été appliqué chaque année au mois de septembre à partir de 2011. L'installation de *S. guianensis* a empêché le développement des adventices (*Digitaria sp.*, *Imperata cylindrica* (L.) P.Beauv., *Cynodon dactylon* L., etc.) dans les parcelles où il était semé, et les sarclages (3 fois an⁻¹) ont été réalisés seulement dans les parcelles sans *Stylo*.

2.3.3. Objets testés

Les objets ou traitements testés au cours de l'essai sont : T1: *Jatropha* (3 333 plants ha⁻¹) + *Stylo*, T2: *Jatropha* (2 500 plants ha⁻¹) + *Stylo*, T3: *Jatropha* (1 667 plants ha⁻¹) + *Stylo*, T4: *Jatropha* (3 333 plants ha⁻¹) + *Stylo* + plante vivrière, T5: *Jatropha* (2 500 plants ha⁻¹) + *Stylo* + plante vivrière, T6: *Jatropha* (1 667 plants ha⁻¹) + *Stylo* + plante vivrière, T7: *Jatropha* (3 333 plants ha⁻¹), T8: *Jatropha* (2 500 plants ha⁻¹), T9: *Jatropha* (1 667 plants ha⁻¹), T10: *Jatropha* (3 333 plants ha⁻¹) + plante vivrière, T11: *Jatropha* (2 500 plants ha⁻¹) + plante vivrière, T12: *Jatropha* (1 667 plants ha⁻¹) + plante vivrière, T13: plante vivrière.

2.3.4. Observations

Les observations ont porté sur les paramètres végétatifs et sur les composantes du rendement de *J. curcas* ainsi que des cultures vivrières. Le diamètre au collet, la hauteur des plantes et le nombre de ramifications de *J. curcas* ont été mesurés en décembre 2012 sur toutes les plantes de chaque parcelle. La gravité des attaques des insectes ravageurs a été évaluée en calculant la proportion de feuilles présentant des dégâts. Ce sont les feuilles de la 3^{ème} branche à partir du collet de cinq plantes de chaque parcelle choisies au hasard qui ont servi pour évaluer la gravité. L'évaluation a été effectuée pendant la période de culture des plantes vivrières (d'octobre à décembre) de 2010 à 2012.

Le rendement ha^{-1} en graines sèches de *J. curcas* a été estimé à partir de la production de l'ensemble des plantes de chaque parcelle élémentaire. *Jatropha curcas* a commencé à produire dès la saison B (petite saison des pluies qui va de mars à mai) qui a suivi sa mise en place. Un pic de production étant observé par saison culturale, les données annuelles de rendement présentées concernent respectivement les saisons B et A (A : grande saison des pluies qui va de septembre à décembre) des années 2010, 2011 et 2012.

Pour les cultures vivrières, le développement végétatif (diamètre au collet et hauteur) a été mesuré sur toutes les plantes de chaque parcelle et le rendement a été évalué à partir de la production de toute la parcelle. *Stylosanthes guianensis* a été coupé à la cisaille au niveau de placettes de 1 m^2 de superficie, le poids total a été pesé et un échantillon de 300 g a été prélevé à chaque recepage puis amené au laboratoire pour l'évaluation à l'étuve de la matière sèche (MS).

2.3.5. Traitement et analyse des données

Le traitement et l'analyse statistique des données obtenues ont été réalisés avec Excel 2010 et Minitab 16. Le test de la plus petite différence significative au seuil de probabilité de 5% a été utilisé pour la comparaison des moyennes des traitements. Le « Land Equivalent Ratio » de chaque association culturale comparée a été calculé selon la méthode proposée par Mead et Willey (17), en tenant compte des rendements annuels des cultures en pur et en association. Le « Land Equivalent Ratio », appelé taux de surface équivalente (TSE) en français, permet de comparer l'efficacité biologique des associations culturales à celle de cultures pures.

3. Résultats et discussion

3.1. Développement végétatif de *J. curcas*

L'analyse de la variance a montré des différences significatives entre les traitements appliqués ($P < 0,05$). En 3^{ème} année de culture, les plantes de *J. curcas* installées sur couvert permanent de *S. guianensis* présentaient des valeurs moyennes significativement plus élevées que les autres pour les trois paramètres considérés pour caractériser le développement végétatif (tableau 3). En cas d'association avec *S. guianensis*, avec ou sans présence de cultures annuelles, les plantes de *J. curcas* installées à la densité de 3 333 plantes ha^{-1} (2 m x 1,5 m) étaient en moyenne plus petites et moins ramifiées que celles plantées à raison de 1 667 plantes ha^{-1} (3 m x 3 m). Les différences observées n'étaient cependant significatives ($P < 0,05$) qu'entre les densités les plus élevées (T1 et T4) vis-à-vis de l'objet T3 (1 667 plantes ha^{-1} + *Stylo*). La ramification observée chez *J. curcas* cultivé dans un couvert permanent de *S. guianensis* a varié entre $21,9 \pm 3,0$ et $28,1 \pm 5,3$ branches arbuste⁻¹. Par contre, les plantes des parcelles sans couvert végétal permanent ont présenté un niveau de ramification qui n'a pas dépassé les 20 branches arbuste⁻¹.

La hauteur des plantes n'a pas atteint les 2 m, que ce soit dans les parcelles avec ou sans *Stylo*. L'effet bénéfique du couvert de *S. guianensis* peut s'expliquer par la quantité d'azote (70 à 200 kg ha^{-1}) qu'il apporte au sol (14) et par le rôle protecteur joué par son paillis (14). Kwetche Sop *et al.* (14) ont observé un faible développement végétatif de *J. curcas* sur un sol dégradé au Burkina Faso et une amélioration de croissance a été enregistrée avec l'apport de la matière organique.

Tableau 3. Développement végétatif de *J. curcas* à 42 mois

Traitements	Diamètre (cm)	Hauteur (m)	Ramifications
T1	8,9±0,8 ^a	1,4±0,2 ^{bc}	26,1±3,7 ^{ab}
T2	9,2±0,6 ^a	1,5±0,3 ^{ab}	25,2±3,5 ^{abc}
T3	9,2±0,4 ^a	1,6±0,3 ^a	28,1±5,3 ^a
T4	8,6±0,3 ^a	1,4±0,3 ^{bc}	21,9±3,0 ^{bcd}
T5	9,2±0,5 ^a	1,5±0,4 ^{abc}	26,1±4,9 ^{ab}
T6	9,1±0,6 ^a	1,5±0,1 ^{ab}	27,1±6,9 ^{ab}
T7	7,6±0,4 ^b	1,4±0,3 ^{bc}	20,3±5,2 ^{cd}
T8	7,7±0,2 ^b	1,5±0,1 ^{abc}	20,2±6,4 ^{cd}
T9	7,8±0,1 ^b	1,3±0,1 ^c	19,7±6,8 ^d
T10	7,6±0,5 ^b	1,3±0,3 ^c	18,5±2,0 ^d
T11	7,8±0,4 ^b	1,4±0,1 ^{bc}	17,9±4,70 ^d
T12	7,7±0,2 ^b	1,3±0,4 ^c	19,1±4,24 ^d
T12	7,8±0,1 ^b	1,3±0,1 ^c	19,7±6,8 ^d

Les résultats sont présentés sous forme de moyennes ± écart types des moyennes. Les valeurs affectées d'une même lettre en exposant sur la même colonne ne sont pas significativement différentes au seuil de probabilité de 5%.

Légende : T1: *Jatropha* (3 333 plants ha⁻¹) + *Stylo*, T2: *Jatropha* (2 500 plants ha⁻¹) + *Stylo*, T3: *Jatropha* (1 667 plants ha⁻¹) + *Stylo*, T4: *Jatropha* (3 333 plants ha⁻¹) + *Stylo* + plante vivrière, T5: *Jatropha* (2 500 plants ha⁻¹) + *Stylo* + plante vivrière, T6: *Jatropha* (1 667 plants ha⁻¹) + *Stylo* + plante vivrière, T7: *Jatropha* (3 333 plants ha⁻¹), T8: *Jatropha* (2 500 plants ha⁻¹), T9: *Jatropha* (1667 plants ha⁻¹), T10: *Jatropha* (3 333 plants ha⁻¹) + plante vivrière, T11: *Jatropha* (2 500 plants ha⁻¹) + plante vivrière, T12: *Jatropha* (1 667 plants ha⁻¹) + plante vivrière.

Nos résultats sont en accord avec ceux obtenus par Ariza-Montobbio *et al.* (3) et Chandra Pandeya *et al.*, (7) en Inde qui montrent que la croissance de *J. curcas* sur sol pauvre est généralement faible.

Dans ce type de terre, la mise au point de techniques permettant une amélioration durable à moindre coût de la fertilité des sols est indispensable pour permettre de cultiver rentablement *J. curcas*.

3.2. Développement du maïs et du soja

La couverture du sol avec *S. guianensis* a influencé la hauteur et le diamètre au collet du maïs et du soja (Tableau 4). Lors de la saison culturale A de 2010, le maïs semé dans le couvert de *S. guianensis* installé depuis novembre 2009 ne s'est pas bien développé. Les quelques plantes qui ont réussi à lever

ont jauni et sont mortes dans les 40 jours qui ont suivi le semis. Le développement précoce des plantules de *S. guianensis* issues d'un semis naturel des graines produites la première année de culture et la concurrence exercée par celles-ci sur le maïs constituent une explication possible du mauvais développement de ce dernier. Dans les parcelles sans couverture végétale, le diamètre moyen des tiges de maïs était de $2,6 \pm 0,2$ cm et leur hauteur moyenne était de $1,3 \pm 0,2$ m.

En 2011 et 2012, on a constaté un développement végétatif plus important des plantes vivrières cultivées en association avec *S. guianensis* que pour celles cultivées sans *Stylo* que ce soit en culture pure ou en association avec les plantes de *J. curcas*. Au sein des objets avec et sans *Stylo*, la densité de plantation de *J. curcas* n'a pas influencé significativement la hauteur et le diamètre au collet des plantes vivrières. Le sol du Plateau des Batéké étant très pauvre en éléments nutritifs (18), l'installation de *S. guianensis* permet de l'enrichir en azote et en phosphore (14) dont le maïs a besoin pour son développement.

Le soja associé à la culture de *J. curcas* en 2012 avait atteint une hauteur de $0,6 \pm 0,0$ m et un diamètre au collet de $1,3 \pm 0,4$ cm dans les parcelles avec *Stylo*. Vu le faible développement végétatif aérien atteint par *J. curcas* 42 mois après son semis en pépinière, les densités de plantation de 1 667 et de 2 500 arbustes ha^{-1} n'ont pas montré d'effets négatifs sur le développement des cultures vivrières associées. Sharma (24) indique que la croissance aérienne chez *J. curcas* est verticale plutôt qu'horizontale et, par conséquent, n'interfère pas beaucoup sur le développement des cultures annuelles associées lorsqu'il est installé à une densité adaptée à l'association culturale. Reubens *et al.* (23) et Barbier *et al.* (4), ont cependant mis en évidence un développement latéral et superficiel important des racines de plantes de *J. curcas* âgées de plus de 6 ans. Il est donc probable que la concurrence exercée par celles-ci sur les cultures vivrières qui leur sont associées augmente sensiblement avec le temps. La mise au point d'un dispositif de plantation adapté pour optimiser la production de ce type d'association culturale nécessite la réalisation de recherches complémentaires.

Tableau 4. Développement végétatif des plantes vivrières associées à la culture de *J. curcas*

Traitements	Développement végétatif du maïs en saison		Développement végétatif du maïs en saison		Développement végétatif du Soja en saison A	
	A 2010		A 2011		2012	
	Diamètre au collet (cm)	Hauteur (m)	Diamètre au collet (cm)	Hauteur (m)	Diamètre au collet (cm)	Hauteur (m)
T1	-	-	-	-	-	-
T2	-	-	-	-	-	-
T3	-	-	-	-	-	-
T4	-	-	3,8±0,0 ^a	1,5±0,0 ^a	1,3±0,0 ^a	0,6±0,0 ^a
T5	-	-	3,8±0,0 ^a	1,5±0,0 ^a	1,3±0,0 ^a	0,6±0,0 ^a
T6	-	-	3,8±0,0 ^a	1,5±0,0 ^a	1,3±0,0 ^a	0,6±0,0 ^a
T7	-	-	-	-	-	-
T8	-	-	-	-	-	-
T9	-	-	-	-	-	-
T10	2,6±0,0 ^a	1,3±0,0 ^a	2,4±0,0 ^b	1,2±0,0 ^b	1,2±0,0 ^b	0,5±0,0 ^b
T11	2,6±0,0 ^a	1,3±0,0 ^a	2,4±0,0 ^b	1,2±0,0 ^b	1,2±0,0 ^b	0,4±0,0 ^b
T12	2,6±0,0 ^a	1,3±0,0 ^a	2,4±0,0 ^b	1,2±0,0 ^b	1,2±0,0 ^b	0,4±0,0 ^b
T13	2,7±0,0 ^a	1,3±0,0 ^a	2,4±0,0 ^b	1,2±0,0 ^b	1,2±0,0 ^b	0,4±0,0 ^b

Les résultats sont présentés sous forme de moyennes ± écart types des moyennes. Les valeurs affectées d'une même lettre en exposant sur la même colonne ne sont pas significativement différentes au seuil de probabilité de 5%.

Légende : T1: *Jatropha* (3 333 plants ha⁻¹) + *Stylo*, T2: *Jatropha* (2 500 plants ha⁻¹) + *Stylo*, T3: *Jatropha* (1 667 plants ha⁻¹) + *Stylo*, T4: *Jatropha* (3 333 plants ha⁻¹) + *Stylo* + plante vivrière, T5: *Jatropha* (2 500 plants ha⁻¹) + *Stylo* + plante vivrière, T6: *Jatropha* (1 667 plants ha⁻¹) + *Stylo* + plante vivrière, T7: *Jatropha* (3 333 plants ha⁻¹), T8: *Jatropha* (2 500 plants ha⁻¹), T9: *Jatropha* (1667 plants ha⁻¹), T10: *Jatropha* (3 333 plants ha⁻¹) + plante vivrière, T11: *Jatropha* (2 500 plants ha⁻¹) + plante vivrière, T12: *Jatropha* (1 667 plants ha⁻¹) + plante vivrière, T13 : plante vivrière.

3.3. Rendement en graines sèches de *J. curcas*

Les rendements en graines sèches de *J. curcas* ont montré des différences significatives ($P < 0,05$) entre les objets pour les trois années de production considérées (tableaux 5, 6 et 7). Le rendement obtenu en 2010 (somme des productions des saisons B et A) a été inférieur à 60 kg de graines sèches ha^{-1} pour tous les objets comparés. Les parcelles couvertes par *S. guianensis* (T1 à T6) ont donné une production très faible qui a varié entre $16,5 \pm 3,7$ et $34,1 \pm 4,9$ kg de graines sèches ha^{-1} . Ceci peut s'expliquer par l'importance de la concurrence exercée par *S. guianensis* sur *J. curcas* au début de son cycle lorsque les deux spéculations sont mises en place à seulement quelques semaines d'intervalle au début de la grande saison des pluies et qu'aucun rabattage de *S. guianensis* n'est réalisé jusqu'à la grande saison sèche suivante. Des essais devront être menés pour déterminer quel est le moment optimal d'installation de *S. guianensis*.

Des rendements de $36,3 \pm 3,6$ à $53,1 \pm 7,0$ kg de graines sèches ha^{-1} , ont été obtenus sur les parcelles sans couverture permanente de *Stylo* (T7 à T12). Dans les deux systèmes (avec et sans couverture du sol), la densité de plantation a été l'élément déterminant du rendement. Ce sont les parcelles avec une densité de plantation élevée de *J. curcas* ($3\,333$ arbustes ha^{-1}) qui ont donné les rendements les plus élevés lors de la première année de production. En 2011, on constate de meilleurs rendements pour les parcelles avec couvert de *S. guianensis* (avec et sans maïs associé). Pour chacune des deux autres grandes modalités de culture comparées (avec et sans maïs), le meilleur rendement est observé pour la densité de plantation la plus forte, aussi bien dans les parcelles avec *Stylo* (T1 = $263,5 \pm 8,1$ kg de graines ha^{-1} , T4 = $254,8 \pm 9,2$ kg de graines ha^{-1}) que dans celles sans *Stylo* (T10 = $196,4 \pm 7,2$ kg de graines ha^{-1} , T11 = $179,5 \pm 9,7$ kg de graines ha^{-1}).

En 2012, l'effet bénéfique du couvert de *S. guianensis* se confirme aussi bien dans les objets avec soja que dans ceux sans soja. Dans les parcelles avec *Stylo* (avec et sans soja), le meilleur rendement est obtenu pour la densité de 2 500 plantes par ha (T2 = $409,4 \pm 13,2$ kg de graines ha^{-1} , T5 = $357,6 \pm 7,3$ kg de graines ha^{-1}). Dans les parcelles sans *Stylo* et sans soja, le meilleur rendement est obtenu pour la densité de 2 500 plantes ha^{-1} (T8 = $261,2 \pm 6,0$ kg de graines ha^{-1}), alors que dans les parcelles sans *Stylo* et avec soja, c'est la densité de 3 333 plantes ha^{-1} qui donne le meilleur résultat

(T10 = 289,6±8,1 kg de graines ha⁻¹). Des résultats similaires concernant l'effet de la densité ont été obtenus par Singh *et al.* (25) en Inde. L'association de *J. curcas* avec du soja ne se traduit pas par une chute du rendement pour les deux densités de plantation extrêmes (1 667 et 3 333 plantes ha⁻¹) par rapport à la culture de *J. curcas* sans soja.

