

Adaptation écologique et modélisation du rendement du *Jatropha curcas* L. en fonction des caractéristiques morphologiques le long d'un gradient climatique

D. S. J. C. GBEMAVO¹, K. GANDJI¹, P. C. GNANGLE^{1,2}, A. E. ASSOGBAJO^{1,3}, N. SOKPON⁴,
R. L. GLELE KAKAI¹

¹Laboratoire de Biomathématiques et d'Estimations Forestières (LABEF), Faculté des Sciences Agronomiques (FSA), Université d'Abomey-Calavi, Cotonou, Bénin. Email : cgbemavo@yahoo.fr

²Laboratoire des Science des Sols, Eau et Environnement (LSSE), Institut National des Recherches Agricoles du Bénin (INRAB), Cotonou, Bénin.

³Laboratoire d'Ecologie Appliquée (LEA), Faculté des Sciences Agronomiques (FSA), Université d'Abomey-Calavi, Cotonou, Bénin.

⁴Faculté d'Agronomie (FA), Laboratoire d'Etudes et de Recherches Forestières (LERF), Université de Parakou, Parakou. Bénin

Soumis le : 12 / 09 / 2014

Accepté le : 02 / 01 / 2016

RESUME

L'adaptation écologique des arbustes de *J. curcas* a été évaluée. Les objectifs visés sont : (i) d'analyser l'impact de la variabilité des paramètres climatiques sur *J. curcas*, (ii) d'établir une équation de prédiction du rendement en graines de l'espèce en fonction des paramètres morphologiques. Au total, les mesures morphologiques ont été effectuées sur 199 individus et la quantification du rendement a été faite sur un total de 60 arbustes de l'espèce. Une Analyse en composantes principales (ACP) a été réalisée sur les variables morphologiques, et les deux premières composantes sont mises en relation avec les paramètres climatiques. Une équation de régression exprimant le rendement en graines en fonction des paramètres morphologiques a été établie. Les résultats ont montré que la pluviométrie et l'humidité relative ont un impact positif sur la largeur, le poids et la forme des fruits et des graines, tandis que la température a un impact négatif sur les mêmes paramètres. Selon le modèle prédictif du rendement en graines, seuls le nombre de branches tertiaires et la hauteur totale expliquent la moitié de la variation du rendement en graines des arbustes de *J. curcas*. La culture de *J. curcas* nécessite le choix des morphotypes adaptés aux variabilités climatiques.

Mots clés : *Jatropha curcas*, production, zones climatiques, morphologie, Bénin.

ABSTRACT

ECOLOGICAL ADAPTATION AND YIELD MODELLING OF JATROPHA CURCAS L. IN FUNCTION OF MORPHOLOGICAL CHARACTERISTICS OF PLANTS ALONG CLIMATIC GRADIENT

The ecological adaptation of *J. curcas* trees was assessed. The objectives are : (i) to analyze the impact of climate parameters variability on *J. curcas* trees, (ii) to establish an equation for predicting seeds yield of *J. curcas* trees based on morphological parameters. Morphological and production data were recorded on 199 and 60 *J. curcas* trees, respectively. A Principal Component Analysis (PCA) was performed on morphological variables and the first two components were related to climatic parameters. A regression equation expressing the seeds yield based on morphological parameters was established. Results showed that the rainfall and relative humidity have a positive impact on the width, weight and shape of fruits and seeds, while the temperature has a negative impact on the same parameters. According to the predictive model of seeds yield, only the number of tertiary branches and total plant height explained half of the variation in seeds yield. *J. curcas* cultivation requires the choice of morphotypes adapted to climate variability.

Keywords : *Jatropha curcas*, production, climatic zones, morphology, Benin.

