

OPTIMIZATION DE LA PRODUCTION DU POURGHÈRE (*JATROPHA CURCAS*) ET ÉTUDE DES CARACTÉRISTIQUES PHYSIQUES DES HUILES EXTRAITES DES GRAINES EN VUE D'UTILISATION COMME BIOCARBURANT DANS LA SAVANE SOUDANIENNE DE LA PROVINCE DE LA TANDJILÉ, AU SUD-CENTRE DU TCHAD

¹Kabé HINLIBÉ KARKA, Institut National Supérieur des Sciences Agronomiques et des Technologies Agroalimentaire de Lai (INSATAL), Département des Sciences Agronomiques, E-mail: Kabe08@yahoo.

¹Biaksoubo TEGUINET, (INSATAL), Département des Sciences Environnementales, E-mail: teguinetbiaksoubo@gmail.com

²Oumar DANY, Université de N'Djamena, Faculté des Sciences Exactes et Appliquées, Département des Sciences Biologiques, E-mail: dany_oumar@yahoo.fr

Résumé

Des travaux d'amélioration de la production du pourghère (*Jatropha curcas*) ont été réalisés en champ pendant trois années dans la savane soudanienne du Tchad. L'objectif du travail était de maximiser le développement et la production de cette plante sous l'effet des fertilisants agricoles. Les caractéristiques physiques relatives à l'usage biocarburant de l'huile ont été déterminées au laboratoire. Le dispositif en blocs complètement randomisés a été mis en champ et les essais ont été répétés quatre fois. Les résultats obtenus ont montré que les propriétés physiques et chimiques des sols des sites d'étude sont favorables à la culture de *J. curcas*. Les fertilisants ont un effet hautement significatif ($p < 0,001$) sur le développement et le rendement en graines (kg/ha) : $4250 \pm 2,02^c$; $3342,5 \pm 1,52^b$; $3425 \pm 5,04^b$, respectivement pour les plantes traitées au mélange mycorhizes-compost, au compost et à l'engrais chimique NPK (20 10 10) comparés aux mycorhizes et aux témoins ($3000 \pm 1,01^a$ et $2912,5 \pm 1,52^a$) à la troisième année de culture. Il n'y a pas d'effet sur les caractéristiques physiques des huiles extraites des graines. À la première année d'implantation de culture, le rendement en graine est faible. Il ressort enfin que les caractéristiques physiques de l'huile de *J. curcas* brute ne sont pas bien indiquées pour servir directement dans les moteurs à injection. Elles ne respectent pas les normes et la spécification internationales fixées et convenues aux huiles végétales d'être servies comme biocarburant. La circulation de l'huile dans les conduits pourrait être difficile et sa combustion incomplète endommagerait les moteurs.

Mots clés : *Jatropha curcas*, production optimale, rendement en graines, biocarburant, Tandjilé (Tchad).

Optimization of *Jatropha curcas* production and study of the physical characteristics of oils extracted from the seeds for use as biofuel in the sudanian savanna of the Tandjile province, in South-central Chad.

Abstract

The study was conducted in the field for three years in the Sudanian savanna of Chad. The physical characteristics related to the biofuel use of physic nut (*Jatropha curcas*) were determined in the laboratory. The aim of the work was to maximize the development and production of this plant under the effect of agricultural fertilizers. The completely randomized block design was implemented in the field, and the trials were repeated four times. The physical and chemical properties of the soils at the study sites are favorable for the cultivation of *J. curcas*. Fertilizers have a highly significant effect ($p < 0.001$) on development and seed yield (kg/ha): $4250 \pm 2,02^c$; $3342,5 \pm 1,52^b$; $3425 \pm 5,04^b$, respectively for plants treated with the mycorrhiza-compost mix, compost, and chemical NPK fertilizer (20 10 10) compared to mycorrhiza and controls ($3000 \pm 1,01^a$ and $2912,5 \pm 1,52^a$) in the third year of cultivation. There is no effect on the physical characteristics of the oils extracted from the seeds. In the first year of crop establishment, the seed yield is low. It finally appears that the physical characteristics of crude *J. curcas* oil are not

well suited to be used directly in injection engines. They do not meet the international standards and specifications set and designed for vegetable oils to be used as biofuel. The circulation of the oil in the conduits could be difficult, and its incomplete combustion would damage the engines.