La densité de 2 500 plantes ha⁻¹ est celle qui permet d'obtenir le rendement le plus élevé pour *J. curcas* lors de la 3^{ème} année de production, quelles que soient les traitements auxquels elle est combinée. Bien qu'il soit largement rapporté que *J. curcas* puisse prospérer sur des terres marginales, tous les travaux de recherche récents montrent que la production des graines et le rendement en huile sont faibles quand il est cultivé dans des sols pauvres (29). Dans ce type de milieu, Singh *et al.* (25) ont montré que la concurrence des plantes de *J. curcas* vis-à-vis des cultures annuelles qui leur sont associées est forte et que l'apport de fertilisants est nécessaire pour permettre d'obtenir des rendements satisfaisants (25). Les rendements obtenus dans cette étude sont inférieurs aux chiffres de 900 kg des graines sèches avancés par Wahl *et al.* (28) dans les plantations de 4 ans en Afrique. L'application de trois traitements insecticides an⁻¹ (diméthoate 40%), aurait sans doute permis d'obtenir des rendements plus élevés.

3.4. Rendement du maïs et du soja

Les rendements du maïs et du soja ont été significativement influencés par la densité de plantation de *J. curcas* et la présence ou non de la plante de couverture (Tableaux 5, 6 et 7). En 2010, le maïs semé sur les parcelles couvertes par *S. guianensis* n'a pas levé ou a dépéri dans les 40 jours qui ont suivi le semis (voir paragraphe 3.2). Les parcelles sans plante de couverture ont donné un rendement qui a varié entre 332,5±4,5 et 481,3±11,0 kg des grains secs ha⁻¹. Ce rendement équivaut à environ la moitié de la moyenne obtenue dans la région qui s'élève à 0,8 tonnes ha⁻¹ avec des variétés locales et sans application d'engrais dans un sol d'ouverture d'une jachère d'au moins 10 ans (8). Cette faible performance du maïs sans couverture du sol par *S. guianensis* met en évidence la très faible fertilité du sol de la parcelle d'essai.

En 2011, les parcelles couvertes par *S. guianensis* ont donné un rendement moyen de maïs de 703,1±72,2 kg des grains secs ha⁻¹, contre 188,9±17,3 kg ha⁻¹ pour les parcelles sans plante de

couverture. Dans ces dernières, le rendement en maïs ha^{-1} a donc été divisé par deux par rapport à celui de 2010. Les meilleures performances observées dans les parcelles couvertes par *S. guianensis* peuvent s'expliquer par la capacité de *S. guianensis* à fixer de grandes quantités d'azote, à prélever le phosphore du sol et à recycler les bases (en particulier le calcium) ainsi que les oligoéléments (B, Cu, Zn et surtout Mn) (14). En 2012, les rendements en soja étaient également plus élevés dans les parcelles avec *S. guianensis* ($669,9 \pm 46,7$ kg de graines sèches ha^{-1}) que celles sans couverture végétale ($428,2 \pm 37,7$ kg de graines sèches ha^{-1}).

Que ce soit dans les parcelles avec ou sans *Stylo*, on constate une augmentation du rendement de la culture vivrière quand la densité de plantation de *J. curcas* diminue. L'écart entre les rendements les plus élevés et les plus faibles se situe entre 10 et 16%. Le rendement de la parcelle témoin de soja (T13) est de loin inférieur à celui obtenu dans les parcelles où il a été associé avec *J. curcas* et la plante de couverture. L'augmentation de la taille des plantes de *J. curcas* avec le temps devrait se traduire par un accroissement de la concurrence exercée par celles-ci vis-à-vis des cultures vivrières. Le choix de la densité de plantation la plus adéquate devra prendre en compte de la rentabilité financière de chaque système de culture. Compte tenu du prix auquel on peut actuellement espérer vendre les graines de *J. curcas* (0,125 USD kg^{-1}), il vaut sans doute mieux opter pour un dispositif permettant de produire également des denrées vivrières sur le long terme. Le rôle de *S. guianensis* pour maintenir en continu un rendement satisfaisant des plantes vivrières devrait être étudié.

Tableau 5. Rendement et Land equivalency ratio (LER) des associations comparées en 2010

Traitements	Rendement maïs en saison A 2010	Rendement <i>Jatropha</i> en saisons A et B 2010	L.E.R. association 2010
T1	-	32,2±6,5 ^{ed}	0,6
T2	-	25,8±4,8 ^{de}	0,4
T3	-	18,2±9,2 ^{ef}	0,3
T4	0	34,1±4,9 ^{cd}	0,6
T5	0	29,7±5,3 ^d	0,5
T6	0	16,5±3,7 ^f	0,3
T7	-	53,1±7,0 ^a	1,0
T8	-	46,4±4,1 ^{ab}	0,8
T9	-	41,6±7,7 ^{bc}	0,7
T10	346,7±6,7 ^c	49,7±6,5 ^{ab}	1,6
T11	332,5±4,5 ^c	42,2±5,1 ^{bc}	1,4
T12	454,6±3,9 ^b	36,3±3,6 ^{cd}	1,6
T13	481,3±11,0 ^a	-	1,0

Les résultats sont présentés sous forme de moyennes ± écart types des moyennes. Les valeurs affectées d'une même lettre en exposant sur la même colonne ne sont pas significativement différentes au seuil de probabilité de 5%.

Légende : T1: *Jatropha* (3 333 plants ha⁻¹) + *Stylo*, T2: *Jatropha* (2 500 plants ha⁻¹) + *Stylo*, T3: *Jatropha* (1 667 plants ha⁻¹) + *Stylo*, T4: *Jatropha* (3 333 plants ha⁻¹) + *Stylo* + plante vivrière, T5: *Jatropha* (2 500 plants ha⁻¹) + *Stylo* + plante vivrière, T6: *Jatropha* (1 667 plants ha⁻¹) + *Stylo* + plante vivrière, T7: *Jatropha* (3 333 plants ha⁻¹), T8: *Jatropha* (2 500 plants ha⁻¹), T9: *Jatropha* (1667 plants ha⁻¹), T10: *Jatropha* (3 333 plants ha⁻¹) + plante vivrière, T11: *Jatropha* (2 500 plants ha⁻¹) + plante vivrière, T12: *Jatropha* (1 667 plants ha⁻¹) + plante vivrière, T13 : plante vivrière.

Tableau 6. Rendement et Land equivalency ratio (LER) des associations comparées en 2011

Traitements	Rendement maïs en saison A 2011	Rendement <i>Jatropha</i> en saisons A et B 2011	L.E.R. association 2011
T1	-	263,5±8,1 ^a	1,9
T2	-	227,7±11,5 ^c	1,6
T3	-	203,0±10,2 ^e	1,5
T4	658,3±8,1 ^b	254,8±9,2 ^b	5,0
T5	664,6±5,8 ^b	232,2±8,0 ^e	4,9
T6	786,5±4,8 ^a	215,0±7,1 ^d	5,3
T7	-	135,8±7,9 ^h	1,0
T8	-	114,1±6,8 ⁱ	0,8
T9	-	103,2±7,3 ^j	0,7
T10	167,1±6,6 ^e	196,4±7,2 ^e	2,2
T11	183,6±10,2 ^d	179,5±9,7 ^e	2,2
T12	198,7±7,9 ^{cd}	152,2±7,4 ^g	2,0
T13	206,3±6,2 ^c	-	1,0

Les résultats sont présentés sous forme de moyennes ± écart types des moyennes. Les valeurs affectées d'une même lettre en exposant sur la même colonne ne sont pas significativement différentes au seuil de probabilité de 5%.

Légende : T1: *Jatropha* (3 333 plants ha⁻¹) + *Stylo*, T2: *Jatropha* (2 500 plants ha⁻¹) + *Stylo*, T3: *Jatropha* (1 667 plants ha⁻¹) + *Stylo*, T4: *Jatropha* (3 333 plants ha⁻¹) + *Stylo* + plante vivrière, T5: *Jatropha* (2 500 plants ha⁻¹) + *Stylo* + plante vivrière, T6: *Jatropha* (1 667 plants ha⁻¹) + *Stylo* + plante vivrière, T7: *Jatropha* (3 333 plants ha⁻¹), T8: *Jatropha* (2 500 plants ha⁻¹), T9: *Jatropha* (1667 plants ha⁻¹), T10: *Jatropha* (3 333 plants ha⁻¹) + plante vivrière, T11: *Jatropha* (2 500 plants ha⁻¹) + plante vivrière, T12: *Jatropha* (1 667 plants ha⁻¹) + plante vivrière, T13 : plante vivrière.

Tableau 7. Rendement et Land equivalency ratio (LER) des associations comparées en 2012

Traitements	Rendement soja en saison A 2012	Rendement <i>Jatropha</i> en saison A et B 2012	L.E.R. association 2012
T1	-	308,2±10,0 ^d	1,1
T2	-	409,4±13,2 ^a	1,5
T3	-	306,5±9,1 ^d	1,1
T4	648,8±9,2 ^b	335,9±10,5 ^c	2,7
T5	637,5±6,4 ^c	357,6±7,3 ^b	2,8
T6	723,6±7,3 ^a	311,4±9,1 ^d	2,8
T7	-	240,3±9,6 ^g	0,9
T8	-	261,2±6,0 ^f	1,0
T9	-	248,7±8,0 ^g	0,9
T10	389,2±4,6 ^g	289,6±8,1 ^e	2,0
T11	408,7±5,3 ^f	225,0±8,1 ^h	1,7
T12	475,6±6,1 ^d	247,1±1,9 ^g	2,0
T13	439,2±5,0 ^e	-	1,0

Les résultats sont présentés sous forme de moyennes ± écart types des moyennes. Les valeurs affectées d'une même lettre en exposant sur la même colonne ne sont pas significativement différentes au seuil de probabilité de 5%.

Légende : T1: *Jatropha* (3 333 plants ha⁻¹) + *Stylo*, T2: *Jatropha* (2 500 plants ha⁻¹) + *Stylo*, T3: *Jatropha* (1 667 plants ha⁻¹) + *Stylo*, T4: *Jatropha* (3 333 plants ha⁻¹) + *Stylo* + plante vivrière, T5: *Jatropha* (2 500 plants ha⁻¹) + *Stylo* + plante vivrière, T6: *Jatropha* (1 667 plants ha⁻¹) + *Stylo* + plante vivrière, T7: *Jatropha* (3 333 plants ha⁻¹), T8: *Jatropha* (2 500 plants ha⁻¹), T9: *Jatropha* (1667 plants ha⁻¹), T10: *Jatropha* (3 333 plants ha⁻¹) + plante vivrière, T11: *Jatropha* (2 500 plants ha⁻¹) + plante vivrière, T12: *Jatropha* (1 667 plants ha⁻¹) + plante vivrière, T13 : plante vivrière.

En troisième année de production de *J. curcas* (tableau 7), 1 hectare de l'association *Jatropha* (1 667 plants ha⁻¹ ou 2 500 plants ha⁻¹) + *Stylo* + soja produit autant que 2,8 hectares des cultures pures de *J. curcas* et de soja. Des recherches doivent donc être réalisées de façon à optimiser les interactions positives de cette association tout en minimisant les interactions négatives. Avec le développement des plantes de *J. curcas*, il sera opportun d'opter pour la production de cultures se développant bien en milieu semi-ombragé, et de privilégier certaines pratiques qui redonnent de la lumière aux cultures, comme la taille des plantes de *J. curcas*.

3.5. Gravité des dégâts des principaux insectes ravageurs de *J. curcas*

Les principaux insectes ravageurs dommageables de *J. curcas* dans la région de Kinshasa sont *Aphthona* sp. (Coleoptera, Chrysomelidea) et *Stomphastis thraustica* Meyrick (Lepidoptera,

Gracillariidae) (19). Les dégâts causés par ces insectes varient selon que *J. curcas* est cultivé en pur ou en association avec d'autres cultures (Tableau 8).

Les résultats de notre essai montrent des différences significatives entre les objets ($P < 0,05$). La gravité des dégâts était plus élevée dans les parcelles où *J. curcas* était en culture pure. La couverture du sol avec *S. guianensis* ainsi que la densité de plantation de *J. curcas*, ne montrent pas d'effets significatifs sur la gravité des dégâts des insectes ravageurs. La proportion des dégâts de la chrysomèle (*Aphthona* sp.) était plus élevée que celle de la mineuse des feuilles (*S. traustica*). La gravité des dégâts de la chrysomèle dans les parcelles où les plantes de *J. curcas* étaient associées avec le maïs et le soja ne dépasse pas 45% alors qu'elle était au dessus de 60% dans les parcelles où elles n'étaient pas associées avec une culture vivrière.

L'association de *J. curcas* avec le maïs et le soja présente donc un effet positif pour limiter les attaques des principaux ravageurs actuels de *J. curcas* dans la zone d'étude. Il reste à vérifier si cet effet positif persistera avec l'augmentation de la taille des arbustes de *J. curcas* et si cette association culturale sera efficace contre d'éventuelles pullulations d'autres ravageurs. Des attaques ponctuelles d'une punaise (*Calidea* sp.) (19) ont en effet déjà été observées dans au moins deux des plantations de *J. curcas* installées sur le Plateau des Batéké. La culture pure pratiquée à grande échelle, peut favoriser la pullulation des populations des ravageurs (21, 22). La pratique de l'association culturale peut aussi favoriser l'abondance des auxiliaires des plantes cultivées et garder ainsi le nombre d'insectes ravageurs à de très bas niveaux (1).

Tableau 7. Gravité des attaques d'*Aphthona* sp. et de *Stomphastis thraustica* sur *J. curcas* (%)

Traitements	1 ^{ère} année de culture 2010		2 ^{ème} année de culture 2011		3 ^{ème} année de culture 2012	
	<i>Aphthona</i>	<i>Stomphastis</i>	<i>Aphthona</i>	<i>Stomphastis</i>	<i>Aphthona</i>	<i>Stomphastis</i>
T1	83,6±4,3 ^a	63,5±3,5 ^{bc}	76,1±6,3 ^a	58,1±4,7 ^{bc}	77,3±3,9 ^{ab}	63,2±6,6 ^a
T2	79,2±3,6 ^a	65,1±5,1 ^{abc}	71,2±3,1 ^b	56,9±3,4 ^c	80,4±3,5 ^{ab}	59,5±3,5 ^a
T3	81,4±7,2 ^a	61,0±5,5 ^c	65,9±4,4 ^c	60,6±6,9 ^{ab}	75,5±4,1 ^{ab}	60,2±6,2 ^a
T4	78,5±4,9 ^a	67,8±3,0 ^{abc}	42,2±2,1 ^d	24,4±2,7 ^{de}	34,9±6,4 ^d	37,8±3,2 ^b
T5	83,0±6,4 ^a	68,7±2,9 ^{ac}	39,5±7,9 ^{de}	21,3±5,3 ^f	39,1±5,3 ^{cd}	40,4±5,2 ^b
T6	77,2±3,3 ^a	70,6±3,1 ^a	40,7±2,0 ^d	26,7±3,3 ^d	35,2±7,0 ^d	39,1±3,6 ^b
T7	81,1±4,1 ^a	68,8±4,5 ^{ab}	70,1±1,8 ^b	57,2±7,1 ^c	77,4±4,1 ^{ab}	64,4±5,6 ^a
T8	82,3±6,1 ^a	65,6±3,6 ^{abc}	73,3±4,9 ^{ab}	61,7±4,1 ^a	79,2±3,6 ^{ab}	62,6±4,2 ^a
T9	78,4±7,6 ^a	69,3±6,6 ^{ab}	75,7±3,2 ^b	59,1±5,2 ^{abc}	81,1±4,3 ^a	61,5±7,3 ^a
T10	39,5±6,1 ^b	28,4±5,2 ^d	36,1±5,4 ^e	21,9±5,1 ^{ef}	40,6±2,7 ^{cd}	34,2±4,3 ^b
T11	36,1±6,6 ^b	30,1±4,6 ^d	39,5±3,6 ^{de}	25,1±3,8 ^d	37,6±3,2 ^{cd}	32,3±3,6 ^b
T12	40,5±5,6 ^b	26,9±6,5 ^d	38,5±3,8 ^{de}	27,0±6,4 ^d	42,1±5,0 ^c	36,6±2,6 ^b

Les résultats sont présentés sous forme de moyennes ± écart types des moyennes. Les valeurs affectées d'une même lettre en exposant sur la même colonne ne sont pas significativement différentes au seuil de probabilité de 5 %.

Légende : T1: *Jatropha* (3 333 plants ha⁻¹) + *Stylo*, T2: *Jatropha* (2 500 plants ha⁻¹) + *Stylo*, T3: *Jatropha* (1 667 plants ha⁻¹) + *Stylo*, T4: *Jatropha* (3 333 plants ha⁻¹) + *Stylo* + plante vivrière, T5: *Jatropha* (2 500 plants ha⁻¹) + *Stylo* + plante vivrière, T6: *Jatropha* (1 667 plants ha⁻¹) + *Stylo* + plante vivrière, T7: *Jatropha* (3 333 plants ha⁻¹) + *Stylo* + plante vivrière, T8: *Jatropha* (2 500 plants ha⁻¹) + *Stylo* + plante vivrière, T9: *Jatropha* (1667 plants ha⁻¹) + *Stylo* + plante vivrière, T10: *Jatropha* (3 333 plants ha⁻¹) + plante vivrière, T11: *Jatropha* (2 500 plants ha⁻¹) + plante vivrière, T12: *Jatropha* (1 667 plants ha⁻¹) + plante vivrière.