INTRODUCTION

Le réchauffement planétaire occasionné par les gaz à effet de serre se manifeste de plus en plus par ses effets néfastes sur le milieu de vie humain. L'une des conséquences directes de ce phénomène en Afrique de l'Ouest et au Bénin, en particulier, est la forte variabilité aussi bien temporelle que spatiale du climat (précipitations, température et humidité relative) dans un passé récent (Gnanglè *et al.*, 2011). Cette variabilité climatique a un impact sur l'agriculture (Mozny *et al.*, 2009). Cette situation a mis l'attention sur de nouvelles filières agricoles capables d'améliorer le revenu des paysans dont celle de *Jatropha curcas* L. (Mbaye, 2011). *J. curcas* est un arbuste de la famille des *Euphorbiaceae* originaire de l'Amérique Centrale. Il a été introduit par les commerçants Portugais comme précieuse plante de haie via l'île du Cap-vert vers les pays d'Afrique (Henning, 2008). Au Bénin, *J. curcas* est retrouvé sur toute l'étendue du territoire national (Assogbadjo *et al.*, 2009). L'importance socio-économique de la plante réside dans la capacité de la graine à produire une huile facilement convertible en biodiesel (Francis *et al.*, 2005). Il constitue une alternative au carburant fossile dans le contexte actuel de crise des combustibles fossiles accompagnée par un nombre de plus en plus élevé de voitures (Prasad *et al.*, 2000). De ce fait, la culture de *J. curcas* est considérée dans plusieurs régions du monde comme un moyen de croissance économique, de développement social et de réduction de la pauvreté des petits producteurs.

J. curcas est intégré aux différentes zones climatiques du Bénin. Une variabilité des descripteurs morphologiques de l'espèce est observée entre ces zones climatiques (Gbemavo *et al.*, 2014). En effet, certaines espèces comme *Vitellaria paradoxa* s'adaptent à des conditions écologiques spécifiques (Glèlè Kakaï *et al.*, 2011). Des tendances possible d'apparition des traits clés des plantes, le long des gradients climatiques sont aussi observées (Meng *et al.*, 2009). Dans le contexte actuel du changement climatique, la variabilité du climat, dans les trois zones climatiques du Bénin, est caractérisée par une augmentation significative de la température moyenne (plus de 1°C), ainsi qu'une diminution

perceptible de la pluviométrie (-5,5 mm/an en moyenne) et du nombre moyen annuel de jours de pluie (Gnanglè *et al.*, 2011). Pour une culture durable de *J. curcas*, il est alors nécessaire d'analyser l'impact actuel de la variabilité spatiale du climat sur la morphologie et la production de l'espèce. Cela peut aider à prédire la morphologie et la production de l'espèce face à des changements futurs du climat. Une importante variation du rendement en graines des plants de *J. curcas* est peut-être sous le contrôle des paramètres morphologiques des plants. L'établissement de l'équation de régression entre le rendement en graines des plants de *J. curcas* et les paramètres morphologiques des plants peut permettre l'identification des paramètres morphologiques des plants de *J. curcas* qui expliquent la variation de son rendement. Ces informations sont indispensables pour améliorer le rendement en graines de la plante et proposer des techniques d'adaptation de la plante pour un bon rendement face à la variabilité climatique. L'établissement de l'équation de régression est une forme de modélisation dite empirique et a été préférée à celle mécaniste. En effet, les modèles mécanistes qui prédisent la croissance des plantes, l'utilisation de l'eau et leur rendement sont utilisés pour comprendre la réponse des cultures à la dynamique des systèmes climat-plante-eau, pour évaluer les traits physiologiques afin d'améliorer le potentiel génétique et favoriser la prise de décisions qui optimisent l'utilisation des ressources disponibles (Boote *et al.*, 1996 ; Sinclair et Seligman, 1996). En plus que ces modèles visent des objectifs différents, sont à base de processus (connaissances des mécanismes bio-physico-chimiques) tandis que celles empiriques sont à bases d'observation. La présente étude est réalisée dans le but de contribuer à la culture de *J. curcas* en vue de la valorisation de son potentiel commercial au Bénin à travers l'analyse de son adaptation écologique et la modélisation de son rendement en graines en fonction des paramètres morphologiques. Les objectifs spécifiques sont : (i) décrire et tester les liens entre les paramètres morphologiques, de production de *J. curcas* et les paramètres climatiques des trois zones climatiques, (ii) modéliser la relation entre le rendement

en graines des plants de *J. curcas* et les paramètres morphologiques des plants. Les hypothèses de recherche sont : (i) le rendement en graines des arbustes de *J. curcas* augmente avec l'aridité du milieu, (ii) la morphologie des arbustes de *J. curcas* est déterminée par les conditions environnementales (climat, sol, végétation), (iii) le rendement en graines des plants de *J. curcas* est déterminée par les paramètres du tronc (diamètre, hauteur) et l'houpier (nombre de branches primaire, secondaire et tertiaire) de l'espèce.