Keywords : *Jatropha curcas*, optimal production, seed yield, biofuel, Tandjilé region (Chad).

Introduction

Face aux effets de changement climatique dû à l'émission massive de CO₂ dans l'atmosphère issu de la combustion des hydrocarbures fossiles, le coût élevé du pétrole et la dépendance énergétique des populations vis-à-vis de ce dernier, la recherche de nouvelles sources d'énergie non polluantes et respectueuses de l'environnement s'impose. Les biocarburants constituent l'une des solutions jugées efficaces pour lutter contre l'émission de gaz à effet de serre qui dégrade notre environnement. En effet, il est annoncé l'épuisement du pétrole à l'horizon 2050 (J-D. Minengu *et al.*, 2014, p. 291 ; J. Zakane, 2013, p. 55). Les recherches s'orientent vers la production des biocarburants à partir des espèces végétales, non alimentaires. *Jatropha curcas*, espèce végétale de la famille de Euphorbiacées est une plante non comestible par les animaux, présente une forte potentialité énergétique grâce à l'huile extraite des graines et qui peut être utilisée comme substitut du gasoil mais peu connue par les paysans de la zone soudano-sahélienne du Tchad (O. Dany, 2010, p.17).

Depuis les années 2000, la promotion du biocarburant suscite un regain d'intérêt pour la plantation de Pourghère (*Jatropha curcas* L.). Sa graine broyée donne un carburant utilisable dans les moteurs Diésels. Le *Jatropha* constitue de ce fait, une culture stratégique des producteurs du Sahel pour produire de l'énergie renouvelable (M. Diop, 2009, p.87).

Cependant, la culture de cette plante non alimentaire suscite des questions à propos de ses conséquences sur les propriétés du sol et la possible compétition avec les cultures vivrières (P.L. Manfongoya *et al.*, 2006, p.142). La production agricole reste encore peu performante car elle n'arrive pas toujours à assurer ni l'autosuffisance alimentaire de la population, ni un minimum de revenus (J. Blin *et al.*, 2008, p. 1496). Cependant, cette plante peut être cultivée en association avec les plantes vivrières telles que les Légumineuses alimentaires (D. Tchobsala, 2013, p.717).

Si bien que la culture *J. curcas* a un intérêt mondial porté dans la production des énergies nouvelles et renouvelables, sans impact majeur sur l'écosystème naturel, mais l'exploitation industrielle des huiles extraites des graines révèle quelques problèmes de combustion incomplète à une certaine température dans les moteurs (V. S. Akowuah *et al.*, 2012, p. 18 ; N. R. H. Gbetoho, 2016, p. 603). La production optimale des végétaux nécessite une pluviométrie conséquente, condition édaphique et technique agricole adéquate. Pour éviter de perturber l'environnement, il est conseillé d'utiliser des engrais biologiques afin de pratiquer l'agriculture biologique (D. Nwaga, 2000, p. 24 ; Jamaludin *et al.*, 2006, p. 13).

L'objectif général de ce travail est de contribuer à l'implantation et à la diversification de la culture de *Jatropha curcas* dans la savane soudanienne du Tchad. Spécifiquement il s'agit (i) d'évaluer l'impact des fertilisants agricoles sur la production de *J. curcas*, (ii) de déterminer les caractéristiques physiques et le potentiel biocarburant des huiles extraites des graines.

1. Matériel et méthodes

1.1.Présentation du site d'étude

Les travaux ont été conduits dans la province de la Tandjilé, située au sud-centre du Tchad. Les données climatologiques relevées sur les installations de la Direction Générale de la Météorologie Nationale et mises à notre disposition approuvent que la région de la Tandjilé est localisée dans la zone soudanienne caractérisé par un climat du type tropical, avec deux saisons : une saison de pluie (avril à octobre) et une saison sèche (novembre à mars). Le cumul pluviométrique oscille entre 800 à 1200 mm. Les pluies sont mal réparties sur l'ensemble de la province. Les températures ont leurs minima absolus en décembre-janvier (15°C) et les moyennes des maxima relativement élevé en mars-avril (40°C). L'hygrométrie relative de l'air est maximale (80%) en Juillet-Août-Septembre (H. K. Kabé *et al.*, 2019, p. 245).