3.6. Biomasse sèche de *Stylosanthes guianensis*

La quantité moyenne de biomasse produite par *S. guianensis* dans toutes les parcelles où il était cultivé était respectivement de $3,7 \pm 0,0$ tonnes de MS ha^{-1} en 1^{ère} année de culture (2010), $3,3 \pm 0,0$ tonnes de MS ha^{-1} en 2^{ème} année (2011) et $3,3 \pm 0,0$ tonnes de MS ha^{-1} en 3^{ème} année (2012). Au cours des trois premières années de culture, aucune différence significative ($P > 0,05$) n'a été observée entre les différents objets incluant *S. guianensis*. La biomasse sèche de *S. guianensis* obtenue au cours de notre étude est bien inférieure au chiffre de 9,7 tonnes ha^{-1} de matière sèche obtenues par Mvondo *et al.* (20) au Cameroun en culture pure de *S. guianensis* avec l'application de fumures minérale et organique. La biomasse de *S. guianensis* produite a permis d'améliorer sensiblement les performances du système de culture testé.

4. Conclusion

La culture continue de *Jatropha curcas* L. en association avec une rotation maïs – soja sur couvert permanent de *S. guianensis* dans la partie rurale de Kinshasa a permis d'améliorer les rendements des composantes associées et de réduire les dégâts des insectes ravageurs sur *J. curcas*. Les rendements de *J. curcas* les plus élevés obtenus en 3^{ème} année de production étaient respectivement de $409,4 \pm 13,2$ kg de graines sèches ha^{-1} dans le système avec couverture du sol (T2: *Jatropha* (2 500 plants ha^{-1}) + *Stylo*) et de $289,6 \pm 8,1$ dans le système sans couverture du sol avec *S. guianensis* (T1: *Jatropha* (3 333 plants ha^{-1}) + plante vivrière).

Le rendement du maïs a connu une réduction importante dans les parcelles sans couverture permanente de *S. guianensis* et une augmentation très significative dans les parcelles avec *Stylo* à partir de la 2^{ème} année de culture. La gravité des dégâts des insectes ravageurs a été plus élevée en culture pure de *J. curcas* (>60%) qu'en culture associée (<45%). La biomasse moyenne produite par *S. guianensis* ($3,5 \pm 0,0$ tonnes $\text{ha}^{-1} \text{ an}^{-1}$) et les résidus des cultures associées sont utiles pour l'amélioration de la fertilité du sol et pour limiter l'impact du stress hydrique en début de saison sèche sur l'avortement des capsules. Les études sur l'évolution du carbone organique du sol et l'évaluation de la durabilité du système à long terme sont nécessaires avant d'envisager sa diffusion.

Références bibliographiques

1. Abate T., van Huis A. & Ampofo J.K.O., 2000, Pest Management Strategies in Traditional Agriculture: An African Perspective. *Annu. Rev. Entomol.*, **45**, 631-659.
2. Achten W.M.J, Verchot L., Franken YJ., Mathijs E., Singh V.P., Aerts R. & Muys B., 2008, *Jatropha* bio-diesel production and use. *Biomass and Bioenergy*, **32**, 1063-1084.
3. Ariza-Montobbio P., Sharachchandra L., Giorgos K. & Martinez-Alier J., 2010, The political ecology of *Jatropha* plantations for biodiesel in Tamil Nadu, India. *Journal of Peasant Studies*, **37**, 4, 875-897. DOI: 10.1080/03066150.2010.512462.
4. Barbier J., Cissao M., Cissé C., Loch F., Grand C., & Mergeai G., 2012, Intérêts de mettre en place une filière courte basée sur la culture du *Jatropha* (*Jatropha curcas* L.) dans la Communauté Rurale de Dialacoto Sénégal. Document de synthèse de recherche. <http://orbi.ulg.ac.be/bitstream/2268/130282/1/20120703%20document%20synth%C3%A8se%20jatropha%20vf.pdf>, (26/10/2013).
5. Baumgart S., 2007, Working paper conference, Belize. In Expert Seminar on *Jatropha curcas* L. Agronomy and genetics, Wageningen.
6. Bisiaux F., Peltier R. & Muliele J-C., 2009, Plantations industrielles et agroforesterie au service des populations des plateaux de Batéké, Mampu, en République démocratique du Congo. *Bois et Forêts des Tropiques*, **301**, 3, 21-23.
7. Chandra Pandey V., Kripal Singh, Shankar Singh J., Akhilesh Kumar, Bajrang Singh & Rana P. Singh, 2012, *Jatropha curcas*: A potential biofuel plant for sustainable environmental development. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **16**, 2870-2883.
8. Chausse J.-P., Kembola T. & Ngonde R., 2012, L'agriculture : pierre angulaire de l'économie de la RDC. In Johannes Herderschee, Daniel Mukoko Samba et Moïse Tshimenga Tshibangu (éd.), *Résilience d'un Géant Africain : Accélérer la Croissance et Promouvoir l'Emploi en République Démocratique du Congo*, Volume II : Etudes sectorielles, MEDIASPAUL, Kinshasa, p. 1-97.

9. Costa A.S.V. & Silva M.B., 2008, Sistemas de consórcio milho feijão para a região do vale do rio doce, minas gerais. *Ciência e Agrotecnologia*, **32**, 663-667.
10. de Souza A. C., Ribeiro R. P., Dourado Jacinto J. T., Rodrigues Cintra A. D. A, Amaral R. S., A Santos A. C. & Matos F. S., 2013, Intercropping of physic nut and bean: alternative to family farm. *Dourados*, **6**, 9, 36-42.
11. Domergue M. & Pirot R., 2008, *Jatropha curcas* L. Rapport de synthèse bibliographique, Cirad, 118 p. www.fact-foundation.com/media_en/French_Jatropha_Document_Cirad.
12. FAO, 2003, Gestion de la fertilité des sols pour la sécurité alimentaire en Afrique subsaharienne. Rome, Italie, 63 p.
13. Ghokale D., 2008, *Jatropha*: Experience of Agro-Forestry and Wasteland Development Foundation, Nashik, India. In: International Consultation on Pro-poor *Jatropha* Development. 10-11 April 2008, Rome, IFAD.
14. Husson O., Charpentier H., Razanamparany C., Moussa N., Michellon R., Naudin K., Razafintsalama H., Rakotoarinivo C., Rakotondramanana & Seguy L., 2008, *Stylosanthes guianensis*. Fiches techniques plantes de couverture : Légumineuses pérennes, Cirad, France, 13 p.
15. Kwetche Sop T., Wenemi Kagambega F., Bellefontaine R., Schmiedel U. & Thiombiano A., 2012, Effects of organic amendment on early growth performance of *Jatropha curcas* L. on a severely degraded site in the Sub-Sahel of Burkina Faso. *Agroforest Syst.*, **86**, 387-399.
16. Li Z., Lin B.-I., Zhao X., Sagisaka M. & Shibazaki R., 2010, System approach for evaluating the potential yield and plantation of *Jatropha curcas* L. on a global scale. *Environmental Science and Technology*, **44**, 2204-2209.
17. Mead R, Willey W., 1980, The Concept of a 'Land Equivalent Ratio' and Advantages in Yields from Intercropping. *Experimental Agriculture*, **16**, 3, 217-228.
18. Minengu J.D.D., Mobambo P. & Mergeai G., 2013, Analyse des performances technico-économiques de quatre systèmes de culture basés sur la production de *Jatropha curcas* L. dans la région de Kinshasa (République Démocratique du Congo). *Tropicultura*, In press.

19. Minengu J.D.D., Verheggen F. & Mergeai G., 2013, Dynamique et impact des principaux insectes ravageurs de *Jatropha curcas* L. dans deux systèmes de culture aux caractéristiques contrastées de la province de Kinshasa (République Démocratique du Congo). Tropicultura, In press.
20. Mvondo J.P.A., Boukong A., Beyegue H.D., Abou Abba A., Mvondo Ze A.D., Passale M.S., & Lawane, 2012, Production de biomasse de l'espèce *Stylosanthes guianensis* en tête de rotation en vue de la mise en place d'un système de culture sous couverture végétale au sud de la zone cotonnière du Cameroun. Cameroon Journal of Experimental Biology, **8**, 1, 8-16.
21. Nickel J. L., 1973, Pest situation in changing agricultural systems. A review, Bull. Entom. Soc. Am., p. 18-19.
22. Pimentel D., 1961, Species diversity and insect population's outbreaks", Ann. Entom. Soc. Amer., **19**, 136-142.
23. Reubens B., Achten W.M.J., Maes W.H., Danjon F., Aerts R., Poesen J. & Muys B., 2011, More than biofuel? *Jatropha curcas* root system symmetry and potential for soil erosion control. Journal of Arid Environments, **75**, 2, 201-205.
24. Sharma N., 2006, The *Jatropha* Experience: Andhra Pradesh. In Biodiesel Conference Towards Energy Independence-Focus on *Jatropha*. Paper presented at the Conference, Rashtrapati Nilayam, Bolaram, Hyderabad. On 9-10 June, Rashtrapati Bhawan, New Delhi 2006.
25. Singh R.A., Kumar M. & Ekhlaiq Haider E., 2007, Synergistic cropping of summer groundnut with *Jatropha curcas*-A new two-tier cropping system for Uttar Pradesh. Journal of SAT Agricultural Research, **5**, 1, 1-2.
26. Singh B., Singh K., Rejeshwar Rao G. , Chikara J., Kumar D., Mishra D.K., Saikia S.P., Pathre U.V., Raghuvanshi N., Rahi T.S. & Tuli R., 2013, Agro-technology of *Jatropha curcas* for diverse environmental conditions in India. Biomass and Bioenergy, **48**, 191-202.
27. Vermeulen C. & Lanata F., 2006, Le domaine de chasse de Bombo-Lumene: un espace naturel en péril aux frontières de Kinshasa. Parcs et reserves, **61**, 2, 4-8.

28. Wahl N., Hildebrandt T., Moser C., Lüdeke-Freund F., Averdunk K., Bailis R., *et al.*, 2012. *Insights Into Jatropha Projects Worldwide*. Key Facts & Figures from a Global Survey, Report, 72 p.
29. Wiskerke WT., Dornburg V., Rubanza C.D.K., Malimbwi R.E. & Faaij A.P.C., 2010, Cost/benefit analysis of biomass energy supply options for rural smallholders in the semi-arid eastern part of Shinyanga Region in Tanzania. *Renew Sustain Energy Rev.*, **14**, 148-165.

**Chapitre V. Sélection d'écotypes de *Jatropha curcas* L. aux performances supérieures
adaptés aux conditions de culture de la région de Kinshasa**

Objectif du chapitre

Les plantations de *Jatropha curcas* L. en République Démocratique du Congo en général et dans la ville de Kinshasa en particulier ont été réalisées avec des semences récoltées sur des arbustes subspontanés n'ayant fait l'objet d'aucune sélection préalable. Comme les travaux d'amélioration n'ont pas encore vraiment été réalisés sur *J. curcas* dans la région, les rendements en graines et en huile sont extrêmement variables d'un écotype à l'autre. Ce chapitre a pour objectif d'évaluer les performances agronomiques de onze écotypes de *J. curcas* mis en culture sur le Plateau des Batéké près de Kinshasa.

V.1. Evaluation of Agronomic Performances of Eleven Ecotypes of *Jatropha curcas* L. Grown in Poor Soil of Batéké Plateau near Kinshasa (DRC)

Abstract

Eleven ecotypes of *Jatropha curcas* L. collected in various agro-ecological regions of the DRC were cultivated near Kinshasa on very poor soil to identify elite germplasm. After 42 months of cultivation, significant differences ($p < 0.05$) were found for plant height (1.4 ± 0.0 – 1.7 ± 0.0 cm), collar diameter (6.8 ± 0.6 – 8.9 ± 0.4 cm), number of branches per plant (22.1 ± 4.7 – 38.8 ± 7.2), days to first flowering (236.3 ± 5.7 – 273.0 ± 5.7 days), fruit maturation duration (67.3 ± 3.5 – 84.6 ± 4.7 days), capsule abortion rates (21.0 ± 3.7 – $32.6 \pm 3.0\%$), number of capsules per plant (19.4 ± 6.5 – 96.4 ± 8.5), number of seeds per capsule (2.5 ± 0.1 – 3.0 ± 0.0), seed index (100 seeds weight) (48.7 ± 1.8 – 79.1 ± 1.1 g), dry seed yield (68.6 ± 3.6 – 473.1 ± 3.6 kg ha⁻¹), oil content (23.3 ± 4.0 – $35.1 \pm 1.8\%$), content in mono-unsaturated fatty acids (45.2 – 49.5%).

No plant resistant to the main insect pests attacking *J. curcas* in the region was observed. The ecotype originating from Panu (Bandundu Province) showed by far the best performance for seed yield and seed oil content. It presented also a high content in mono-unsaturated fatty acids. This ecotype constitutes a very promising genetic stock to start a breeding program in the area.

Keywords: Ecotypes, *Jatropha*, Oil Yield, Elite, Kinshasa

1. Introduction

Jatropha curcas L. is a tree or shrub that ranges in height from 2 to more than 10 m, which is believed to originate from Central America [1]; this species is now found in all tropical and subtropical regions [2]. Its seeds are rich in oil, which can be easily converted into biofuel [3]. It is widely grown in Africa and Asia, mainly because of its ease of propagation, tolerance to drought, rapid growth and ability to thrive on marginal land [4,5]. The multiplication of *J. curcas* is easily accomplished by seeds or branch cuttings, but the trees propagated by cuttings have a shorter life span and are less resistant to disease, pests and water stress than those propagated by seeds [4,6].

One of the major constraints for the sustainable production of *J. curcas*, all over the world is the lack of selected or improved propagating material. This makes it difficult to predict the yields of plantations and limits the interest of the investors for the sector.

Most *J. curcas* plantations in the world were created using seeds harvested from wild trees, which had undergone no prior selection [7]. This largely explains the poor performance of these plantations and the great variability of yields from one field to another [8]. As for all other crops, the selection and multiplication of superior germplasm is a prerequisite to obtain profitable yields [9]. As part of a program to improve the production of *J. curcas* in the Kinshasa region, seed samples of local ecotypes were collected in several areas of the DRC to serve as raw material for the selection of elite plants.

The vegetative development, dry seed yield and oil content, and resistance to pests are criteria which should be considered for the selection of elite *J. curcas* plants; unfortunately, very few studies have been performed in this direction in Africa [10,11,12]. The modern techniques based on molecular markers show that genetic diversity is significantly lower for African and Indian ecotypes than for ecotypes collected in Central America, which is the supposed center of origin of the species [13]. Paradoxically, this reduced genetic diversity is not reflected by low phenotypic variability [9,14].

The objective of this study is to evaluate the agronomic performance of 11 ecotypes of *J. curcas* grown on very poor soil on the Batéké Plateau near Kinshasa in order to select elite germplasm for breeding purpose.

2. Materials and Methods

2.1. Study Site

The study was conducted from July 2009 to December 2012 near Mbankana, on Batéké Plateau at 4° 47' south latitude, 16° 12' east longitude and at an altitude of 684 m. The soil was very poor and the arable horizon contained 94.2% sand, 1.4% silt, 3.3% clay and 1.1% humus. The climate corresponds to AW₄ type according to the Köppen classification. The average annual temperature is 25 °C and rainfall varies around 1500 mm per year [15]. The vegetation of the Bateke Plateau consists mainly of shrub savannahs [16].

2.2. Collection of Samples

The *J. curcas* seed sample collection was carried out in seven provinces of the DRC (Table 1) from May to July 2009. The selection criteria were the number of seeds produced per tree and the health status of mother plants. The seeds were collected from a single tree in each site. Cuttings were not collected because of the remoteness of many regions.

Table 1. Ecotypes collected and site characteristics

Ecotypes names based on collect site	Province	Vegetation	Soil	Rainfall (mm)	Length of the dry season (month)	Approximate age of the mother trees (years)
Bendele	Bandundu	Grassland	Sandy-clay	1800	2-3	20
Botala	Kasaï oriental	Forest	Sandy-clay	1700	3	11
Budjala	Equateur	Forest	Sandy-clay	1800	2-3	16
Gbadolite	Equateur	Wooded savannah	Sandy-clay	1800	2-3	10
Ilebo	Kasaï occidental	Forest	Sandy-clay	1650	3	16
Kasongo	Maniema	Grassland	Clay	1300	3 à 4	12
Kindu	Maniema	Grassland	Clay	2200	2 à 3	13
Milangala	Kasaï occidental	Forest	Sandy clay	1600	4	17
Mont-Ngafula	Kinshasa	Grassland	Sandy	1500	4	8
Mwabo	Bandundu	Grassland	Sandy	1550	4	19
Panu	Bandundu	Grassland	Clay	1650	4	14

2.3. Plantation

Samples of collected seeds were sown in polythene bags. They were cultivated in a nursery (three months) from 5 July to 3 October 2009 in Mbankana. The plantation was laid out in a randomized complete block design (RBD) with three replicates at a density of 2 500 plants ha⁻¹ (spacing of 2 m x 2 m) on land that was previously prepared after a fallow of five years. The total number of plants per ecotype varied from 20 to 36.

2.4. Plantation Maintenance

Weeding was carried out three times per year (March, September and December); pruning was performed once a year (in August) according to the method described by Achten *et al.* [17] and a single phytosanitary treatment was applied each year at the end of September using dimethoate (1 liter ha⁻¹ 40% EC).

2.5. Observations

Observations were carried out on all plants of each ecotype in all blocks and concerned the vegetative growth, seed yield components, oil content, as well as fatty acid composition. Morphological traits were assessed after 42 months of cultivation. Dry seed yield and yield components were evaluated on the harvests made from the 30th to the 42th month of cultivation corresponding to the last two peaks of fructification. In the area of Kinshasa, two peaks of production occur every year, corresponding with the two rainy seasons observed in the region. The first peak of production takes place between April and July and the second between September and December. The following data were taken:

Plant collar diameter and height was measured 42 months after planting in the nursery.