MATERIEL ET METHODES

MILIEU D'ETUDE

Cette étude a été réalisée dans les trois zones climatiques (zone soudanienne, zone de transition soudano-guinéenne, zone guinéenne) du Bénin (Figure 1), représentant l'aire de distribution géographique de *J. curcas*. Dans chaque zone climatique, les travaux ont été conduits dans deux communes (Les communes d'études ont été considérées comme des populations de *J. curcas*). Les paramètres climatiques de chacune de ces communes sur une période de 30 ans (Tableau 1) montrent une diminution progressive de la sécheresse depuis la commune de Malanville (dans le soudanien) jusqu'à la commune d'Allada (dans le guinéen). Les communes de Malanville et de Kandi se situent dans le district phytogéographique Borgou-nord, tandis que les communes de Tchaourou et de Ouèssè se situent dans le district phytogéographique Borgou-sud. Ces deux districts phytogéographiques sont caractérisés par un sol ferrugineux sur roche

cristalline et une végétation à dominance de forêts sèches, de jachères et de forêts riveraines. Les communes d'Allada et de Tori-Bossito se situent dans le district phytogéographique du plateau qui est caractérisé par un sol ferrallitique sans concrétions avec une végétation à dominance de forêt semi décidue (Figure 1).

ECHANTILLONNAGE ET COLLECTE DES DONNEES

Afin d'analyser l'adaptation écologique de *J. curcas* le long du gradient climatique, des données morphologiques sur la plante et climatiques de chaque commune (Malanville, Kandi, Tchaourou, Ouèssè, Allada, Tori-Bossito) d'étude ont été collectées. Dans chaque commune retenue (populations de *J. curcas*) suivant le gradient climatique, au moins trente individus de l'espèce (Graudal, 1998) espacés d'au moins 20 mètres les uns des autres (Kouyaté, 2005) ont été choisis au hasard pour la collecte des données morphologiques. Les descripteurs morphologiques retenus (Tableau 2) sont ceux qui discriminent les populations de *J. curcas* au Bénin (Gbemavo *et al.*, 2014). Au total, les mesures morphologiques ont été collectées sur 199 individus de l'espèce. Chaque individu choisi a été géographiquement référencé à l'aide d'un Global Positioning System (GPS). Les données climatiques de chaque commune d'étude collectées dans les stations météorologiques de l'Agence pour la Sécurité et de la Navigation Aérienne de l'Afrique et de Madagascar (ASECNA) sont relatives à la pluviométrie, la température et l'humidité relative.



Figure 1 : Milieu d'étude et répartition des districts phytogéographiques.
Environment study and phytodistricts distribution.

Tableau 1 : Données climatiques des six régions d'étude.*Climatic data of the six study areas.*

Zones climatiques (White, 1983)	Communes d'étude	Pluviométrie moyenne (mm)	Température moyenne (°C)	Humidité Relative Moyenne (%)
Soudanienne	Malanville	881,89	28,24	53,40
	Kandi	975,39	28,24	53,40
Soudano-guinéenne	Tchaourou	1046,52	27,68	69,17
	Ouèssè	1026,58	27,68	69,17
Guinéenne	Toribossito	1039,01	27,59	92,51
	Allada	1039,01	27,59	92,51

Tableau 2 : Descripteurs morphologiques discriminants de *J. curcas*.*Morphological discriminating descriptors of J. curcas.*

Niveau de description	Descripteurs morphologiques	Instrument
Tronc	Diamètre au collet* (cm)	Ruban-mètre
Feuilles	Longueur des feuilles (cm)	Règle graduée de 90 cm
	Longueur (cm)	Règle graduée en cm
Fruits	Largeur (cm)	Règle graduée en cm
	Poids du fruit (g)	Peson électronique
	Rapport longueur/largeur fruit	-
	Longueur (cm)	Règle graduée en cm
Graines	Largeur (cm)	Règle graduée en cm
	Poids de la graine (g)	Peson électronique
	Rapport longueur/largeur graine	-

* : Mesuré par le biais de la circonférence au collet *: *Measured by the basal circumference.*