1.2. Matériel végétal

Le matériel biologique est constitué de graines mûres de *J. curcas*, de la récente récolte, recueillies localement. Des jeunes plantules de *Jatropha curcas* ont été obtenues trois mois en pépinières avant leur transplantation en champ dans le but d'obtenir de vigoureux et robustes plants (H.K. Kabé *et al.*, 2019, p. 247). En effet, à cette durée, les plantules rejetaient déjà leur odeur répulsive évitant d'être broutés par les animaux herbivores.

1.3. Fertilisants et traitements

Trois types de fertilisants ont été utilisés lors de l'expérimentation afin de tester leurs effets sur la production de *J. curcas*: l'engrais chimique NPK (20 10 10); le compost et les mycorhizes. Le témoin (T) est représenté par des plants n'ayant reçu aucun fertilisant pendant toute la période de l'étude. L'inoculum mycorhizien appliqué était un mélange de sable, de fragments racinaires et de trois souches sélectionnées de mycorhizes (*Glomus clarum*; *Gigaspora margarita* et *Scutellopora sp.*). Une masse de 30 g de mycorhizes a été mise par poquet suivie immédiatement de plantation. Pour le compost de bouse de bœufs obtenu après 5 mois de compostage, une masse de 3 kg est appliquée par poquet en couronne, sans contact direct avec les plantules. L'engrais chimique (E) utilisé était constitué de 300g de NPK (20 10 10). Le traitement combiné Mycorhizes-Compost a été constitué de 30 g de mycorhizes mis dans le poquet et de 3 kg de compost appliqué en couronne au tour des plants.

1.4. Dispositif expérimental, préparation du site et gestion des plantes en champ

Le site expérimental a été défriché, nettoyé et labouré. Des poquets de 30x30 cm ont été creusés pour la transplantation des jeunes plantes de *J. curcas*, ayant passé 3 mois en pépinière.

Le dispositif expérimental a été constitué de 4 blocs et à 4 répétitions. Chaque bloc a été formé de 5 parcelles unitaires ou unités expérimentales de 10 m de long et 6 m de large, équivalant aux 5 traitements appliqués. Une parcelle a porté de 3 lignes constituées de 5 poquets, séparés de 2 mètres entre les lignes et entre les poquets. Les blocs ont été distants 4 m et les parcelles élémentaires de 3 m.

Le désherbage des parcelles est assuré par un sarclage manuel, une fois par mois. Des barrières ont été érigées pour protéger les plantes des animaux en divagation. Les plantes ont reçues des tailles par étêtage au niveau des ramifications pendant la deuxième année de culture en vue d'augmenter le nombre de rameaux, par ricochet accroître la production en fruits et des graines.

1.5. Evaluation des paramètres agronomiques étudiés et taille d'échantillonnage

L'échantillonnage a été porté sur 30 plants par traitement. La masse de graines est déterminée par une balance électronique de marque Diamond, sensibilité 10^{-3} g.

La méthode d'extraction d'huile utilisée a été celle décrite par l'Union Internationale de Chimie Pure et Appliquées (UICPA, 1979). Il s'agit de l'extraction intermittente à chaud au Soxhlet pendant 8 h. Elle est aussi servie pour la détermination des caractéristiques physicochimiques des huiles et comparées aux normes de spécifications internationales fixées en vue d'apprécier le potentiel biocarburant de l'huile (ASTM, 2007 ; IRA, 2010). Les données climatiques ont été relevées sur les installations de service météorologique local. Les caractéristiques physicochimiques des sols sont déterminées suivant les fiches de l'ITRAD.

1.6. Analyse des données

Le programme «Statgraphic plus 5.0» a été exploité et a permis d'effectuer l'analyse de variance (ANOVA), de calculer les moyennes et de déterminer les interactions entre les traitements. Grâce au test de Duncan, les moyennes de différents traitements ont été classées. Les tests de corrélations (r) ont permis d'obtenir les relations existant entre différentes variables. D'autres données ont été obtenues suivant le calcul de pourcentage.