Branching was assessed by counting the number of lateral branches per plant.

Number of days to first flowering was determined by counting the number of days between establishment and the moment where 50% of the plants of an ecotype have started to flower.

Fruit maturation duration was determined by counting the number of days from blossoming to fruit maturity during each peak of production.

Capsule abortion rates were calculated by counting the number of fallen fruits compared to the total number of fruits formed by the plant during the last 12 months of production.

Number of capsules per plant was obtained by counting fruits present on each plant during the last 12 months of production.

Number of seeds per capsule was determined by counting the total number of seeds in 30 harvested fruits taken at random in the harvest of each experimental unit.

Seed index was obtained by weighing 100 seeds per plant chosen at random on three plants for each ecotype after drying for 48 hours in an oven at a temperature of 37 °C.

Evaluation of the ecotypes reaction to insect pests and diseases: no disease was reported during our trial. The major insect pests of *J. curcas* in the Kinshasa region are tobacco crickets *Brachytrupes membranaceus* Drury (Orthoptera, Grillidae), flea beetles *Aphthona sp.* (Coleoptera, Chrysomelidae), leaf miner *Stomphastis thraustica* Meyrick (Lepidoptera, Gracillariidae), and shield bug *Calidea sp.* (Heteroptera, Scutelleridae) [18]. As all the plants of each ecotypes showed symptoms of attacks, the evaluation of the susceptibility of the ecotypes to these pests focused on the proportion of leaves per plant showing attacks. Leaves which were observed were taken on the third branch from the collar in three randomly chosen plants on each experimental plot. The proportion of leaves showing symptoms of attacks was assessed at the end of each month during three years (2010 to 2012) and at each period of pest outbreaks from October to January.

Dry seeds yield was obtained by measuring the weight of dry seed harvested during the two annual peaks of production in 2010, 2011, and 2012, of each plot and converted to ha.

Oil content was determined at the Walloon Agricultural Research Centre of Belgium by the infrared spectroscopy method developed by Terren *et al.* [19] from three seed samples of each ecotype selected at random during the harvest in December 2012. Each sample consisted of 50 seeds in each of 3 plants. The oil content was expressed as a percentage of seed dry matter.

Oil yield was determined by multiplying the yield of dry seeds of each ecotype by its oil content.

Composition of fatty acids was determined at the Walloon Agricultural Research Centre of Belgium by the infrared spectroscopy method of Terren *et al.* [19] from the oil of the seed samples used to determine the oil content. The different fatty acids were expressed as a percentage of the total fat content.

2.6. Statistical Analysis

The data were subjected to analysis of variance (ANOVA) by MINITAB 16. The LSD test (Least Significant Difference) was used for comparison of the averages (probability level of 5%). Values are presented as mean $\pm$ standard deviations of the mean. The linear regression was used to test correlations between variables.

3. Results and Discussion

3.1. Vegetative Development

Significant differences ($p < 0.05$) were observed between ecotypes regarding the collar diameter, height and number of lateral branches per plant (Table 2). Srivastava *et al.* [9] and Rao *et al.* [14] also found significant differences between different ecotypes of *J. curcas* regarding their vegetative growth in two studies carried out in India.

Table 2. Vegetative development

Ecotypes	Collar diameter (cm)	Height (m)	Branching (total number of branches)
Bendele (Bandundu)	8.7 $\pm$ 0.7 ^{ab}	1.6 $\pm$ 0.1 ^{ab}	27.5 $\pm$ 4.1 ^{bcd}
Botala (Kasai oriental)	7.9 $\pm$ 0.6 ^{abcd}	1.7 $\pm$ 0.2 ^{ab}	27.0 $\pm$ 5.0 ^{bcd}
Budjala (Equateur)	7.3 $\pm$ 0.4 ^{de}	1.5 $\pm$ 0.0 ^{cd}	29.2 $\pm$ 4.5 ^{abcde}
Gbadolite (Equateur)	7.0 $\pm$ 0.6 ^{de}	1.6 $\pm$ 0.0 ^{ab}	31.7 $\pm$ 5.6 ^{abcde}
Ilebo (Kasai occidental)	6.8 $\pm$ 0.6 ^e	1.4 $\pm$ 0.1 ^d	22.1 $\pm$ 4.7 ^e
Kasongo (Maniema)	8.9 $\pm$ 0.4 ^a	1.7 $\pm$ 0.0 ^a	26.3 $\pm$ 4.0 ^{cde}
Kindu (Maniema)	7.2 $\pm$ 0.5 ^{de}	1.4 $\pm$ 0.1 ^{cd}	23.6 $\pm$ 3.5 ^{de}
Milangala (Kasai occidental)	7.6 $\pm$ 0.5 ^{cde}	1.5 $\pm$ 0.1 ^{cd}	32.3 $\pm$ 6.2 ^{abcd}
Mont-Ngafula (Kinshasa)	7.7 $\pm$ 0.6 ^{bcd}	1.6 $\pm$ 0.0 ^{bc}	35.2 $\pm$ 5.0 ^{abc}
Mwabo (Bandundu)	7.8 $\pm$ 0.5 ^{bcd}	1.5 $\pm$ 0.1 ^{cd}	36.4 $\pm$ 6.1 ^{ab}
Panu (Bandundu)	8.5 $\pm$ 0.5 ^{abc}	1.6 $\pm$ 0.0 ^{ab}	38.8 $\pm$ 7.2 ^a

The results are presented as mean $\pm$ standard deviations of the mean. The values assigned to the same superscript letter in the same column are not significantly different at the probability level of 5% ($p < 0.05$; ANOVA-LSD).

The highest collar diameter and the largest height were recorded in the ecotype Kasongo (8.9 $\pm$ 0.4 cm and 1.7 $\pm$ 0.0 m) and the lowest in the ecotype Ilebo (6.8 $\pm$ 0.6 cm and 1.45 $\pm$ 0.1 m). The total number of branches per ecotype ranged from 22.1 $\pm$ 4.7 (ecotype Ilebo) to 38.8 $\pm$ 7.2 (ecotype Panu).

3.2. Days to Flowering, Capsule Abortion Rates, and Capsule Maturation Duration

Significant differences ($p < 0.05$) were observed between the ecotypes regarding the flowering precocity (number of days to first flowering), the capsule abortion rates, and the fruit maturation duration (Table 3). Contrary to what is often observed in other tropical areas of the world [12], all ecotypes started flowering during their first year of cultivation. The number of days to first flowering ranged from 236.3 ± 5.7 for Mont-Ngafula ecotype to 84.6 ± 4.1 days for the Kindu ecotype.

The ecotypes studied generally showed a shorter fruit maturation duration compared to the figures presented by Münch and Kiefer [20] under the conditions of Cape Verde where fruit maturity is reached 3-4 months after fertilization. Brittain and Litaladio [21] indicated that the *J. curcas* fruits are ripe and ready for harvest about 90 days after flowering in wetter climates and in semi-arid regions.

Table 3. Flowering precocity, duration of the fruit maturation, capsule abortion rates

Ecotypes	Number of days to first flowering	Fruit maturation duration (days)	Capsule absorption rates (%) (1)
Bendele (Bandundu)	244.6 ± 7.5^{cd}	73.2 ± 3.5^{bcd}	24.0 ± 3.6^{bc}
Botala (Kasai oriental)	260.0 ± 6.2^{ab}	71.6 ± 4.7^{cd}	29.0 ± 3.0^a
Budjala (Equateur)	266.6 ± 5.8^a	80.4 ± 6.4^{ab}	31.2 ± 4.9^a
Gbadolite (Equateur)	260.6 ± 9.2^{ab}	78.6 ± 5.0^{abc}	32.6 ± 3.0^a
Ilebo (Kasai occidental)	265.3 ± 5.1^a	75.6 ± 3.6^{bcd}	29.1 ± 3.6^a
Kasongo (Maniema)	273.0 ± 8.5^a	83.4 ± 4.1^a	23.7 ± 3.5^c
Kindu (Maniema)	264.3 ± 7.9^{ab}	84.6 ± 4.7^a	28.6 ± 4.2^{ab}
Milangala (Kasai occidental)	251.0 ± 6.5^{bc}	69.7 ± 5.2^d	22.1 ± 4.0^c
Mont-Ngafula (Kinshasa)	236.3 ± 5.7^d	67.3 ± 3.5^d	21.0 ± 3.7^c
Mwabo (Bandundu)	244.6 ± 6.2^{cd}	72.8 ± 6.4^{bcd}	23.0 ± 3.6^c
Panu (Bandundu)	262.6 ± 7.0^{ab}	78.7 ± 4.7^{abc}	21.3 ± 2.5^c

(1) Calculated during the last 12 months of production.

The results are presented as mean $\pm$ standard deviations of the mean. The values assigned to the same superscript letter in the same column are not significantly different at the probability level of 5% ($p < 0.05$; ANOVA-LSD).

The climatic and soil conditions play an important role in the development of *J. curcas*. In the Kinshasa region, *J. curcas* produces fruits twice a year [22]. The first production takes place between April and July (first peak) and the second between September and December (second peak). During the first peak of production a premature fruit drop is recorded due to poor soil water retention [22]. The

ecotypes Gbadolite and Budjala showed the highest abortion rates of fruits with $32.6 \pm 3.0\%$ and $31.2 \pm 4.9\%$, respectively, in the 42th month of cultivation. These two ecotypes were collected in an area with clay soil and an average annual rainfall of 1800 mm per year, which could explain their poor adaptation in Mbankana area, which is characterized by poor soils (sandy) and irregularities of precipitation (1500 mm per year), resulting in fruit drop under moisture stress.

The lowest capsule abortion rates (close to 20%) were generally observed for ecotypes originating from drier areas. The premature fruit drop of *J. curcas* in the Kinshasa region is higher (70%) in the first year of production and decreases from one year to another when the root system develops in depth [22].

3.3. Yield Components

The number of fruits per plant also showed significant differences ($p < 0.05$) between ecotypes from the beginning of the production (Table 4). In the 42th month of cultivation, the highest yielders in terms of number of fruits per tree were ecotypes Panu and Mwabo with 96.4 ± 8.5 and 80.6 ± 5.0 fruits per tree, respectively.

Table 4. Yield components

Ecotypes	Number of capsules per plant	Number of seeds per capsule	Seed index (100 seeds weight) (g)
Bendele (Bandundu)	27.3 ± 5.4^e	2.6 ± 0.0^{bc}	56.6 ± 1.3^d
Botala (Kasaï oriental)	44.9 ± 5.1^d	2.5 ± 0.1^c	70.8 ± 2.5^b
Budjala (Equateur)	54.4 ± 9.5^c	2.5 ± 0.1^c	54.3 ± 1.1^{de}
Gbadolite (Equateur)	61.5 ± 6.0^c	2.5 ± 0.1^c	68.7 ± 1.6^b
Ilebo (Kasaï occidental)	19.4 ± 6.5^e	2.5 ± 0.1^c	48.7 ± 1.8^f
Kasongo (Maniema)	25.8 ± 6.3^e	3.0 ± 0.0^a	66.9 ± 4.5^{bc}
Kindu (Maniema)	19.6 ± 7.0^e	2.6 ± 0.5^{bc}	68.1 ± 1.1^{bc}
Milangala (Kasaï occidental)	76.3 ± 4.9^b	2.7 ± 0.0^b	55.5 ± 1.2^{de}
Mont-Ngafula (Kinshasa)	58.0 ± 12.8^c	2.6 ± 0.1^{bc}	63.8 ± 2.2^c
Mwabo (Bandundu)	80.6 ± 5.0^b	2.6 ± 0.1^{bc}	51.1 ± 1.6^{ef}
Panu (Bandundu)	96.4 ± 8.5^a	2.7 ± 0.0^b	79.1 ± 1.1^a

The results are presented as mean $\pm$ standard deviation of the mean. The values assigned to the same superscript letter in the same column are not significantly different at the probability level of 5% ($p < 0.05$; ANOVA-LSD).

The number of fruits per tree obtained in our study is higher than that observed by Barro *et al.* [23] in their study on *J. curcas* ecotypes from different provenances (Casablanca et Diobass) conducted in Bargny in Senegal (11 ± 0.9 fruits per tree in the fourth year of cultivation).

From our observations, none of the ecotypes studied had one seed per fruit. The number of seeds per capsule varied between 2.5 and 3. In the ecotype Kasongo, all fruits harvested contained three seeds. The 100 seed weight ranged from 51.1 ± 1.6 (Milangala) to 79.1 ± 1.0 g (Panu). Ginwal *et al.* [24] found the same high range of seed index or 100 seed weight variations between Indian ecotypes of *J. curcas*. The 100 seed weight is a very useful yield component in order to determine accurately the amount or number of seeds required for seeding.

3.4. Reaction of Ecotypes to Insect Pests and Diseases

In the Kinshasa region, *J. curcas* is susceptible to four main insect pests [18]. The insecticidal property of the plant does not prevent the attacks of these organisms. All *J. curcas* ecotypes showed the same susceptibility to attacks by flea beetle and leaf miner, but no disease and no attacks of shield bug were observed (Table 5). On an average, between 55.2 ± 7.8 and $60.3 \pm 6.7\%$ of the leaves observed per plant showed symptoms of attacks by *Aphthona* sp., and the percentage of leaf per plant presenting symptoms of attacks by *S. thraustica* ranged from 22.9 ± 4.6 to $29.5 \pm 6.1\%$. Statistical analysis showed no significant differences between the ecotypes regarding the reaction to insect pests.

Table 5. Evaluation of the ecotypes reaction to insect pests

Ecotypes	<i>Aphthona sp.</i>	<i>S. thraustica</i>
	Percentage of leaf with symptoms of attack	Percentage of leaf with symptoms of attack
Bendele (Bandundu)	55.2±7.8	23.0±3.6
Botala (Kasaï oriental)	60.3±6.7	26.3±3.9
Budjala (Equateur)	59.7±3.5	22.9±4.6
Gbadolite (Equateur)	57.2±5.6	27.3±5.8
Ilebo (Kasaï occidental)	56.1±7.2	25.4±6.7
Kasongo (Maniema)	54.8±4.0	29.5±6.1
Kindu (Maniema)	55.4±6.2	26.8±7.0
Milangala (Kasaï occidental)	57.6±4.3	28.6±6.7
Mont-Ngafula (Kinshasa)	58.1±4.6	24.5±6.4
Mwabo (Bandundu)	55.5±5.7	24.5±4.3
Panu (Bandundu)	59.6±7.6	26.8±6.1
F obs.	N.S.	N.S.

N.S: not significant

The sustainability of *J. curcas* cultivation in the region of Kinshasa, as in all humid tropical areas, depends on the finding of adapted solutions to control pest attacks. The identification of ecotypes that are resistant to this biotic constraint is one of these solutions for the sustainability of *J. curcas* cultivation in the region of Kinshasa [25].

3.5. Yield of Dry Seeds

The results of our study (Table 6) show an increase in dry seed yields of *J. curcas* from the second to the fourth year of cultivation and significant differences between ecotypes ($p < 0.05$). The ecotype Panu gave a higher seed yield compared to the 10 other ecotypes for all production cycles. In the third year of production, the highest yield observed was $473.1 \pm 4.6 \text{ kg ha}^{-1}$ for the ecotype Panu and the lowest was $68.6 \pm 3.7 \text{ kg ha}^{-1}$ for the ecotype Ilebo. These variations in performance may be due to the fact that the ecotypes tested were collected from different sites characterized by variations in habitat, climate and soil conditions. The genotype-environment interactions are strong for *J. curcas* [1].

Table 6. Yield of Dry Seeds

Ecotypes	Yield (kg ha ⁻¹)		
	First year of production (1 st and 2 nd fruiting peaks) 2010	Second year of production (3 rd and 4 th fruiting peaks) 2011	Third year of production (5 th and 6 th fruiting peaks) 2012
Bendele (Bandundu)	20.7±7.8 ^e	24.4±5.4 ^g	92.3±5.7 ^h
Botala (Kasaï oriental)	41.4±6.5 ^{cd}	74.6±3.3 ^e	188.7±6.1 ^f
Budjala (Equateur)	38.4±10.6 ^{cd}	67.1±5.5 ^{ef}	223.6±5.3 ^e
Gbadolite (Equateur)	37.3±7.8 ^d	63.0±3.2 ^f	268.4±5.9 ^c
Ilebo (Kasaï occidental)	10.1±4.3 ^e	22.2±4.8 ^g	68.6±3.6 ⁱ
Kasongo (Maniema)	19.4±8.0 ^e	23.1±6.5 ^g	125.6±6.2 ^g
Kindu (Maniema)	16.0±4.0 ^e	20.4±3.7 ^g	70.4±3.9 ⁱ
Milangala (Kasaï occ.)	48.3±5.0 ^c	85.2±4.4 ^d	276.6±3.9 ^b
Mont-Ngafula (Kinshasa)	60.5±4.9 ^b	153.6±5.9 ^c	246.8±4.8 ^d
Mwabo (Bandundu)	60.2±5.1 ^b	189.3±5.5 ^b	283.4±5.6 ^b
Panu (Bandundu)	95.7±6.4 ^a	346.2±5.6 ^a	473.1±3.6 ^a

The results are presented as mean ± standard deviations of the mean. The values assigned to the same superscript letter in the same column are not significantly different at the probability level of 5% ($p < 0.05$; ANOVA-LSD).

Although ecotypes are adapted to marginal land conditions, *J. curcas* require the use of effective methods for managing soil fertility to ensure high yields for commercial production. As shown in our investigations, yield of the ecotypes tested would be higher with the application of fertilizer and ground cover with *Stylosanthes guianensis*. Yields of our ecotypes are lower than those reported by Openshaw [2], Heller [4], Francis *et al.* [7] and Tewari [26]. However, most yields reported in the literature were calculated from older trees, and there is a lack of information on the type of planting material used (seeds or cuttings), the age of the plantation, climatic conditions of site, fertilization and pest control.