La modélisation du rendement de *J. curcas* a été réalisée à partir de la détermination du rendement des pieds de *J. curcas*. A cet effet, dans chaque commune d'étude, dix individus de *J. curcas* en pleine production ont été identifiés et géoréférencés avec le GPS. Sur chaque individu, les mesures ont porté sur les descripteurs du tronc et du houppier (diamètre au collet (cm), hauteur totale (m), hauteur à la première ramification (m), nombre de branches primaires, nombre de branches secondaires, nombre de branches tertiaires). Au total, soixante pieds de l'espèce ont été utilisés pour la quantification de la production graine. Pour évaluer la production en graines par pied de *J. curcas*, toutes les capsules de chaque pied-échantillon ont été systématiquement récoltées et comptées. Le nombre total de graines par pied a été estimé à partir de

la relation (1) :

$$NG = NC \times 3 \quad (1)$$

NG = Nombre de graines ; NC = Nombre de capsules ; 3 représente le nombre moyen de graines par capsule (Observation sur le terrain). Le rendement en graines par pied a été ensuite déterminé à partir de la relation (2) :

$$R(\text{g/pied}) = NG \times PMG \quad (2)$$

R(g/pied) = rendement en graines exprimé en gramme ; PMG = Poids moyen d'une graine dans la localité exprimé en gramme obtenu à partir du poids des lots de 100 graines. Le poids des lots de 100 graines de chaque localité a été déterminé au laboratoire au moyen d'un peson électronique de marque Mettler et de précision 0,1 g.

TRAITEMENT STATISTIQUE DES DONNEES

Des analyses de variance et des tests de Tukey ont permis de comparer au seuil de 5 % les moyennes des différentes variables morphologiques retenues mais aussi les rendements en graines suivant les trois zones climatiques explorées. Avant de procéder à ces différentes analyses, le test de normalité de Shapiro-Wilk a été effectué pour vérifier la normalité des résidus et le test de Levene pour vérifier l'homogénéité des variances.

Pour analyser l'impact des paramètres climatiques sur la morphologie des individus de *J. curcas*, une Analyse en Composantes Principales (ACP) a été effectuée sur les paramètres morphologiques. Les deux premières composantes représentant 65 % environ de l'information totale ont été ensuite corrélées avec chacun des paramètres climatiques en utilisant le coefficient de corrélation de Pearson au moyen du logiciel SAS version 9.2.

Par ailleurs, une Analyse en Composantes Principales (ACP) a été réalisée sur les variables morphologiques du tronc et du houppier afin de les regrouper en composantes principales, les quelles ont été corrélées avec le rendement en graines au moyen du coefficient de Pearson. Ensuite, une régression linéaire multiple a été effectuée afin d'établir l'équation de prédiction du rendement en graines de *J. curcas* à partir des paramètres morphologiques retenus après la corrélation. Le premier modèle établi a révélé une faible valeur du coefficient de détermination (R^2) avec une violation des conditions

d'application de la régression notamment l'homogénéité et la normalité des résidus de régression. Une transformation de Box et Cox de la variable dépendante et des variables indépendantes a été donc effectuée (Box et Cox, 1964) afin de trouver un modèle mieux adapté aux données, qui présente un fort pouvoir prédictif et respecte les conditions d'application de la régression.

RESULTATS

CARACTERES MORPHOLOGIQUES DE *J. CURCAS* LE LONG DU GRADIENT CLIMATIQUE

Il n'existe pas une différence significative ($P > 0,05$) de la longueur des feuilles et du rendement en graines des arbustes de *J. curcas* entre zones climatiques, mais la différence est très hautement significative ($P < 0,001$) en ce qui concerne le diamètre au collet, la longueur, la largeur et le poids du fruit (capsule), la longueur, la largeur et le poids de la graine, et les rapports longueur/ largeur des fruits et des graines (Tableau 3). Le diamètre moyen au collet des arbustes est plus élevé dans la zone de transition soudano-guinéenne tandis que la longueur moyenne des feuilles est plus élevée dans la zone soudanienne. La longueur, la largeur et le poids du fruit (capsule) d'une part, la longueur, la largeur et le poids de la graine d'autre part sont en moyenne plus élevés en zone guinéenne. Le rendement moyen en graines des arbustes de *J. curcas* est plus élevé dans la zone soudanienne.