2. Résultats

2.1. Caractéristiques ombro-thermiques de la zone d'étude

Les moyennes mensuelles des données thermiques et pluviométriques de la zone d'étude sont représentées, respectivement, par les figures 1 et 2. Il ressort de la figure 1 qu'il fait chaud tout le long de l'année dans la zone d'étude. Les maxima de température ont été enregistrés pendant les mois de mars, avril et mai alors que les minima les mois de décembre et janvier. Pour les données pluviométriques (Figure 2), les pluies ont été irrégulièrement réparties pendant les trois années d'étude. Globalement, l'abondance de pluie a été marquée au cours de mois de mai à septembre. Elle correspond au moment d'intense activité agricole

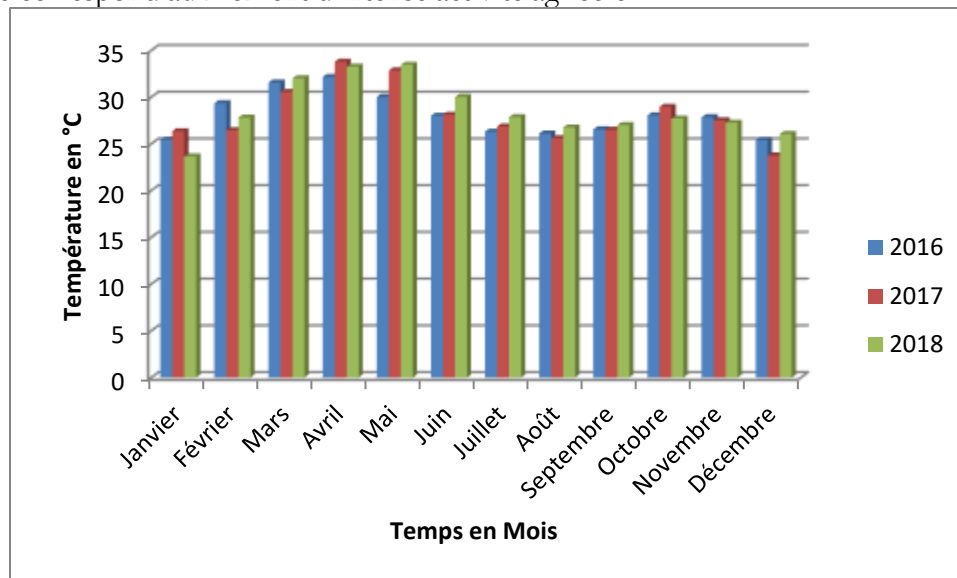


Figure 1. Données de températures relevées sur les installations du service météorologique de Lai

(Source : Relevées de la Station météorologique de Lai)

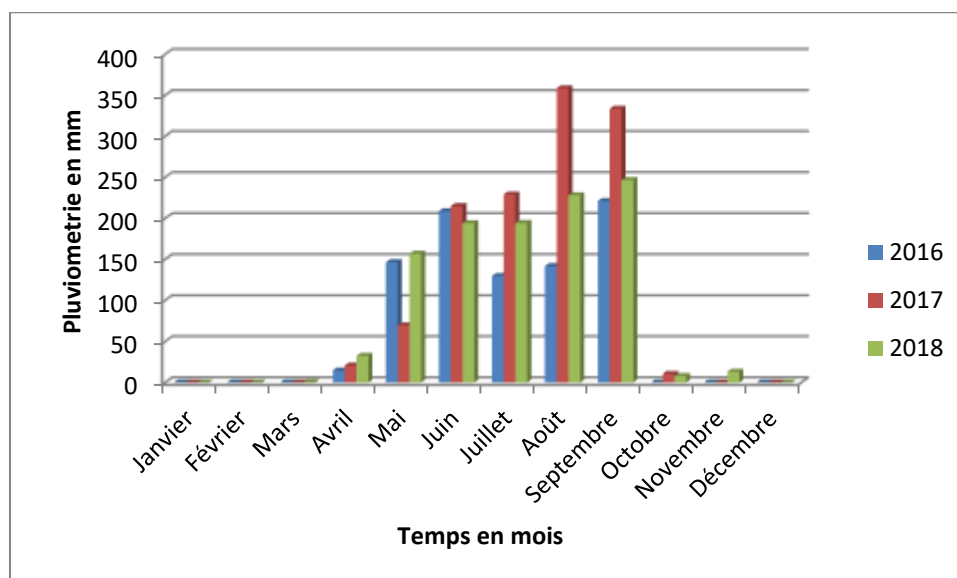


Figure 2. Données de pluviométriques relevées sur les installations du service météorologique de Lai.