3.6. Oil Content and Oil Yield

The oil content and oil yield showed significant differences ($p < 0.05$) between the ecotypes of *J. curcas* (Table 7). They can be classified in three groups according to their oil content: those in which the oil average content was $\geq 30\%$ (Panu, Gbadolite, Kasongo and Botala), those whose content varies between 25 and 29% (Mont-Ngafula, Kindu, Budjala, Bendele and Milangala) and those whose oil content is less than 25% (and Mwabo and Ilebo). Our results are consistent with those found by

Srivastava *et al.* [9] who reported that the oil content of *J. curcas* ecotypes from the district of Gurgaon in India ranged from 17.1±1.0% to 34.4±0.7%. Kaushik *et al.* [27] also found significant differences with regard to oil content (28-39%) among Indian ecotypes of *J. curcas*.

Table 7. Oil content and oil yield (Third year of production)

Ecotypes	Oil content (%)	Oil yield (kg ha ⁻¹)
Bendele (Bandundu)	25.5±3.9 ^{cde}	23.6±1.4 ^h
Botala (Kasaï oriental)	31.5±0.7 ^{bcd}	59.7±1.9 ^f
Budjala (Equateur)	26.6±0.4 ^{def}	59.5±1.4 ^f
Gbadolite (Equateur)	30.6±0.8 ^{bc}	82.3±1.8 ^b
Ilebo (Kasaï occidental)	24.8±1.4 ^b	17.0±0.9 ^j
Kasongo (Maniema)	31.1±1.7 ^{fg}	39.1±1.9 ^g
Kindu (Maniema)	29.3±1.2 ^{efg}	20.6±1.1 ⁱ
Milangala (Kasaï occidental)	27.2±0.6 ^b	75.3±1.0 ^c
Mont-Ngafula (Kinshasa)	28.0±0.9 ^{def}	69.3±1.3 ^d
Mwabo (Bandundu)	23.3±4.0 ^g	66.0±1.3 ^e
Panu (Bandundu)	35.1±1.8 ^a	166.0±1.6 ^a

The results are presented as mean ± standard deviations of the mean. The values assigned to the same superscript letter in the same column are not significantly different at the probability level of 5% (p<0.05; ANOVA-LSD).

The oil yield ha⁻¹ is directly related to the dry seed yield and to the oil content of the seed. It showed significant differences between the ecotypes. An oil yield of more than 150 kg ha⁻¹ was observed for the ecotype Panu in the third year of production. The ecotypes Ilebo, Kindu and Bendele gave an oil yield of less than 25 kg ha⁻¹. Plant development and oil production of *J. curcas* are strongly influenced by the environment [6,28].

3.7. Fatty Acid Composition

Determination of the fatty acid composition (table 8) is important to assess the combustible quality of the oil because it influences parameters such as fuel oil cetane and cold flow [29]. The highest polyunsaturated fatty acid content (linoleic and linolenic) was observed in the ecotype Gbadolite (38.0%) and the lowest content in ecotypes Bendele (33.0%), Mwabo (33.2%) and Ilebo (33.8%).

The vegetable oils rich in polyunsaturated fatty acids (linoleic and linolenic) tend to produce fuels with poor stability to oxidation and acidification [1,29]. Such oils have poor flow characteristics because it can solidify at low temperatures [30,31]. Ideally, vegetable oil fuel must be rich in

monounsaturated acids [30]. The highest mono-unsaturated acids (oleic and palmitoleic) contents were observed in ecotypes Ilebo (49.5%), Bendele (48.8%), Panu (48.6%), Botala (48.6%) and Mont-Ngafula (48.1%) and the lowest in the ecotype Gbadolite (45.2%). The selection of plant material must also take into account the fatty acid composition of different ecotypes.

Table 8. Fatty acid composition

Ecotypes	Saturated fatty acids		Unsaturated fatty acids			
	Palmitic	Stearic	Linoleic	Linolenic	Oleic	Palmitoleic
Bendele (Bandundu)	24.4±1.5 ^a	5.9±0.4 ^a	32.9±1.1 ^b	0.0±0.0 ^a	47.6±2.3 ^a	1.1±0.1 ^a
Botala (Kasai oriental)	24.8±0.9 ^a	5.3±0.3 ^a	35.4±1.0 ^{ab}	0.0±0.0 ^a	47.6±0.9 ^a	1.0±0.0 ^a
Budjala (Equateur)	23.5±0.4 ^a	5.6±0.4 ^a	36.0±0.5 ^{ab}	0.1±0.0 ^a	46.1±1.1 ^a	0.9±0.1 ^a
Gbadolite (Equateur)	25.5±0.7 ^a	5.4±0.6 ^a	37.9±0.0 ^a	0.0±0.0 ^a	44.0±1.4 ^a	1.1±0.0 ^a
Ilebo (Kasai occidental)	23.7±1.1 ^a	5.2±0.2 ^a	33.8±3.6 ^b	0.0±0.0 ^a	48.4±2.6 ^a	1.1±0.0 ^a
Kasongo (Maniema)	25.0±1.6 ^a	5.5±0.8 ^a	37.2±0.0 ^a	0.0±0.0 ^a	44.9±3.0 ^a	1.0±0.0 ^a
Kindu (Maniema)	23.9±0.3 ^a	4.7±0.6 ^a	28.0±2.5 ^a	0.1±0.0 ^a	45.1±1.4 ^a	1.0±0.1 ^a
Milangala (Kasai occidental)	24.8±2.0 ^a	5.6±0.3 ^a	35.3±0.3 ^{ab}	0.0±0.0 ^a	45.7±3.7 ^a	1.1±0.0 ^a
Mont-Ngafula (Kinshasa)	23.8±1.0 ^a	5.4±0.2 ^a	35.5±1.7 ^{ab}	0.0±0.0 ^a	47.0±1.8 ^a	1.0±0.1 ^a
Mwabo (Bandundu)	23.9±0.5 ^a	5.9±0.8 ^a	33.0±1.6 ^b	0.1±0.1 ^a	46.7±2.3 ^a	0.9±0.1 ^a
Panu (Bandundu)	26.8±1.5 ^a	5.6±0.7 ^a	36.9±2.2 ^a	0.0±0.0 ^a	47.6±1.2 ^a	0.9±0.0 ^a

The results are presented as mean ± standard deviations of the mean. The values assigned to the same superscript letter in the same column are not significantly different at the probability level of 5% ($p < 0.05$; ANOVA-LSD).

3.8. Correlation between Vegetative Parameters and Production (r)

Table 9 shows correlations between the variables studied. The dry seeds yield is significantly and positively correlated with oil yield ($r = 0.9$, $p < 0.05$) and the number of capsules per plant ($r = 0.9$, $p < 0.05$). The oil yield is significantly and positively correlated with the number of capsules per plant ($r = 0.8$, $p < 0.05$). A positive and significant correlation was also found between oil content of the seeds and the weight of 100 seeds ($r = 0.8$, $p < 0.05$). The only vegetative parameter that is highly and positively correlated with yield components is branching with a strong correlation with the number of capsules per plant ($r = 0.7$, $p < 0.05$). Similar correlations were observed by Kaushik *et al.* [27] and Rao *et al.* [14].

Table 9. Correlation between the observed parameters (r)

Parameters	Diameter	Height	Branching	NDFP	FMD	CAR	NSC	NCP	Seed Index	Yield of dry seeds	Oil content	Oil yield
Colar diameter	1											
Height	0.5*	1										
Branching	0.2 ⁻	0.1 ⁻	1									
NDFP	0.0 ⁻	0.0 ⁻	0.3 ⁻	1								
FMD	0.0 ⁻	0.1 ⁻	0.3*	0.6*	1							
CAR	0.4*	0.1 ⁻	0.2 ⁻	0.4*	0.2 ⁻	1						
NSC	0.5*	0.3 ⁻	0.0 ⁻	0.0 ⁻	0.2 ⁻	0.4*	1					
NCP	0.1 ⁻	0.0 ⁻	*0.7⁻	0.2 ⁻	0.2 ⁻	0.2 ⁻	0.0 ⁻	1				
Seed Index	0.2 ⁻	0.6*	0.1 ⁻	0.2 ⁻	0.2 ⁻	0.0 ⁻	0.3 ⁻	0.2 ⁻	1			
Yield of dry seeds	0.1 ⁻	0.2 ⁻	0.6*	0.1 ⁻	0.1 ⁻	0.2 ⁻	0.1 ⁻	0.9*	0.3*	1		
Oil content	0.1 ⁻	0.5*	0.1 ⁻	0.3 ⁻	0.1 ⁻	0.0 ⁻	0.2 ⁻	0.1 ⁻	0.8*	0.3*	1	
Oil yield	0.1 ⁻	0.3 ⁻	0.6*	0.0 ⁻	0.1 ⁻	0.2 ⁻	0.1 ⁻	0.8*	0.5*	0.9*	0.5*	1

* : Significant at 5% level ; - : No significant at 5% level; NDFP : number of days to first flowering; FMD : fruit maturation duration; CAR : capsule absorption rates; NSC: number of seed per capsule; NCP : number capsule per plant; Seed index : weight of 100 seeds.

4. Conclusion

The ecotypes of *J. curcas* grown in the Kinshasa region showed significant variability in their morphology, seed yield and oil content. Dry seeds yield ranged from $68.6 \pm 3.6 \text{ kg ha}^{-1}$ to $473.1 \pm 3.6 \text{ kg ha}^{-1}$ after 42 months of cultivation. Oil content varied from 23.3% to 35.1%.

Based on our study, the ecotype Panu showed the best performance in terms of vegetative development, seed yield, oil content, and mono-unsaturated fatty acids content. *Jatropha curcas* is still a wild plant in most areas where it grows; therefore, the careful selection and improvement of appropriate genetic stocks is essential before considering large-scale plantations.

The existence of a large variability in yield components and quality of the oil opens up good prospect for obtaining *J. curcas* varieties adapted to the growing conditions of the region. Considering their growth attributes and yield potential, some of the collected ecotypes constitute very promising genetic stocks to start a breeding program of *J. curcas*.

References

- [1] M. Domergue and R. Pirot, “*Jatropha curcas* L.: Rapport de synthèse bibliographique”, Cirad, 2008. www.fact-foundation.com/media_en/French_Jatropha_Document_Cirad, (10/09/2010).
- [2] K. Openshaw, “A review of *Jatropha curcas*: an oil plant of unfulfilled promise”, *Biomass and Bioenergy*, Vol. 19, 2000, pp. 1-15.
- [3] Z. Li, B.-I. Lin, X. Zhao, M. Sagisaka and R. Shibasaki, “System approach for evaluating the potential yield and plantation of *Jatropha curcas* L. on a global scale”, *Environmental Science and Technology*, Vol. 44, 2010, pp. 2204-2209.
- [4] J. Heller, “Physic nut, *Jatropha curcas* L. Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops”. 1. Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research, Gatersleben/International Plant Genetic Resources Institute, Rome, 1996. <http://www.bionica.info/Biblioteca/Heller1996Jatropha.pdf>, (4/07/2013).
- [5] M. Sujatha, T.P. Reddy and M.J. Mahasi, “Role of biotechnological interventions in the improvement of castor (*Ricinus communis* L.) and *Jatropha curcas* L.”, *Biotechnology Advances*, Vol. 26, 2008, pp. 424-435.

- [6] W.M.J. Achten, L. Verchot, Y.L. Franken, E. Mathijs, V.P. Singh, R. Aerts and B. Muys, “*Jatropha* bio-diesel production and use”, *Biomass and Bioenergy*, Vol. 32, 2008, pp. 1063-1084.
- [7] G. Francis, R. Edinger and K. Becker, “A concept for simultaneous wasteland reclamation, fuel production, and socio-economic development in degraded areas in India: Need, potential and perspectives of *Jatropha* plantations”, *Natural Resources Forum*, Vol. 29, No 1, 2005, pp. 12-14.
http://www.corpoica.org.co/SitioWeb/Documento/JatrophaContrataciones/JATROPHA_PLANTATIONS.pdf, (24/06/2013).
- [8] R.E.E. Jongschaap, W.J. Corre, P.S. Bindraban and W.A. Brandenburg, “Claims and facts on *Jatropha curcas* L.: global *Jatropha curcas* evaluation, breeding and propagation program”. Plant Research International B.V., Wageningen. Report, 2007.
- [9] P. Srivastava, S. K. Behera, J. Gupta, S. Jamil, N. Singh and Y. K. Sharma, “Growth performance, variability in yield traits and oil content of selected accessions of *Jatropha curcas* L. growing in a large scale plantation site”, *Biomass and Bioenergy*, Vol. 35, No 39, 2011, pp. 36-3942.
- [10] A. Kumar and S. Sharma, “An evaluation of multipurpose oil seed crop for industrial uses (*Jatropha curcas* L.): A review”, *Industrial crops and products*, Vol. 28, 2008, pp. 1-10.
- [11] B.N. Divakara, H.D. Upadhyaya, S.P. Wani and C.L. Laxmipathi Gowda, “Biology and genetics improvement of *Jatropha curcas* L.: A review”, *Applied Energy*, Vol. 87, 2010, pp.732-742.
- [12] B. Singh, K. Singh, G. Rejeshwar Rao, J. Chikara, D. Kumar, D.K. Mishra, S.P. Saikia, U.V. Pathre, N. Raghuvanshi, T.S. Rahi and R. Tuli, “Agro-technology of *Jatropha curcas* for diverse environmental conditions in India”, *Biomass and Bioenergy*, Vol. 48, 2013, pp. 191-202.
- [13] I. Diedhiou, P. Madiallacké Diédhiou, K. Ndir, R. Bayala, B. Ouattara, B. Mbaye, M. Kâne, D. Dia and I. Wade, “Diversity, Farming Systems, Growth and Productivity of *Jatropha curcas* L. in the Sudano-Sahelian Zone of Senegal, West Africa”, In: *Jatropha, Challenges for a New Energy Crop: Volume 1: Farming, Economics and Biofuel* Ed.: N. Carels et al., Science+Business Media, New York, 2012, pp. 281-295.
- [14] G. R. Rao, G. R. Korwar, A. K. Shanker and Y. S. Ramakrishna, “Genetic associations, variability and diversity in seed characters, growth, reproductive phenology and yield in *Jatropha curcas* (L.) accessions”, *Trees*, Vol. 22, 2008, pp. 697–709. DOI 10.1007/s00468-008-0229-4.

- [15] F. Bisiaux, R. Peltier and J.C. Muliele, “Plantations industrielles et agroforesterie au service des populations des plateaux de Batéké, Mampu, en République démocratique du Congo”, *Bois et Forêts des Tropiques*, Vol. 301, No 3, 2009, pp. 21-23.
- [16] C. Vermeulen and F. Lanata, “Le domaine de chasse de Bombo-Lumene : un espace naturel en péril aux frontières de Kinshasa”, *Parcs et réserves*, Vol. 61, No 2, 2006, pp. 4-8.
- [17] W.M.J. Achten, L. Verchot, Franken Y.J., E. Mathijs, V.P. Singh, R. Aerts, B. Muys, “Jatropha bio-diesel production and use”. *Biomass and Bioenergy*, Vol. 32, 2008 : 1063-1084.
- [18] J.D.D. Minengu, F. Verheggen and G. Mergeai, “Dynamique et impact des principaux insectes ravageurs de *Jatropha curcas* L. dans deux systèmes de culture aux caractéristiques contrastées de la province de Kinshasa (République Démocratique du Congo)”, *Tropicultura*, 2013, In press.
- [19] M. Terren, B. Lecler, V. Baeten and G. Mergeai, “Near-infrared spectroscopy for analysis of oil content and fatty acid profile in *Jatropha curcas* L. flour”, *Conference Proceedings CNIRS*, 2013, pp. 1-4.
- [20] E. Münch and J. Kiefer, “Le Pourghère (*Jatropha curcas* L.), “Botanique, écologie, culture (1ère partie), produits de récolte, filières de valorisations, réflexions économique (2ème partie)”, Université de Stuttgart-Hohenheim, Germany, 1986.
- [21] R. Brittain and N. Litaladio, “*Jatropha*: a smallholder bioenergy crop. The potential for pro-poor development, Integrated Crop Management”, Vol. 8. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy, 2010.
- [22] J.D.D. Minengu, P. Mobambo and G. Mergeai, “Analyse des performances technico-économiques de quatre systèmes de culture basés sur la production de *Jatropha curcas* L. dans la région de Kinshasa (République Démocratique du Congo)”, *Tropicultura*, 2013, In press.
- [23] L. Barro, NSS Samba, M. Diatta and E.L. Akpo, “Effet du travail du sol sur la productivité de différentes provenances de *Jatropha curcas*”, *OCL*, Vol. 20, No 3, 2013, pp. 165-170. doi: 10.1684/ocl.2013.0508.