Tableau 3 : Comparaison des zones climatiques : moyenne (m) et erreur type (se) des paramètres morphologiques, morphométriques, de production et valeur de la Probabilité (P) de l'analyse de variance.

Les moyennes suivies de la même lettre sur la même ligne ne sont pas significativement différentes au seuil de 5 % (Test de Tukey). ns = non significatif ; *Significatif au seuil de 5 % ; **Significatif au seuil de 1 % ; ***Significatif au seuil de 0,1 %.

*Comparison of climatic zones : mean (m) and standard error (se) of morphological, morphometric, production parameters and value of Probability (P) of analysis of variance. means followed by the same letter on the same line are not significantly different at the 5 % level (Tukey test). ns = not significant; * Significant at 5 %; ** Significant at 1%; *** Significant at 0.1 %.*

Paramètres	Gradient climatique Sud-Nord Bénin						Probabilité
	Zone guinéenne		Zone soudano-guinéenne		Zone soudanienne		
	m	se	m	se	m	se	
Diamètre au collet-Dc (cm)	9,20 c	0,41	17,72 a	0,71	14,70 b	0,80	0,00***
Longueur-feuille (cm)	22,29 a	0,24	22,36 a	0,24	23,04 a	0,48	0,27 ns
Longueur-fruit (cm)	3,15 a	0,02	2,94 c	0,01	3,03 b	0,01	0,00***
Largeur-fruit (cm)	2,61 a	0,01	2,50 b	0,01	2,28 c	0,01	0,00***
Poids-fruit (g)	4,49 a	0,01	3,95 b	0,01	3,64 c	0,01	0,00***
Rapport longueur/largeur-fruit	1,21 b	0,01	1,18 b	0,01	1,33 a	0,01	0,00***
Longueur-graine (cm)	1,91 a	0,002	1,85 b	0,003	1,84 b	0,01	0,00***
Largeur-graine (cm)	1,20 a	0,003	1,12 b	0,002	0,99 c	0,005	0,00***
Poids-graine (g)	0,82 a	0,001	0,67 b	0,002	0,68 b	0,01	0,00***
Rapport longueur/largeur-graine	1,59 c	0,004	1,64 b	0,002	1,86 a	0,01	0,00***
Rendement graine (g)	557,2	73,16	564,8	73,16	723,5	73,16	0,20 ns
	(Dc moyen = 10,63)		(Dc moyen = 16,45)		(Dc moyen = 15,93)		

VARIABILITE MORPHOLOGIQUE DE *J. CURCAS* LE LONG DU GRADIENT CLIMATIQUE

Les résultats de l'ACP réalisée sur les dix paramètres morphologiques (retenus après sélection des variables) des six communes indiquent que les deux premières composantes principales concentrent 64,82 % des informations de départ, ce qui est suffisant pour garantir une précision d'interprétation (Pourcentage cumulée supérieur à 50 %). L'axe 1 est fortement corrélé positivement avec la largeur, le poids des fruits et des graines et négativement avec le rapport longueur/largeur des fruits et des graines. Cet axe caractérise donc la morphologie et le poids. L'axe 2 est fortement corrélé avec la longueur et le rapport longueur/largeur des fruits et caractérise l'allongement des fruits (Tableau 4).

Les corrélations (de Pearson) entre la première composante principale et les paramètres climatiques révèlent que la pluviométrie et l'humidité relative ont un impact positif significatif sur la largeur, le poids et la forme des fruits et des graines, tandis que la température a un impact négatif significatif sur les mêmes paramètres (Tableau 5). Les corrélations entre la deuxième composante principale et les paramètres climatiques révèlent que l'humidité relative a un impact positif significatif sur la longueur et le rapport longueur/largeur des fruits (Tableau 5).

Ainsi, au fur et à mesure que la pluviométrie et l'humidité relative augmentent et la température diminue lorsqu'on quitte le soudanien pour le guinéen, les fruits et les graines augmentent en largeur et prennent du poids tout en changeant de forme en prenant plus un aspect arrondi. C'est l'adaptation morphologique contraire qui

Tableau 4 : Corrélation entre les variables et les composantes principales.
Correlation between variables and principal components.