(Source : Relevées de la Station météorologique de Lai)

2.2. Caractéristiques granulométriques et physicochimiques du sol d'étude et compost

La composition physicochimique du sol et du compost est représentée dans le Tableau I. Les sols des sites présentant une texture de type sablo – argileuse sont bien indiqués pour la mise en valeur agricole. Cependant la teneur en nutriments est moyenne. La proportion en matière organique et carbone est très faible. Ce type de sol exige un apport des fertilisants pour donner un rendement agricole optimal. Le compost utilisé est de couleur sombre et de texture granuleuse, caractéristique adéquate pour absorber et chauffer l'eau de la rhizosphère.

Tableau I : Caractéristiques physicochimiques du sol des sites et du compost issu de déjection de vaches

Substrat	couleur	Texture	pH eau	Conductivité (µs/cm)	Matière organique (%)	Carbone (%)	N total (ppm)	P total (ppm)	K total (ppm)	Mg (ppm)	Ca (ppm)	Fe (mg/l)
Compost de bouse de vaches	Sombre (noir)	Granuleuse	7,38	765	31,84	18,46	66	340	500	390	1250	2,3
Sol de site	Brun	Sable (%): 89,19 Limon (%): 1,68 Argile (%): 9,13	6,70	18,9	0,04	0,03	5,50	260	140,0	37,50	250,0	11,00

Source : Résultats d'Analyse de Laboratoire de l'Institut Tchadien de Recherche pour le Développement

2.3. Effet de différents traitements sur le rendement en graines des plants de *Jatropha curcas*

Les fertilisants apportés ont un effet hautement significatif ($P < 0,001$) sur la production de *J. curcas* au cours des trois années de culture (Tableau II). Les plantes traitées au compost mélangé aux Mycorhizes, au compost seul et à l'Engrais chimique ont beaucoup produit des graines comparées à celles sur les parcelles fertilisées aux Mycorhizes et les témoins qui ont de rendement faible tout le long des trois années d'essais en champs. Ces résultats s'expliqueraient par le fait que le mélange Compost-Mycorhizes et la quantité de l'engrais chimique mis sous les plantes fournissent de manière optimale les nutriments nécessaires pour le développement et production des graines des plantes de *J. curcas*.

La production est faible pendant la première année de culture. Elle a augmenté avec l'année.

Tableau II: Impact des traitements sur le rendement des graines (kg/ha) des plants de *Jatropha curcas* à 3 ans en champ.

Traitements	Années de culture		
	2016	2017	2018
C	16,30±4,21 ^b	369,63±2,51 ^c	3342,5±1,52 ^b
M	8,50±5,51 ^a	188,50±5,1 ^a	3000±1,01 ^a
EC	15,38 ±2,78 ^b	352,38±1,01 ^c	3425±5,04 ^b
T	7,38±3,50 ^a	153,38 ±5,51 ^a	2912,5±1,52 ^a
CM	15,76 ±3,15 ^b	345,76±3,51 ^c	4250±2,02 ^c
P	0,001	0,003	0,001

C: Compost; M: Mycorhizes; EC: engrais chimique; CM : Combinaison compost-mycorhizes ; T: témoin

Les valeurs de la même colonne suivies de la même lettre ne sont pas significativement différentes ($P < 0,001$).

2.4. Propriétés physiques et potentiel biocarburant des huiles de *Jatropha curcas*

2.4.1. Teneur en huiles des graines suivant les traitements

Il existe une différence significative ($P < 0,05$) des différents traitements appliqués sur la teneur en huile en deuxième année de culture par rapport à la troisième année (Tableau III).

L'évaluation de la 1^{ère} année n'a pas pu être faite à cause de l'insignifiance en rendement de graines. En 2^{ème} année, les graines obtenues sur les plantes traitées aux mélanges compost-mycorhizes, au compost et aux mycorhizes ont respectivement une teneur élevée en huile par rapport au témoin. Cependant, il n'y a pas de différences entre les traitements pour la 3^{ème} année sur les deux sites de culture. Ces résultats seraient dû à l'état immature des plantes.