- [24] H.S. Ginwal, S.S. Phartyal, P.S. Rawat and R.L. Srivastava, "Seed source variation in morphology, germination and seedling growth of *Jatropha curcas* Linn., in Central India", *Silvae Genetica*, Vol. 54, 2005, pp. 76-80.
- [25] K. Anitha and K. S.N. Varaprasad, "*Jatropha* Pests and Diseases: An Overview", Chap. 10. In Carels et al. (Ed.), *Jatropha*, Challenges for a New Energy Crop: Volume 1: Farming, Economics and Biofuel, 2012. DOI 10.1007/978-1-4614-4806-8_10, (10/06/2013).
- [26] D. N, Tewari, "*Jatropha and biodiesel*". 1st ed. New Delhi: Ocean Books Ltd, 2007.
- [27] N. Kaushik, K. Kumara, S. Kumar, N. Kaushik and S. Roy, "Genetic variability and divergence studies in seed traits and oil content of *Jatropha* (*Jatropha curcas* L.) accessions", *Biomass and Bioenergy*, Vol. 31, 2007, pp. 497-502.
- [28] W.H. Maes, A. Trabucco, W.M.J. Achten and B. Muys, "Climatic growing conditions of *Jatropha curcas* L.", *Biomass and Bioenergy*. Vol. 33, 2009, pp. 1481-1485.
- [29] E. Akbar, Z. Yaakob, S.K. Kamarudin, M. Ismail and J. Salimon, "Characteristic and Composition of *Jatropha curcas* Oil Seed from Malaysia and its Potential as Biodiesel Feedstock", *European Journal of Scientific Research*, Vol.29 No.3, 2009, pp. 396-403.
- [30] F.D. Gunstone, "Rapeseed And Canola Oil: Production, Processing, properties and uses", London, Blackwell Publishing Ltd, 2004.
- [31] B. Hamad, "Transestérification des huiles végétales par l'éthanol en conditions douces par catalyses hétérogènes acide et basique", Thèse de doctorat, Université Claude Bernard-Lyon, France, 2009.

Chapitre VI. Discussion générale, conclusion et perspectives

VI.1. Discussion générale

Des projets de culture de *Jatropha curcas* L. ont été mis en place dans de nombreux pays d'Afrique subsaharienne pour la production d'agrocarburants. Les résultats obtenus ont été décevants par rapport aux attentes des porteurs des projets (Les Amis de la terre, 2010). Le développement des plantes et les rendements en graines et en huile, ont été fortement influencés par les conditions de l'environnement et les techniques de production (Trabucco *et al.*, 2010 ; Terren *et al.*, 2012a).

Des rendements inférieurs à 1000 kg de graines sèches ha⁻¹ ont été obtenus au cours des quatre premières années de culture dans la plupart des zones de production (Wahl *et al.*, 2012). Les estimations sur le rendement de *J. curcas* sont spécifiques au site étudié et ne peuvent pas être généralisées à grande échelle (Li *et al.*, 2010). Les facteurs techniques ayant une incidence sur le rendement de *J. curcas* sont l'âge de la plantation, la fertilisation appliquée, la fréquence du désherbage et de la taille, la qualité des semences et la quantité d'eau dont dispose la plante (pluviométrie/irrigation) (Iiyama *et al.*, 2013). Le délai d'entrée en production de *J. curcas* varie suivant les conditions agro-écologiques et le matériel végétal utilisé. Il faut compter six mois après la mise en place au Plateau des Batéké à Kinshasa en RDC, deux ans au KwaZulu-Natal en Afrique du Sud et au Nord du Ghana (Ofori-Boateng et Lee Keat, 2011 ; Everson *et al.*, 2012) et trois ans à Patancheru en Inde (Kesava Rao *et al.*, 2012). Le rendement est un des éléments importants de la viabilité économique des plantations de *J. curcas*.

La quantification des performances techniques et économiques de la culture de *J. curcas* sur le Plateau des Batéké dans la région de Kinshasa a été réalisée sur une plantation pilote installée en 2007. Les résultats obtenus et la comparaison de ceux-ci avec ceux enregistrés dans d'autres plantations installées dans la même région ont permis d'identifier les principales contraintes à la culture de *J. curcas* dans cette zone, à savoir : des attaques des insectes ravageurs, la faible fertilité chimique du sol, sa faible capacité à retenir l'eau en fin de saison des pluies, la très forte pression des adventices et le manque de matériel végétal amélioré. Ces contraintes expliquent, du fait du manque de solutions techniques adaptées, la faiblesse des rendements obtenus dans les premières plantations installées dans

la région à partir de 2006. A celles-ci s'ajoutent le coût élevé des intrants (engrais et insecticides), le grand nombre de jours de travail nécessaires pour l'entretien des parcelles, la réalisation des récoltes et du décorticage des capsules, et l'absence d'un véritable marché local pour les graines produites. Tous ces facteurs se traduisent, en se basant sur les prix d'achat des graines pratiqués dans d'autres régions d'Afrique (0,125 USD/kg), par une faible rentabilité des plantations de *J. curcas*. Ceci constitue une autre limitation fondamentale à la diffusion de sa culture.

Parmi les contraintes liées aux caractéristiques du milieu naturel, la très grande sensibilité de *J. curcas* aux attaques des ravageurs présents au niveau du Plateau des Batéké constitue une des contraintes majeures. Elle a été à l'origine de l'abandon d'au moins un projet de plantation de grande envergure lancé dans la région par une société coréenne en 2008. Des données scientifiques sur la dynamique et l'impact des principaux insectes ravageurs sur la production de *J. curcas* font défaut en Afrique, en général, et en RDC, en particulier. Dans notre zone d'étude, *J. curcas* est sensible aux attaques de la chrysomèle *Aphthona* sp. (Coleoptera, Chrysomelidae) et de la mineuse des feuilles *Stomphastis thraustica* Meyrick (Lepidoptera, Gracillariidae). Des observations similaires ont été réalisées au Kenya, au Mozambique, en Afrique du Sud et dans presque toutes les zones humides d'Afrique (Endeleu Energy *et al.*, 2009 ; Cassimo *et al.*, 2011 ; Everson *et al.*, 2012). En plus des attaques de la chrysomèle et de la chenille mineuse des feuilles, nous avons observé à N'sele, dans la banlieue de Kinshasa, la présence de la punaise à bouclier *Calidea* sp. (Heteroptera, Scutelleridae). Des individus de cette espèce ont également été observés ponctuellement au Domaine des sources, une autre plantation installée près de Mongata sur le Plateau des Batéké.

Les punaises des genres *Scutellera*, *Pachycoris* et *Leptoglossus* constituent des ravageurs majeurs de *J. curcas* dans d'autres parties du monde (Grimm, 1996 ; Grimm et Guharay, 1998 ; Sahai *et al.*, 2011). Les dégâts qu'elles ont infligés aux capsules de *J. curcas* dans des plantations installées au Nicaragua au début des années 1990 ont été à l'origine de l'abandon de celles-ci (Grimm, 1996).

Selon nos observations, les pertes de rendements occasionnées par ces insectes ravageurs atteignent 90% à Mbankana et 60% à N'sele par rapport aux récoltes réalisées dans des parcelles protégées par trois traitements au diméthoate par an. Il faut également signaler que les plantes de *J. curcas* cultivées

depuis 2006 au campus de l'Université de Kinshasa dans l'agglomération de Kinshasa ont subi à plusieurs reprises des attaques de cochenilles (*Phenacoccus* sp. ; Hemiptera, Pseudococcidae). Les grillons *Brachytrupes membranaceus* Drury (Orthoptera, Grillidae) causent la destruction de 10 à 40% des plants de *J. curcas* lors de leur mise en place en plein champ au début de la grande saison des pluies (octobre à décembre). Des attaques de grillons sont aussi observées sur *Acacia* sp., *Leucaena* sp. et les cultures maraîchères dans la région de Kinshasa. Les effectifs les plus élevés des insectes ravageurs sont observés pendant la période la plus pluvieuse de l'année à cause de la disponibilité en ressource alimentaire pour les insectes ravageurs (Minengu *et al.*, 2013b).

Compte tenu des attaques ponctuelles de certains ravageurs observées dans la région (punaise à bouclier, cochenille), il faut s'attendre à une augmentation du nombre d'espèces du complexe parasite de la plante au niveau du Plateau des Batéké. On peut également s'attendre à une augmentation de la pression des ravageurs avec la croissance des surfaces cultivées (Achten *et al.*, 2008).

Dans la plupart des plantations de *J. curcas*, la lutte contre les insectes ravageurs est basée sur l'utilisation d'insecticides de synthèse (Ranga Rao *et al.*, 2010 ; Cassimo *et al.*, 2011). Dans notre zone d'étude, il faut au moins deux traitements insecticides an⁻¹ pour contrôler les populations des principaux insectes ravageurs de *J. curcas* et le coût pour l'achat des insecticides est évalué à au moins 40 USD an⁻¹ (Minengu *et al.*, 2013a). Si nous n'avons observé aucun symptôme de maladie sur les plantes de *J. curcas* dans nos essais, cela ne signifie cependant pas que celles-ci resteront toujours immunes aux attaques de ce type de bioagresseurs. La fusariose, la cercosporiose, l'oïdium et l'alternariose sont signalés dans certaines aires de culture de *J. curcas* en Afrique subsaharienne (Endelewu Energy *et al.*, 2009 ; Muzondiwa Jingura, 2012 ; Terren *et al.*, 2012b).

Des associations culturales de *J. curcas* avec d'autres cultures annuelles ou pérennes, comme dans le cas de l'association avec le maïs suivi du soja, sont efficaces pour limiter les dégâts causés par les insectes ravageurs. Compte tenu de l'importance des dégâts des insectes ravageurs, le développement de méthodes de gestion intégrée des bioagresseurs est une nécessité absolue pour pouvoir assurer la production de *J. curcas* dans la région de Kinshasa. Le développement de méthodes de lutte intégrée

passe par : (i) la sélection de plantes résistantes/tolérantes, (ii) l'identification de la faune auxiliaire comme des nématodes entomophages qui peuvent détruire les larves de la chrysomèle, les Hyménoptères *Notanisomorphella borborica* Giard et *Apleurotropis lamellata* Kerrich (Hymenoptera, Eulophidae) qui sont des parasitoïdes importants de la mineuse de feuilles au Mozambique (Natha et Olmi, 2011), les parasitoïdes *Trissolcus* sp. (Hymenoptera, Platygasteridae), *Beauveria bassiana* (Bals.-Criv.) Vuill. (Hypocreales, Ophiocordycipitaceae) et *Metarhizium anisopliae* (Metchnikoff) Sorokin (Hypocreales, Clavicipitaceae) qui permettent de réduire les populations de punaises (Grimm C. & Guharay, 1998), (iii) l'étude des possibilités de l'élevage et du lâchage massif de parasitoïdes des principaux ennemis de *J. curcas*, (iv) l'étude des perspectives d'utilisation de phéromones (perturbation des accouplements, pièges pour la destruction des individus), et (iv) l'utilisation raisonnée des insecticides par la détermination des seuils de nuisance, l'identification des matières actives les plus adéquates, la proposition de plusieurs matières actives à appliquer successivement au cours de l'année pour éviter le développement de résistance, etc.

Le manque de matériel végétal amélioré adapté aux conditions de la zone d'étude constitue une autre contrainte importante qui limite les possibilités de cultiver durablement *J. curcas* à proximité de Kinshasa. La réussite d'une plantation dépend, en premier lieu, de la qualité des plants qui sont mis en place. L'utilisation des semences récoltées sur les arbustes subspontanés n'ayant fait l'objet d'aucune sélection au préalable est, en partie, la cause du faible rendement obtenu généralement dans les plantations installées jusqu'à présent un peu partout dans le monde (Iiyama *et al.*, 2013).

Les écotypes de *J. curcas* dont nous avons évalués les performances ont montré une grande variabilité en termes de développement végétatif et de rendements en graines et en huile. Le rendement moyen obtenu en 3^{ème} année de production par l'écotype le plus productif ($473,1 \pm 3,6$ kg de graines sèches ha^{-1}) était près de 7 fois plus élevé que le rendement de l'écotype qui a produit le moins ($68,6 \pm 3,6$ kg ha^{-1}). Les rendements moyens de nos écotypes sont supérieurs à ceux obtenus dans des plantations de 3 ans en Afrique du Sud ($104,4$ kg ha^{-1}) (Everson *et al.*, 2012) mais plus faibles que les 900 kg de graines ha^{-1} annoncés par Wahl *et al.*, 2012 dans les plantation de 3 à 4 ans dans 15 pays d'Afrique. Des différences significatives (développement végétatif et rendement en graines) entre les écotypes de

J. curcas ont également été trouvées en Inde (Sunil *et al.*, 2008 ; Srivastava *et al.*, 2011) et en Malaisie (Biabani *et al.*, 2012). Des méthodes d'amélioration génétique comme la sélection massale, la sélection récurrente, la sélection de plantes mutantes obtenues par l'application d'agents mutagènes, l'hybridation interspécifique, etc., peuvent être appliquées pour améliorer la productivité de la plante (Divakara *et al.*, 2010).

La texture sableuse du sol du Plateau des Batéké est favorable au développement des plantes de *J. curcas* qui ne supportent pas du tout les sols avec des conditions hydromorphes en saison des pluies et qui prennent en masse pendant la saison sèche (Gour, 2006). La forte teneur du sol en sable (90% en moyenne) se traduit cependant par une faible capacité de ce dernier à retenir en surface l'eau des précipitations. Cela induit des problèmes de chute prématurée des capsules qui se trouvent encore en phase de maturation au début de la grande saison sèche. Comme dans le cas du caféier arabica (*Coffea arabica* L.) dans des zones suboptimales au point de vue pluviométrique, notre étude a montré que l'application d'un paillis au pied des arbustes permettait de limiter fortement le taux d'avortement des graines et de chute des capsules au moment du retour de la saison sèche. L'intérêt de cette technique ne semble pas avoir été mentionné jusqu'à présent chez *J. curcas* dans d'autres parties du monde. Sa mise en œuvre se heurte à un problème de disponibilité du mulch qui, comme nous l'avons montré, peut être résolu par l'installation d'une plante de couverture adaptée aux conditions de culture.

Le très faible niveau de fertilité chimique des sols du Plateau constitue une autre contrainte importante à la culture de *J. curcas*. De nombreux projets de mise en valeur de ces sols à des fins agricoles ont échoué du fait de leur pauvreté en nutriments et de leur faible capacité à retenir ceux-ci : Nsombo (2005) indique une capacité d'échange cationique variant entre 2 et 5 meq. par 100 g. Des travaux menés dans d'autres régions du monde ont montré que *J. curcas* ne produit pas bien dans les sols pauvres en l'absence d'apport de fertilisants (Kwetch Sop *et al.*, 2012 ; Singh *et al.*, 2013). Des rendements plus élevés peuvent être obtenus sur des sols marginaux avec l'application d'engrais contenant de l'azote (N), du phosphore (P), du potassium (K), du calcium (Ca), etc. (Akbarian *et al.*, 2010 ; Nahar et Ozores-Hampton, 2011). En Inde, l'application de 50 kg N ha⁻¹, 100 P ha⁻¹ et 60 K ha⁻¹

a permis d'améliorer le développement végétatif et le rendement en graines et en huile de *J. curcas* dans des sols sablonneux (plus de 80% de sable) et avec un pH de 5,52 (Mohapatra et Panda, 2011).

La gestion de la fertilité du sol par l'installation d'un couvert permanent constitué par une légumineuse adaptée aux conditions des sols pauvres, est une des meilleures alternatives pour des petits producteurs dont l'accès aux engrais chimiques est limité à cause de leurs coûts très élevés (1,5 USD kg⁻¹ de NPK 17-17-17 et 1,5 USD kg⁻¹ d'urée). L'emploi des plantes de couverture est une technique classique de gestion de la fertilité du sol en zones tropicales humides (Dugué et Gigou, 2002). Cette technique est appliquée notamment dans les plantations de palmier à huile (*Elaeis guineensis* Jacq.) et de caféier (*Coffea* sp.), et des résultats intéressants ont été obtenus dans le cadre de notre étude. A notre connaissance, aucune donnée n'a encore été publiée sur ce sujet.

La concurrence exercée par les adventices (*Digitaria* sp., *Imperata cylindrica* (L.) P.Beauv., *Cynodon dactylon* L., etc.) est une autre contrainte très importante. En culture pure de *J. curcas*, il faut faire 4 sarclages par an, en comptant 20 h.j ha⁻¹ par sarclage pour les contrôler. Ce qui est particulièrement élevé par rapport au système traditionnel partiqué sur le Plateau des Batéké. Dans ce dernier, 2 sarclages (25 h.j ha⁻¹ sarclage⁻¹) sont réalisés dans une culture de manioc installée après labour à la charrue à disques en traction motorisée sur défrichement d'une savane herbeuse laissée en jachère pendant plus de 10 ans. Dans ce système, le labour permet de limiter le développement des adventices. L'importance de la charge en travail pour contrôler les adventices, combinée aux faibles rendements obtenus lors des 3 premières années de production de *J. curcas* a entraîné l'abandon d'une plantation installée à Menkao. Des résultats similaires concernant l'importance de la charge de travail nécessaire pour réaliser le désherbage de *J. curcas* ont été rapportés au Brésil par Rocha *et al.* (2010). La concurrence des adventices peut induire une réduction de rendement allant de 80,0 à 86,3% au cours des premières années du développement de la plante (Everson *et al.*, 2012). Dans certaines plantations de *J. curcas* en Inde, le désherbage a été identifié comme une des opérations culturales qui a le plus d'incidence sur la rentabilité de la culture (Goswami *et al.*, 2011).

La mise en place d'un couvert de *Stylosanthes guianensis* permet de limiter le temps de travail nécessaire pour le contrôle de l'enherbement tout en apportant d'autres avantages (amélioration de la

fertilité du sol, limitation de l'évaporation en début de saison sèche). Il ne faut que 60 h.j ha⁻¹ an⁻¹ pour contrôler le développement du *S. guianensis* (recepape) alors que 80 h.j ha⁻¹ an⁻¹ sont nécessaires pour le désherbage d'une parcelle de *J. curcas* en culture pure.