Variables	Axe 1	Axe 2
Diamètre au collet	-0,36	-0,46
Longueur-feuille	0,03	-0,11
Longueur-fruit	0,29	0,85
Largeur-fruit	0,86	-0,32
Poids-fruit	0,95	0,13
Rapport longueur/largeur-fruit	-0,55	0,77
Longueur-graine	0,48	0,09
Largeur-graine	0,93	-0,06
Poids-graine	0,73	0,42
Rapport longueur/largeur-graine	-0,85	0,15

Tableau 5 : Corrélation entre les composantes principales des paramètres morphologiques et les paramètres climatiques.

Correlation between the main components of morphological parameters and climatic parameters.

Paramètres climatiques	Axe 1	Axe 2
Pluviométrie	0,19**	-0,01
Température	-0,46***	0,07
Humidité Relative	0,95***	0,14*

*Significatif au seuil de 5 % ; **Significatif au seuil de 1 % ; ***Significatif au seuil de 0,1 %.
* Significant at 5%; ** Significant at 1%; Significant at *** 0.1%.

s'observe au fur et à mesure que la pluviométrie et l'humidité relative diminuent et la température augmente. Au fur et à mesure que l'humidité à elle seule augmente les fruits augmentent en longueur en gardant leur forme ellipsoïdale. Les paramètres climatiques (pluviométrie, température et humidité) n'impactent pas la morphologie du tronc, du houppier et des feuilles de *J. curcas*.

MODELISATION DU RENDEMENT EN GRAINES DE *J. CURCAS*

Les résultats obtenus de l'ACP réalisée sur les paramètres morphologiques du tronc et du houppier (Figure 2) indiquent que les deux premières composantes principales concentrent 64,04 % des informations de départ, ce qui est

suffisant pour garantir une précision d'interprétation (Pourcentage cumulé supérieur à 50 %).

La corrélation de Pearson entre les composantes principales et le rendement en graines révèle que le rendement en graines est uniquement corrélé avec la première composante principale avec un coefficient de corrélation de 0,47 et une probabilité $P = 0,0001$. Il existe donc une relation linéaire qui lie le rendement en graines au diamètre au collet, aux nombres de branches primaires, secondaires et tertiaires et à la hauteur totale, mais pas à la hauteur à la première ramification.

L'analyse des résultats de la régression montre que le modèle de prédiction du rendement en graines en fonction des variables

morphologiques s'ajuste à une fonction puissance et que le modèle est globalement significatif. Ceci signifie qu'au moins une des variables explique relativement mieux le rendement en graines. Le test individuel effectué sur les variables indépendantes révèle que seuls les coefficients des variables nombre de branches tertiaires et hauteur totale sont significatifs dans le modèle (Tableau 6). L'équation de prédiction du rendement en graines de *J. curcas* à partir

des paramètres morphologiques est :

$$\text{Rend}^{1,5} = 738 \text{ NbreB3} + 3640 \text{ Htot} \quad (1)$$

Rend = Rendement ; NbreB3 = Nombre de branches tertiaires ; Htot = Hauteur totale

En retenant ces deux variables, l'ajustement du modèle est hautement significatif ($P < 0,0001$) et présente un coefficient de détermination (R^2) de 50,5 %. En conséquence, le modèle ainsi établi avec le nombre de branches tertiaires et la hauteur totale, explique 50,5 % de la variation du rendement en graines.

Tableau 6 : Modélisation du rendement en graines de *J. curcas* en fonction des paramètres morphologiques.

Seeds yield modelling of J. curcas L. based on morphological parameters.

Test individuel effectué sur les variables indépendantes			
Variabes indépendantes	Coefficients	T de Student	Probabilité
Constante	-4209	-1,26	0,215
Diamètre au collet (Dcol)	-86,5	-0,41	0,685
Nombre de branches primaires (Nbb1)	1046	0,88	0,384
Nombre de branches secondaires (Nbb2)	-861,7	-1,33	0,190
Nombre de branches tertiaires (Nbb3)	737,6	3,53	0,001
Hauteur totale (Htot)	3640	3,14	0,003