Tableau III : Teneur (%) en huile des graines suivant les traitements et l'année

Traitements	Années de culture	
	2017	2018
C	44,25±1,67 ^{bc}	49,08±1,11 ^a
M	41,91±0,71 ^{ab}	50,02±0,85 ^a
E	44,78±0,44 ^{cd}	48,75±0,21 ^a
T	40,80±2,64 ^a	49,18±1,01 ^a
CM	46,34±0,71 ^d	50,15±0,91 ^a
P	0,025	0,062

C : Compost ; M : Mycorhizes ; EC : engrais chimique ; CM : Combinaison compost-mycorhizes ; T: témoin

Les valeurs de la même colonne suivies de la même lettre ne sont pas significativement différentes ($P < 0,05$).

2.4.2. Caractéristiques physiques de l'huile de *Jatropha curcas*

Il n'existe pas une différence significative ($P < 0,05$) entre les différents traitements appliqués sur les paramètres physiques des huiles. Néanmoins, les résultats obtenus sur les paramètres physiques de l'huile de *J. curcas* et comparés aux normes et spécifications internationales attribuées à l'usage des carburants augurent des difficultés que peut éprouver cette huile lors de son utilisation comme biocarburant à l'état brut dans les moteurs.

2.4.2.1. Taux de sédiments des huiles

Il n'existe pas une différence significative pour les taux de sédiments des huiles suivant les traitements (Tableau IV). Les spécifications d'huiles carburant de DIN et de ASTM fixe le taux maximum à 0,0024%. Les huiles obtenues comportent donc trop de sédiments.

2.4.2.2. Densité et viscosité

La norme requise impose une valeur maximale de 38 mm²/s. Les valeurs de viscosité obtenues satisfont cette norme car elles sont en moyenne à la limite de valeur fixée (Tableau IV). La viscosité de l'huile de *J. curcas* est nettement supérieure à celle du gasoil qui varie de 2,5 à 5,5 à températures de 20°C. Plus l'huile est dense, plus elle est visqueuse. La densité est liée à la viscosité des huiles. Ainsi, il faut donc une modification de l'huile brute pour être aisément utilisée dans les moteurs.

2.4.2.3. Pouvoir calorifique (PC)

Les valeurs du pouvoir calorifique sont supérieures à 36 MJ/kg. Elles sont jugées normales et correspondent aux valeurs de PC des huiles végétales indiquées à être utilisées comme biocarburant qui oscille entre 36-40 MJ /kg. Les valeurs du PC obtenues sont légèrement supérieures à la norme DIN et ASTM 1994 qui fixe un minimum de 36000 kJ/kg (Tableau VI).

Tableau IV : Caractéristiques physiques des huiles de *Jatropha curcas*

Traitements	Taux de sédiments (%)		Viscosité (en cSt à 40°C)		Densité (20°C)		Pouvoir calorifique (PC) KJ		Point d'écoulement	
	2017	2018	2017	2018	2017	2018	2017	2018	2017	2018
C	0,020±0,11 ^a	0,024±0,21 ^a	38±0,02 ^a	38,22±0,026 ^a	0,912±0,01 ^a	0,919±0,36 ^a	36800±2,25 ^a	36500±2,15 ^a	3°C	3°C
M	0,021±0,26 ^a	0,026±0,31 ^a	37,58±0,02 ^a	38±0,024 ^a	0,915±0,02 ^a	0,908±0,21 ^a	36603±2,25 ^a	36400±2,31 ^a	3°C	3°C
E	0,023±0,17 ^a	0,024±0,14 ^a	37,24±0,02 ^a	38,22±0,017 ^a	0,909±0,05 ^a	0,911±0,61 ^a	36766±4,14 ^a	365627±3,3 ^a	3°C	3°C
T	0,019±0,16 ^a	0,028±0,11 ^a	37,36±0,12 ^a	38,42±0,016 ^a	0,908±0,10 ^a	0,913±1,12 ^a	36558±4,73 ^a	36559±1,6 ^a	3°C	3°C
CM	0,019±0,09 ^a	0,022±0,02 ^a	38,49±0,01 ^a	38,12±0,025 ^a	0,912±0,02 ^a	0,914±0,21 ^a	36532±2,94 ^a	36642±3,1 ^a	3°C	3°C
P	>0,5	>0,5	>0,5	>0,5	>0,5	>0,5	>0,5	>0,5		

C: Compost; M: Mycorhizes; EC: engrais chimique; CM : Combinaison compost-mycorhizes ; T: témoin. Les valeurs de la même colonne suivies de la même lettre ne sont pas significativement différentes (P>0,5).