La production en graines de *J. curcas* peut être améliorée par l'augmentation du nombre de branches car les inflorescences se développent au bout des tiges (King *et al.*, 2009). Contrairement à ce qui est parfois observé ailleurs où la pratique de la taille a entraîné une réduction des rendements en graines (Ghosh *et al.*, 2011 ; Everson *et al.*, 2012), sur le Plateau des Batéké, *J. curcas* répond favorablement à l'application de la taille selon les modalités proposées par Gour (2006) et Patolia *et al.* (2007). Rajaona *et al.* (2011), à Madagascar, et Patolia *et al.* (2007), en Inde, signalent également des effets bénéfiques de la taille sur la productivité de la plante. Selon Reddy et Naole (2009), la période la plus propice pour la taille est celle du repos végétatif pendant laquelle la plante a perdu ses feuilles. Cette période correspond à la grande saison sèche dans la région de Kinshasa (juin à septembre). Dans nos essais, il a fallu 5 à 10 h.j ha⁻¹ an⁻¹ pour réaliser la taille des plantes au cours des trois premières années de leur développement. Ces chiffres peuvent varier en fonction du développement végétatif de la plante.

L'association de *J. curcas* avec les cultures vivrières pourrait constituer l'une des alternatives capables d'assurer à la fois la sécurité alimentaire et énergétique des populations rurales (de Souza *et al.*, 2013). Les associations culturales présentent en effet un intérêt économique certain pour les petits producteurs en limitant l'enherbement, les attaques des insectes ravageurs, en procurant des revenus complémentaires (Wahl *et al.*, 2012) et, en réduisant l'usage des intrants chimiques (engrais et pesticides).

De nombreux cas d'associations de *J. curcas* avec les cultures vivrières sont signalés en Afrique (Wahl *et al.*, 2012), mais les données sur les rendements des composantes associées manquent le plus souvent. Les résultats de notre étude sur les possibilités de production de *J. curcas* sur couvert permanent de *S. guianensis* en association avec les cultures vivrières montrent une augmentation sensible des rendements de *J. curcas* à la densité de 2 500 plantes ha⁻¹ sur couvert permanent de *S. guianensis*. De tels dispositifs sont certainement intéressants mais des travaux supplémentaires sont

nécessaires pour identifier les meilleures modalités de mise en œuvre de ceux-ci. Selon Reubens *et al.* (2011), *J. curcas* possède un système racinaire latéral et superficiel important. Ce dernier dépend cependant des techniques de mise en place (bouturage, semis direct ou transplantation des plants issus de la pépinière). Ce comportement racinaire se traduit avec l'avancement en âge des plantes de *J. curcas*, par une augmentation importante de la concurrence que les racines de *J. curcas* exercent sur les cultures annuelles qui leur sont associées (Barbier *et al.*, 2012). La réalisation d'associations culturales performantes sur le long terme implique probablement une réduction de la densité de plantation de *J. curcas*. L'identification des densités et des dispositifs de plantation optimaux nécessite la réalisation de nouveaux essais.

La culture de *J. curcas* n'a pas pour finalité de remplacer les cultures vivrières (arachide, maïs, niébé, manioc, etc.), mais de diversifier les sources de revenus de l'agriculteur, d'améliorer l'accès à l'énergie en milieu rural et de contribuer à la protection des terres contre l'érosion. Il est opportun de tester des systèmes d'associations permanentes de *J. curcas* avec des espèces végétales arbustives ou arborées, comme *Leucaena sp.*, *Acacia sp.*, *Albizzia sp.*, etc, tout en utilisant le matériel végétal le mieux adapté aux conditions locales, et en protégeant la plantation contre les feux de brousse.

La saison sèche est la période la plus favorable aux feux de brousse sur le Plateau des Batéké. Avec l'assèchement de la végétation et du sol, les plantations de *J. curcas* courent des risques importants liés aux feux de brousse. La mise en place d'un coupe-feu d'une largeur minimum de 3 m tout autour du champ ou la réalisation d'un feu précoce et contrôlé sur le pourtour des parcelles permettent de réduire le risque d'incendie. La réalisation de ces pare-feux augmente le temps de travail chez les petits agriculteurs et les coûts d'exploitation en production industrielle de *J. curcas*.

L'amélioration du rendement de *J. curcas* dans la région de Kinshasa exige l'application de méthodes efficaces de contrôle des ravageurs et des adventices, d'amélioration de la fertilité du sol minimisant l'emploi d'engrais minéraux, la réalisation de tailles adéquates des arbustes et l'utilisation d'un matériel végétal performant adapté aux conditions locales. Nos travaux ont mis en évidence l'existence de synergies importantes en cas d'application simultanée de certaines de ces recommandations techniques (couvert de *Stylosanthes*, taille, engrais) ; ceci sans utiliser un écotype de

J. curcas particulièrement performant. On peut donc supposer qu'il existe des marges assez élevées en termes de gain de productivité des plantes.

La mise en œuvre des techniques permettant une augmentation sensible des rendements en graines de *J. curcas* ne se traduira pas nécessairement par une amélioration de revenu agricole de la culture. L'adoption et l'expansion des plantations de *J. curcas* à grande échelle dépendront essentiellement de la rentabilité financière de ces plantations (Goswami *et al.*, 2011). Notre étude a montré que l'association de *J. curcas* avec des plantes annuelles vivrières (maïs et haricot commun) permettait une meilleure rentabilité que la culture pure. Cette pratique n'a cependant de sens que si les revenus générés par ce type d'association sont supérieurs à ceux obtenus par les seules spéculations annuelles.

Dans l'état actuel des connaissances, il n'est pas possible de dire ce que sera le rendement maximum de *J. curcas* dans le système de culture le plus intéressant identifié lors de nos travaux. Cependant, quel que soit le rendement en graines de *J. curcas* obtenu, nous pouvons déjà affirmer sur base des calculs de rentabilité réalisés à partir des performances observées dans la plantation pilote analysée dans le cadre de nos travaux que des augmentations du prix de vente des graines et de la productivité du travail de récolte et de décorticage des capsules, seront indispensables pour rentabiliser la culture de *J. curcas* dans la région de Kinshasa.

Sur base des coûts de production nécessaires à la mise en œuvre de la combinaison « couvert de *Stylosanthes* (recepagement manuel) » + « 50 kg ha⁻¹ NPK + 50 kg ha⁻¹ urée » + « taille », en réalisant 3 traitements insecticides par an, un prix d'achat des graines de 0,125 USD kg⁻¹, une quantité de 50 kg de graines collectées homme-jour telle qu'indiquée par Borman *et al.* (2013) et une rémunération de travail à 4 USD homme-jour (coût de la rémunération de la main d'œuvre dans la région de Kinshasa en production agricole), il sera nécessaire d'atteindre des niveaux de production en graines ha⁻¹ qui dépassent 7 tonnes. Ceci n'est pas possible sur le long terme compte tenu de l'importance des exportations en nutriments du sol qu'un tel rendement occasionne, de la faible fertilité du milieu et de l'impossibilité biologique d'atteindre un tel rendement par le matériel non amélioré actuellement disponible (Jongschaap *et al.*, 2007). L'usage des engrais minéraux en culture pure de *J. curcas* n'est pas rentable car un kg d'engrais qui coûte en moyenne 1,5 USD à Kinshasa ne permet d'obtenir

qu'une augmentation de production de 4 kg de graines sèches de *J. curcas*, soit seulement 0,5 USD pour un prix de vente des graines de 0,125 USD. Même si le prix d'achat des graines pouvait s'élever à 0,25 USD/kg (1 USD pour 4 kg), cela ne permettra pas de compenser le coût d'achat des engrais.

En considérant les mêmes hypothèses de coûts de production et de productivité du travail, un quasi triplement du prix d'achat des graines (qui devraient passer à 0,35 USD kg⁻¹ graines) est nécessaire pour atteindre le seuil de rentabilité d'une telle plantation dans la région de Kinshasa. Ce qui signifie que le coût de la matière première pour produire un litre d'huile de *J. curcas* serait de 1,4 USD en comptant un taux d'extraction de 25%. Si on prend en compte des coûts d'extraction de 0,27 USD litre⁻¹ d'huile (Samodini *et al.*, 2012), de filtration et de transestérification de 0,15 USD litre⁻¹ (Ofori-Boateng et Lee, 2011), on atteint déjà un coût par litre de biodiesel supérieur au prix du litre de gasoil dans la région de Kinshasa qui est de 1,5 USD. Et ceci, sans compter les coûts de manutention, de transport et de commercialisation (y compris les taxes) du biodiesel produit. Ces derniers représentent selon les pays entre 0,3 et 0,5 USD par litre (Borman *et al.*, 2013).

Dans le contexte actuel de stagnation, voire de baisse des prix des hydrocarbures sur le marché mondial suite à l'augmentation de la production de gaz de schiste et au recours de plus en plus massif au charbon aux USA et en Chine, il est peu probable à court terme que les prix des graines de *J. curcas* augmentent sensiblement. En conséquence, la production de graines de *J. curcas* dans la région de Kinshasa s'avère être une entreprise risquée avec des perspectives de rentabilité faibles qui ne devraient se concrétiser qu'à long terme.

La rentabilité financière de la production de biodiesel de *Jatropha* n'est possible que dans des régions où les prix du carburant sur le marché sont élevés et le coût de la main-d'œuvre est faible (Borman *et al.* (2013).

Les cultures énergétiques telles que *Jatropha curcas* L., *Ricinus communis* L., *Moringa oleifera* L., etc. devraient assurer la chaîne de production de biocarburants selon les prescrits de la nouvelle politique nationale en matière d'approvisionnement énergétique en RDC (DigitalCongo.net, 2012). La sécurité alimentaire et la production agricole doivent cependant primer sur l'exploitation des biocarburants. Avec le prix actuel d'achat des graines de *J. curcas* tel que pratiqué en Afrique de

l'Ouest (0,125 USD kg⁻¹), nos résultats ont montré que la culture pure de *J. curcas* n'est pas rentable. Seule l'association de cette dernière avec des plantes vivrières permet d'éviter des pertes financières.

L'avant-projet de loi portant réglementation des biocarburants en RDC encourage la production de ces deniers surtout dans les zones rurales qui, paradoxalement, disposent des ressources nécessaires (terre, main d'oeuvre, etc.) à leur production, mais dont l'accès à l'énergie électrique ainsi qu'au service de transport reste très précaire (Ministère des Hydrocarbures, 2012).

Selon cet avant-projet, la culture des plantes énergétiques doit se faire sur des terres marginales (Ministère des Hydrocarbures, 2012). Dans le cas de *J. curcas*, nos résultats et ceux obtenus récemment dans différentes parties du monde, mettent en évidence les très faibles perspectives de rentabilité de cette spéculation dans des sols marginaux (Goswami *et al.*, 2011 ; Singh *et al.*, 2013). Au cas où des plantations de *J. curcas* seraient installées dans ce type de sol en association avec des cultures vivrières, il sera indispensable de trouver des solutions durables pour assurer une bonne gestion de la fertilité de ceux-ci.

Les résultats que nous avons obtenus peuvent être appliqués à la mise en place de plantations de *J. curcas* dans les zones enclavées de la RDC où seulement environ 1% de la population a accès à l'énergie électrique. Dans ces zones, le coût du diesel est élevé (3 à 5 USD litre⁻¹) et le coût de la main d'œuvre est généralement moins élevé que dans la région de Kinshasa (<2 USD homme-jour). Il est moins coûteux de transporter les 2 litres d'insecticides nécessaires à la production de 200 à 300 litres d'huile de *J. curcas* que de transporter des volumes équivalents en diesel.

VI.2. Conclusion et perspectives

L'objectif de notre recherche était le développement d'un agrosystème durable, tant au point de vue économique qu'environnemental, basé sur la culture de *J. curcas* et adapté aux conditions de la région de Kinshasa. Pour atteindre cet objectif, les performances technico-économiques d'une plantation pilote de *J. curcas* installée à proximité de la cité de Mbankana en décembre 2007 ont été évaluées et quatre essais ont été réalisés à partir de juillet 2009 dans deux sites représentatifs des conditions du Plateau des Batéké (Mbankana et Mongata) et à proximité de la rivière N'sele dans la banlieue de Kinshasa, en vue d'identifier les principales contraintes qui limitent la durabilité de la production de *J. curcas* et de proposer des solutions pour surmonter celles-ci.

Les principales contraintes à la culture de *J. curcas* dans la zone d'étude sont :

(i) La très forte pression des insectes ravageurs qui, dans l'état actuel des connaissances, rend impossible la production de *J. curcas* sans l'application d'insecticides car les pertes de rendement sont très élevées (entre 60 et 90%). Pendant la mise en place de *J. curcas* en saison pluvieuse (octobre à décembre) les attaques des grillons *Brachytrupes membranaceus* détruisent jusqu'à 40% des plants repiqués. Une fois la plantation installée, la chenille mineuse des feuilles *Stomphastis thraustica* et la chrysomèle *Aphthona* sp. consomment le limbe des feuilles et les bourgeons. A N'sele, en plus des attaques de la chrysomèle et de la chenille mineuse des feuilles, on observe la présence de punaises à bouclier *Calidea* sp. qui s'attaquent aux fleurs et aux capsules. Parmi les insectes ravageurs identifiés dans la zone d'étude, la chrysomèle est pour l'instant le plus dommageable. Si aucune maladie n'a été observée sur les plantes de *J. curcas* de nos essais, cela ne signifie pas qu'il en sera toujours ainsi. Il est également possible que le complexe parasitaire de la culture s'enrichisse de nouveaux insectes ravageurs comme la cochenille farineuse du manioc qui a été observée ponctuellement sur *J. curcas* dans la région.

(ii) L'absence de matériel de plantation amélioré permettant d'obtenir rapidement des rendements élevés. Contrairement à ce qui était annoncé dans la littérature concernat la culture de *J. curcas* en conditions tropicales humides, les résultats de nos travaux (emploi d'un matériel de plantation non-

sélectionné originaire de la province de Bandundu, RDC) ont montré que le temps nécessaire pour l'entrée en pleine production de *J. curcas* est supérieur à 5 ans. Il n'est pas possible de déterminer sur base de nos résultats le niveau exact de rendement en graines qui sera obtenu quand les plantes entreront en pleine production, mais nous pouvons déjà affirmer qu'après 4 ans de culture, les niveaux de rendement enregistrés par ha sont inférieurs aux 3 tonnes de graines sèches annoncées dans la littérature. Les rendements les plus élevés obtenus en 4^{ème} année de culture étaient de 1173 kg de graines sèches ha⁻¹ (avec 2 500 plants ha⁻¹ + engrais minéral + 2 traitements insecticides par an) dans le système où *J. curcas* était associé avec des cultures vivrières annuelles (haricot et maïs) en cultures pluviales (site de Mbankana), et de 1878 kg des graines sèches ha⁻¹ dans un périmètre irrigué où il était associé pendant toute l'année à la ciboule (site de N'sele) avec l'application d'engrais minéraux et de trois traitements insecticides par an.

Les rendements obtenus en 3^{ème} année de production pour les 11 écotypes originaires de six provinces de la RDC et cultivés dans un essai comparatif à Mbankana ont montré une très grande variabilité. Avec un seul traitement insecticide an⁻¹ appliqué au début de la grande saison des pluies, le rendement en graines sèches de l'écotype le plus performant (Panu: 473,1±3,6 kg ha⁻¹) était 7 fois plus élevé que celui de l'écotype le moins performant (Ilebo: 68,6±3,6 kg ha⁻¹). Ce qui laisse supposer que des gains de rendement pourraient être obtenus grâce à la mise en place de programmes d'amélioration.

(iii) Le très faible niveau de fertilité chimique des sols du Plateau des Batéké. Contrairement à ce qui était annoncé au début des années 2000 par les promoteurs de la culture de *J. curcas*, et par rapport à ce qui a été observé partout dans le monde, la production de *J. curcas* est très faible dans des sols pauvres en l'absence d'apport de fertilisants. La gestion de la fertilité du sol est particulièrement cruciale pour la production durable de *J. curcas* dans la région de Kinshasa dont les sols sont généralement très peu fertiles.

(iv) La concurrence exercée par les adventices *Digitaria sp.*, *Imperata cylindrica* (L.) P. Beauv., *Cynodon dactylon* L., etc. sur la culture de *J. curcas*. En culture pure de *J. curcas*, il faut faire 4 sarclages par an, en comptant 20 h.j ha⁻¹ par sarclage. En absence de désherbage, les jeunes plantes de *J. curcas* restent chétives et finissent par être étouffées par les mauvaises herbes.

(v) Les coûts très élevés de la main d'œuvre, des intrants et le manque de moyens de décortilage mécanique des capsules récoltées. L'importance de la main d'œuvre nécessaire pour les travaux de désherbage des plantations de *J. curcas* (80 h.j par ha et par an) et la réalisation des récoltes (20 kg de graines sèches collectées et décortiquées par h.j en cas de réalisation manuelle du décortilage), compromet fortement la rentabilité de la culture de *J. curcas*. Sur base des résultats obtenus en 4^{ème} année de culture pure à Mbankana (rendements de 753 kg ha⁻¹ de graines sèches sans engrais et de 1158 kg de graines sèches ha⁻¹ avec engrais), pour une rémunération de la main d'œuvre à 4 USD h.j⁻¹, un prix d'achat des graines de 0,125 USD kg⁻¹ (prix pratiqué en Afrique de l'Ouest) et l'application de deux traitements insecticides par an, la production de *J. curcas* se traduit par une perte annuelle de 578 USD ha⁻¹ sans engrais et de 818 USD ha⁻¹ avec engrais.

Afin d'augmenter le rendement en graines de *J. curcas*, nous avons testé plusieurs techniques de production. L'application de la taille, de la fertilisation minérale et de la couverture du sol avec *S. guianensis* permet d'améliorer significativement le rendement en graines de *J. curcas*. Une importante synergie a été observée en cas de mise en oeuvre simultanée de ces techniques. Il faut cependant noter que dans les deux essais impliquant l'application d'engrais minéraux, l'efficacité de ceux-ci n'a pas permis de compenser l'augmentation du coût de production liée à leur emploi. Dans les conditions du Plateau des Batéké, la réalisation d'une taille de formation au moment de la plantation et de tailles annuelles d'entretien permet d'augmenter le nombre de branches fructifères, d'inflorescences et de fruits. La mise en place du couvert permanent de *S. guianensis* permet de réduire l'évaporation du sol, d'apporter de l'azote, de diminuer le travail de désherbage et de constituer le paillis nécessaire à la réduction de l'avortement des capsules au début de la grande saison sèche (en juin).