DISCUSSION

TRAITs MORPHOLOGIQUEs ET IMPACT DES FACTEURS CLIMATIQUES SUR *J. CURCAS*

Nos travaux montrent que les arbustes de l'espèce les plus productifs donnent des fruits et des graines moins gros et moins lourds. Les conditions climatiques du milieu peuvent expliquer ce comportement de l'espèce. La zone soudanienne est moins arrosée et plus ensoleillée que les autres zones climatiques (Tableau 1). *J. curcas* semble mieux produire sous ces conditions climatiques (Assogbadjo *et al.*, 2009) comme les arbres de karité (Glèlè Kakaï *et al.*, 2011). La zone soudanienne comparativement aux autres zones climatiques du Bénin, semble être propice à la mise en place des plantations de *J. curcas* dont l'objectif principal serait la production de graines pour le biocarburant. Par ailleurs, *J. curcas* présente

une certaine plasticité (Prasad *et al.*, 2000 ; Gasol *et al.*, 2007) ce qui favorise son introduction dans l'ensemble des zones climatiques du Bénin (Assogbadjo *et al.*, 2009).

Nos résultats ont montré que la taille, le poids et la forme des fruits et des graines de *J. curcas* sont fortement influencés par les caractéristiques climatiques du milieu. L'espèce s'adapte morphologiquement aux conditions climatiques de chaque zone. Ces résultats peuvent s'expliquer par le fait que la physiologie de la plante change avec les conditions climatiques du milieu. Ce réveil physiologique agit sur la reproduction de l'espèce. L'impact positif de la pluviométrie et de l'humidité relative sur la taille et le poids des fruits et des graines de *J. curcas* et celui négatif de la température sur les mêmes variables peuvent s'expliquer par une meilleure absorption des éléments nutritifs du sol par le système racinaire de la plante en présence d'eau et sous de faible température favorisant

un bon développement des organes de reproduction de l'espèce. La variabilité du climat dans les trois zones climatiques du Bénin ces trente dernières années est caractérisée par une augmentation significative de la température moyenne (plus de 1°C), ainsi qu'une diminution perceptible de la pluviométrie (-5,5 mm/ an en moyenne) et du nombre moyen annuel de jours de pluie (Gnanglè *et al.*, 2011). Avec cette tendance, on peut prédire dans le futur une augmentation du rendement des arbustes de *J. curcas* accompagnée d'une diminution de la taille et du poids des fruits et graines qui prendront la forme ellipsoïdale.

Les paramètres climatiques (pluviométrie, température et humidité) n'ont pas un impact sur la morphologie du tronc, du houppier et des feuilles de *J. curcas*. Ce résultat traduit que d'autres facteurs environnementaux autres que climatiques expliquent la variation de la morphologie du tronc, du houppier et des feuilles de *J. curcas* comme observé pour les traits des fruits de karité des parcs à karité du Bénin (Glèlè Kakaï *et al.*, 2011). L'hypothèse d'une variabilité du tronc, du houppier et des feuilles sous le contrôle du génome n'est pas exclue.

PRODUCTION EN GRAINES DE *J. CURCAS* ET IMPLICATIONS AGRONOMIQUES

Le nombre de branches tertiaires et la hauteur totale expliquent 50,5 % de la variabilité du rendement en graines. Cela peut s'expliquer par le fait que les fruits de l'arbuste sont reliés aux branches tertiaires. De plus, le nombre de branches augmente avec la hauteur de l'espèce. Le coefficient de détermination (50,5 %) trouvé dans la présente étude traduit que d'autres paramètres (autres paramètres morphologiques, environnementaux ou génétiques) expliquent 49,5 % des variations du rendement en graine de *J. curcas*.

Comme implication agronomique de nos résultats, les techniques sylvicoles notamment la taille à des intervalles réguliers de temps peuvent permettre l'augmentation du nombre de branches tertiaires de la plante afin d'optimiser son rendement. L'application de cette technique sylvicole peut permettre une augmentation en hauteur de l'arbuste accompagnée d'une ramification importante. Le modèle ainsi établi est un indicateur d'estimation au niveau local du potentiel économique des plantations de *J. curcas* dans le temps.

CONCLUSION

Les résultats ont montré que la pluviométrie, la température et l'humidité relative ont un impact sur la taille et le poids des fruits et des graines de *J. curcas*. Ces paramètres climatiques ne présentent pas un impact sur la morphologie du tronc, du houppier et des feuilles de l'espèce. Selon le modèle prédictif du rendement en graines, seuls le nombre de branches tertiaires et la hauteur totale expliqueraient la moitié de la variation du rendement en graines. D'autres paramètres (morphologiques, environnementaux ou génétiques) expliquent l'autre moitié des variations du rendement en graine de *J. curcas*.

REFERENCES

- Assogbadjo A. E., Amadji G., Glèlè Kakaï R. L., Mama A., Sinsin B., Van Damme P. 2009. Evaluation écologique et ethnobotanique de *Jatropha curcas* L. au Bénin. International Journal of Biological and Chemical Sciences. 3 (5) : 1065 - 1077.
- Boote K. J., Jones J. N., Pickering N. B. 1996. Potential uses and limitations of crops model. Agronomy Journal. 88 : 704 - 716.
- Box G. E. P., Cox. D. R. 1964. An analysis of transformations. Journal of the Royal Statistical Society. 26 (2) : 211 - 252.
- 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 - 24.
- Gasol C. M., Gabarrell X., Anton A., Rigola M., Carrasco J., Ciria P. 2007. Life cycle assessment of a *Brassica carinata* bioenergy cropping system in southern Europe. Biomass. Bioenergy. 31 (8) : 543 - 555.
- Gbemavo D. S. J. C., Gandji K., Gnanglè P. C., Assogbadjo A. E., Glèlè Kakaï R. L. 2014. Variabilité morphologique et conservation des morphotypes de *Jatropha curcas* Linn. (Euphorbiaceae) au Bénin. Journal of Agriculture and Environment for International Development. 109 (1) : 55 - 69. DOI : 10.12895/jaeid.20151.234.

- Glèlè Kakaï R. L., Akpona T. J. D., Assogbadjo A. E., Gaoué O. G., Chakeredza S., Gnanglè P. C., Mensah G. A., Sinsin B. 2011. Ecological adaptation of the shea butter tree (*Vitellaria paradoxa* C. F. Gaertn.) along climatic gradient in Benin, West Africa. *African Journal of Ecology*. 49 : 440 - 449.
- Gnanglè P. C., Glèlè Kakaï R., Assogbadjo A. E., Vodounon S., Yabi J. A., Sokpon N. 2011. Tendances climatiques passées, modélisation, perceptions et adaptations locales au Bénin. *Climatologie*. 8 : 26 - 40.
- Graudal L. 1998. Elaboration d'une stratégie nationale et d'un plan d'action pour la conservation des ressources génétiques forestières. Communication à l'atelier régional de formation sur la conservation et l'utilisation durable des ressources génétiques forestières. Ouagadougou, Burkina Faso : pp 16 - 27.
- Henning R. K. 2008. *J. curcas* L. in Africa. An evaluation. Global Facilitation Unit for Underutilised Species (GFUUS). Weissenberg, Germany.
- Kouyaté A. M. 2005. Aspects ethnobotaniques et étude de la variabilité morphologique, biochimique et phénologique de *Detarium microcarpum* Guill. Perr. au Mali. Thèse de doctorat. Faculty of Bioscience Engineering, Ghent University (Belgium) 207 p.
- Mbaye A. 2011. Culture du *Jatropha* au Sénégal : Entre logiques de promoteurs et scepticisme des paysans. Recueil des résumés de l'atelier final du programme RIPIECISA. Cotonou, Bénin : pp1 - 10.
- Meng T., Ni J., Harrison S.P. 2009. Plant morphometric traits and climate gradients in northern China : a meta-analysis using quadrat and flora data. *Annals of Botany*. 104 : 1217 - 1229.
- Mozny M., Tolasz R., Nekovar J., Sparks T., Tmka M., Zalud Z. 2009. The impact of climate change on the yield and quality of Saaz hops in the Czech Republic. *Agricultural and Forest Meteorology*. 149 : 913 - 919.
- Prasad C. M. V., Krishna M. V. S. M., Reddy C. P., Mohan K. R. 2000. Performance evaluation of non-edible vegetable oils as substitute fuels in low heat rejection diesel engines. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers. Part D, Journal of automobile engineering*. 214(2) :181 - 187.
- Sinclair T. R., Seligman N. G. 1996. Crop modelling : From infancy to maturity. *Agronomy Journal*. 88 : 698 - 703.
- White F. 1983. The vegetation of Africa. A descriptive memory to accompany the Unesco/AETFAT/UNSO. Vegetationmap of Africa. UNESCO, 356p.