La production de *J. curcas* en association avec des plantes annuelles (maïs, haricot, soja) présente un effet bénéfique au niveau agronomique en réduisant les dégâts causés par les insectes ravageurs, et au niveau économique en apportant des revenus complémentaires qui permettent de rentabiliser les temps de travaux consacrés au désherbage et à la collecte des capsules.

L'emploi de décortiqueuses mécaniques des capsules de *J. curcas* qui existent déjà dans d'autres parties du monde est indispensable pour espérer rendre la production de *J. curcas* rentable dans la région de Kinshasa. Selon les chiffres avancés dans la littérature, de telles machines devraient permettre de faire passer de 20 à 50 kg, la quantité de graines sèches collectées par h.j. Un tel gain de productivité risque cependant de ne pas être suffisant pour rentabiliser la culture de *J. curcas* si le prix d'achat des graines n'augmente pas sensiblement.

D'après nos calculs, seule la pratique de cultures associées permet d'atteindre des niveaux de rémunération suffisants du travail par h.j en considérant le prix d'achat moyen des graines de 0,125 USD kg⁻¹. Ainsi, la culture de *J. curcas* sur couvert permanent de *S. guianensis* en association avec des cultures vivrières annuelles est rentable. Il reste cependant à évaluer la durabilité des rendements obtenus sur le long terme dans les sols extrêmement pauvres du Plateau des Batéké. Ceci constitue une des conditions indispensables à la diffusion de la culture de *J. curcas* dans la région. De plus, l'association *J. curcas* – cultures vivrières annuelles n'a de sens que si la rentabilité de ce système est plus élevée que celle des plantes vivrières. Ce qui n'est pas le cas au prix d'achat des graines tel que pratiqué en Afrique de l'Ouest.

En conséquence, la production de graines de *J. curcas* à grande échelle dans la région de Kinshasa s'avère être une entreprise risquée avec des perspectives de rentabilité faibles qui ne devraient se concrétiser qu'à long terme, sous réserve du règlement de nombreux problèmes agronomiques et d'une augmentation sensible du prix d'achat des graines.

Dans les zones enclavées de la RDC, où le coût de la main d'œuvre est moindre et le prix du diesel est nettement plus élevé, la production de *J. curcas* peut cependant constituer une des solutions pour résoudre les problèmes d'accès aux carburants liquides nécessaires pour faire fonctionner des unités d'artisanat rural (moulins, scierie, menuiserie classique et métallique, atelier mécanique, pompes, ...), les moyens de transport motorisés et les tracteurs agricoles.

Des travaux de recherche complémentaires sont nécessaires pour assurer une production durable d'agrocarburants à partir de *J. curcas* dans la région de Kinshasa et ailleurs en RDC. Les résultats de

notre étude permettent d'identifier des axes prioritaires de recherche, les trois premiers étant considérés comme les plus importants:

- le développement de méthodes de lutte intégrée des bioagresseurs. Ceci passe par une évaluation des dégâts et symptômes causés par ces ennemis et leurs impacts sur la production dans diverses zones de production et par l'identification de la faune des auxiliaires de la culture.

- la mise en place d'un programme d'amélioration de *J. curcas* basé sur la précocité d'entrée en pleine production, le rendement en graines, la résistance aux contraintes abiotiques et biotiques, la facilité de récolte et la vitesse de maturation des fruits, la teneur en huile, etc. *Jatropha curcas* étant encore une plante subspontanée dans la plupart de zones où il pousse, une sélection rigoureuse du matériel génétique approprié est indispensable avant d'envisager des plantations à grande échelle.

- la gestion de la plante de couverture et l'optimisation des techniques de récolte et de décorticage des graines de *J. curcas*. Ces activités conditionnent la rentabilité de la culture de *J. curcas* une fois la plantation installée.

- La mise en place d'un protocole de taille de *J. curcas* en fonction des caractéristiques agro-écologiques, des écotypes cultivés et du niveau d'intensification de la production.

- Le test de la culture en mélange de *J. curcas* avec d'autres arbres ou arbustes (*Leucaena*, *Acacia*, *Albizzia*, *Erythrina*, *Terminalia*, etc.) et la détermination des performances de ces associations ainsi que des effets qu'elles induisent (concurrence vis-à-vis de *J. curcas*, impact sur les ravageurs et maladies, infiltration de l'eau, contrôle de l'érosion, brise-vent, etc.) dans les différentes zones agro-écologiques.

- L'évaluation de l'impact environnemental de la culture de *J. curcas* dans diverses conditions agro-écologiques de la RDC en rapport avec la séquestration du carbone, les émissions de gaz à effet de serre, la protection de la biodiversité, la lutte anti-érosive, la pollution des eaux et du sol, etc.

Références bibliographiques

Achten W.M.J., Verchot L., Franken YJ., Mathijs E., Singh V.P., Aerts R. & Muys B., 2008. *Jatropha* bio-diesel production and use. *Biomass and Bioenergy*, 32, 1063-1084.

Akbarian M.M., Modafebehzadi N. & Bagheripour M.A., 2010. Study of fertilizer (NPK) effects on yield and triglycerids in *Jatropha* (*Jatropha curcas*). *Plant Ecophysiology*, 2, 169-172.

- Barbier J., Cissao M., Cissé C., Loch F., Grand C. & Mergeai G., 2012. *Intérêts de mettre en place une filière courte basée sur la culture du Jatropha (Jatropha curcas L.) dans la Communauté Rurale de Dialacoto Sénégal*. Document de synthèse de recherche. <http://orbi.ulg.ac.be/bitstream/2268/130282/1/20120703%20document%20synth%C3%A8se%20jatropha%20vf.pdf>, (26/10/2013).
- Biabani A., Rafii M.Y, Saleh G.B., Shabanimofrad M. & Latif Md.A., 2012. Phenotypic and genetic variation of *Jatropha curcas* L. populations from different countries. *Maydica*, 57, 164-174.
- Borman G. D., von Maltitz G. P., Sunandan Tiwari S. & Scholes M. C., 2013. Modelling the economic returns to labour for *Jatropha* cultivation in southern Africa and India at different local fuel prices. *Biomass and Bioenergy*, 59: 70-83
- Cassimo A.C., João E.C.B., Coelho J.P. & Santos L., 2011. Evaluation of insecticide doses for the control of jatropha leaf beetle and jatropha leaf miner in Mozambique. *African Crop Science Conference Proceedings*, 10, 187-190.
- DigitalCongo.net, 2012. *Hydrocarbures en Rdc : les actions avancent à pas de géants*. Kinshasa, 05/09/2012 / Politique.
- Divakara B.N, Upadhyaya H.D., Wani S.P. & Laxmipathi Gowda C.L., 2010. Biology and genetic improvement of *Jatropha curcas* L.: A review. *Applied Energy*, 87, 732-742.
- Dugué P. & Gigou J., 2002. Gestion de la fertilité du sol. In *Memento de l'Agronome*, CIRAD-GRET, Ministères des Affaires étrangères, France, p. 601-641.
- de Souza A. C., Ribeiro R. P., Dourado Jacinto J. T., Rodrigues Cintra A. D. A, Amaral R. S., A Santos A. C. & Matos F. S., 2013. Intercropping of physic nut and bean: alternative to family farm. *Dourados*, 6, 9, 36-42.
- Endelevu Energy, World Agroforestry Centre & Kenya Forestry Research Institute, 2009. *Jatropha Reality Check: A field assessment of the agronomic and economic viability of Jatropha and other oilseed crops in Kenya*. Report GTZ–Regional Energy Advisory Platform, Nairobi, 158 p. <http://www.worldagroforestry.org/downloads/publications/PDFs/B16599.PDF>, (27/10/2012).

- Everson C.S., Mengistu M.G. & Gush M.B., 2012. A field assessment of the agronomic performance and water use of *Jatropha curcas* in South Africa. *Biomass and Bioenergy*, xxx, I-II. doi :10.1016/j.biombioe.2012.03.013.
- Ghosh A., Chikara J. & Chaudhary D.R., 2011. Diminution of economic yield as affected by pruning and chemical manipulation of *Jatropha curcas* L. *Biomass and Bioenergy*, 35, 1021-1029. doi:10.1016/j.biombioe.2010.11.019.
- Goswami K., Saikia J. & Choudhury H.K., 2011. Economic Benefits and Costs of *Jatropha* Plantation in North-East India. *Agricultural Economics Research Review*, 24, 99-108.
- Gour V.K., 2006. Production practices including post-harvest management of *Jatropha curcas*, in: *Proceedings of the biodiesel conference toward energy independence. Focus of Jatropha*, Hyderabad, India, June 9-10, pp. 223-251.
- Grimm C., 1996. Utilization of a life table to quantify damages caused by insects on *Jatropha curcas* (Euphorbiaceae) fruits. *Manejo Integ. Plagas*, 42, 23-30.
- Grimm C. & Guharay F., 1998. Control of leaf-footed bug *Leptoglossus zonatus* and shield-backed bug *Pachycoris klugii* with entomopathogenic fungi. *Biocontrol Sci. Techn.*, 8, 3, 365-376.
- Iiyama M., Newman D., Munster C., Nyabenge M., Sileshi G.W., Moraa V. et al., 2013. Productivity of *Jatropha curcas* under smallholder farm conditions in Kenya. *Agroforest Syst.*, 87, 729-746. DOI 10.1007/s10457-012-9592-7.
- Jongschaap, R.E.E., Corré, W.J., Bindraban, P.S. & Brandenburg, W.A., 2007. *Claims and Facts on Jatropha curcas* L. Wageningen, Plant Research International.
- Kesava Rao A.V.R., Wani S.P, Singh P., Srinivas K. & Srinivasa Rao Ch.,2012. Water requirement and use by *Jatropha curcas* in a semi-arid tropical location. *Biomass and Bioenergy*, 39, 175-181.
- King A.J., He W., Cuevas J.A., Freudenberger M., Ramiaramananana D. & Graham I.A., 2009. Potential of *Jatropha curcas* as source of renewable oil and animal feed. *Journal Exp. Enviorn. Botany*, 60, 10, 2897-2905.
- Kwetché Sop T., Wenemi Kagambega F., Bellefontaine R., Schmiedel U. & Thiombiano A., 2012. Effects of organic amendment on early growth performance of *Jatropha curcas* L. on a severely degraded site in the Sub-Sahel of Burkina Faso. *Agroforest Syst.*, 86, 387-399.

- Les Amis de la terre, 2010. *Afrique : terre(s) de toutes les convoitises, Ampleur et conséquences de l'accaparement des terres pour produire des agrocarburants*. Rapport, 36 p.
- Li Z., Lin B.-I., Zhao X., Sagisaka M. & Shibasaki R., 2010. System approach for evaluating the potential yield and plantation of *Jatropha curcas* L. on a global scale. *Environmental Science and Technology*, 44, 2204-2209.
- Minengu J.D.D., Mobambo P. & Mergeai G., 2013a. Analyse des performances technico-économiques de quatre systèmes de culture basés sur la production de *Jatropha curcas* L. dans la région de Kinshasa (République Démocratique du Congo). *Tropicultura*, In press.
- Minengu J.D.D, Verheggen F. & Mergeai G., 2013b. Dynamique et impact des principaux insectes ravageurs de *Jatropha curcas* L. dans deux systèmes de culture aux caractéristiques contrastées de la province de Kinshasa (République Démocratique du Congo). *Tropicultura*, In press.
- Ministère des Hydrocarbures, RDC, 2012. Avant-projet de loi n°...portant réglementation des Biocarburants en RDC, 12 p.
- Mohapatra S. & Panda P.K., 2011. Effects of Fertilizer Application on Growth and Yield of *Jatropha curcas* L. in an Aerobic Tropaeophyte of Eastern India. *Not. Sci. Biol.*, 3, 1, 95-100.
- Muzondiwa Jingura R., 2012. Socio-Economy, Agro-Ecological Zones, Agronomic Practices and Farming System of *Jatropha curcas* L. in Sub-Saharan Africa. In: *Jatropha, Challenges for a New Energy Crop: Volume 1: Farming, Economics and Biofuel* Eds: N. Carels et al. Science+Business Media, New York, pp. 53-69.
- Nahar K. & Ozores-Hampton M., 2011. *Jatropha: An Alternative Substitute to Fossil Fuel*. University of Florida. 10 p. <http://edis.ifas.ufl.edu/pdf/HS/HS119300.pdf>.
- Natha S.A. & Olmi M., 2011. Two parasitoids of *Stomphastis thraustica* (Meyrick) (Lepidoptera, Gracillariidae) found for the first time in Mozambique: *Notanisomorphella borborica* (Giard) and *Apleurotropis lamellata* (Kerrich) (Hymenoptera Eulophidae). *Frustula Entomologica*, 33, 70-75.
- Nsombo Mosombo B., 2005. Utilisation actuelle des terres dans le rayon du centre d'appui au développement intégré de Mbankana au plateau des Batéké, Mémoire de DESS en Aménagement et Gestion Intégrés des Forêts et Territoires Tropicaux, ERAIFT, Université de Kinshasa.

- Ofori-Boateng C. & Lee Keat T., 2011. Feasibility of *Jatropha* oil for biodiesel: Economic Analysis. World Renewable Energy Congress 2011-Sweden, 8-13 May 2011. Linköping, Sweden. *Bioenergy Technogy* (BE), p. 463-470.
- Patolia J., Ghosh A., Chikara J., Chaudhary D.R., Parmar D.R. & Bhuva H.M., 2007. Response of *Jatropha curcas* grown on wasteland to N and P fertilization. In *Expert Seminar on Jatropha curcas L. Agronomy and Genetics*, Wageningen, Netherlands.
- Rajaona A.M., Brueck H. & Asch F., 2011. Effect of pruning history on growth and dry mass partitioning of *Jatropha* on a plantation site in Madagascar. *Biomass and Bioenergy*, 35, 4892-4900.
- Ranga Rao G.V., Marimuttu S., Suhas P W. & Rameshwar V. Rao. 2010. *Insects pests of Jatropha curcas L. and their management*. Information bulletin. Patancheru, A.P. 502 324, India: International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics. 24 pages.
- Reddy K.C. & Vishal V. Naole, 2009. Enhancing *Jatropha curcas* Productivity by Canopy Management. *Nature Precedings*. doi:10.1038/npre.2009.3700.1
- Reubens B., Achten W.M.J., Maes W.H., Danjon F., Aerts R., Poesen J. & Muys B., 2011. More than biofuel? *Jatropha curcas* root system symmetry and potential for soil erosion control. *Journal of Arid Environments*, 75, 2, 201-205.
- Rocha P. R. R., Silva A.F., Faria A.T., Galon L., Ferreira E.A., Felipe R.S. *et al.*, 2010. Selectivity of Pre-Emergence Herbicides to Physic Nut (*Jatropha curcas* L.). *Planta daninha* 28, 801–806.
- Sahai K., Srivastava V. & Kumar R. K., 2011. Impact assessment of fruit predation by *Scutellera perplexa* Westwood on the reproductive allocation of *Jatropha*. *Biomass and Bioenergy*, 4684-4689.
- Samodini S.N., Gadge S.R., Dubey A.K. & Kadu B.D., 2012. Economics of biodiesel production from *Jatropha* oil. *Journal of Agricultural Technology*, 8, 2, 657-662.
- Singh B., Singh K., Rejeshwar Rao G. , Chikara J., Kumar D., Mishra D.K., Saikia S.P., Pathre U.V., Raghuvanshi N., Rahi T.S. & Tuli R., 2013. Agro-technology of *Jatropha curcas* for diverse environmental conditions in India. *Biomass and Bioenergy*, 48, 191-202.

- Srivastava P., Behera S. K., Gupta J., Jamil S., Singh N. & Sharma Y. K., 2011. Growth performance, variability in yield traits and oil content of selected accessions of *Jatropha curcas* L. growing in a large scale plantation site. *Biomass and Bioenergy*, 35, 3936-3942.
- Sunil N., Varaprasad K.S., Sivaraj N., Suresh Kumar T., Babu Abraham & Prasad R.B.N., 2008. Assessing *Jatropha curcas* L. germplasm in-situ-A case study. *Biomass and Bioenergy*, 32, 198-202
- Terren M., Saverys S., Jacquet de Haveskercke P., Winandy S. & Mergeai G., 2012a. Attempted Cultivation of *Jatropha curcas* L. in the Lower Senegal River Valley: Story of a Failure. *Tropicultura*, 30, 4, 204-208.
- Terren M., Mignon J., Declerck C., Jijakli H., Savery S., Jacquet de Haveskercke P., Winandy S. & Mergeai G., 2012b. Principal Disease and Insect Pests of *Jatropha curcas* L. in the Lower Valley of the Senegal River. *Tropicultura*, 30, 4, 222-229.
- Trabucco A., Achten W. M. J., Bowe C., Aerts R., Van Orshoven J., Norgrove L. & Muys B., 2010. Global mapping of *Jatropha curcas* yield based on response of fitness to present and future climate. *Global Change Biol. Bioenergy*, 2, 3, 139-151.
- Wahl N., Hildebrandt T., Moser C., Lüdeke-Freund F., Averdunk K., Bailis R., *et al.*, 2012. *Insights Into Jatropha Projects Worldwide*. Key Facts & Figures from a Global Survey, Report, 72 p.