2.4.3.5. Point d'écoulement

La norme spécifique fixe une valeur minimale à -5°C (Tableau IV). Le point d'écoulement correspond à la température au-delà de laquelle l'huile ne coule plus. La valeur de 3°C pour les différentes huiles de *Jatropha curcas* issues de traitements corrobore à celle trouvée par plusieurs auteurs. Elle est jugée inacceptable. Le point d'écoulement permet de prévoir la capacité des huiles à la circulation dans le moteur. Le fait que les valeurs de point d'écoulement des huiles de *J. curcas* sont, dans son ensemble, élevées par rapport à celui du gasoil constitue un handicap à la circulation à travers les conduits du moteur à basse température.

2.4.3.6. Le point éclair ou point flash

La valeur élevée du point éclair des huiles de *Jatropha* a fait qu'elle n'a pas pu être déterminée. Il n'y a pas eu d'inflammation des huiles à plus de 210°C. La norme pétrolière semble donc inadaptée pour les huiles de *Jatropha*. Le point éclair se trouve entre 81-84°C pour le gasoil (d'autres auteurs annoncent la moyenne de 70°C) contrairement au *Jatropha* où le point éclair se trouverait entre 295-320°C. Pour les huiles qui s'enflamment difficilement, le point éclair constitue un handicap par rapport au démarrage à froid du moteur en huile végétale. Cette difficulté conduit au démarrage à gasoil suivi d'un basculement en huile végétale ; d'où l'intérêt du kit de bicarburation.

3. Discussion

3.1. Caractéristiques ombro-thermiques de la zone d'étude

Les effets du changement climatique sont très perceptibles dans la zone d'étude. Il constitue une menace pour les activités agricoles et pastorales. Il est partout décrié dans le monde entier (B. Singh, 2013, p. 196). Il est caractérisé par une élévation de la température, un raccourcissement des saisons de pluie et une très faible teneur en humidité de l'air. Les pluies sont irrégulièrement réparties dans le temps et dans l'espace de la zone d'étude (H. K. Kabé *et al.*, 2019, P. 247). Le cumul de pluie a été de 862,78mm en 2016, fortement augmenté en 2017 à 1236,8mm et ensuite drastiquement chuté à 1074,4mm en 2018. La cause principale de cette perturbation climatique est l'émission massive dans l'atmosphère du dioxyde de carbone provenant de la combustion du pétrole fossile. Pour lutter contre ce phénomène, le développement du secteur biocarburant, surtout de l'huile végétale issue des non-comestibles et la plantation des arbres pour reboiser les paysages dégradés pourraient séquestrer le CO₂ par le mécanisme de photosynthèse (J. Zakane, 2013, p. 37).

3.2. Caractéristiques granulométriques et physicochimiques du sol d'étude et compost

L'amendement organique ou apport des fertilisants est exigé pour un sol agricole à faible teneur minérale afin d'atteindre un rendement conséquent. En effet, A. Ngakou *et al.* (2008, p.17) ont prouvé l'efficacité de l'apport du compost sur la croissance et la production du niébé (*Vigna unguiculata*), W. Ridine *et al.* (2014, p. 1768) sur le maïs (*Zea mays*) et C. Laba *et al.* (2017, p. 224) sur le moringa (*Moringa oliefera*) en serre.

Le pH se trouve dans les limites de la neutralité ; il est légèrement basique pour le compost et acide pour les sols du site. Un pH proche de la neutralité optimise la disponibilité des éléments

minéraux (I.A.K. Kanabo *et al.*, 1987, p. 170) et permet une bonne activité de la microfaune et de la microflore du sol (R. Bunch, 2004, p. 146 ; E.P. Jouquet *et al.*, 2011, p. 18).

L'état granuleux du compost lui permet d'imbiber ou retenir de l'eau et la rendre disponible pour les plantes. Le bon niveau de disponibilité hydrominérale pour le végétal, surtout au moment du froid hivernal, dépend de la couleur noire du compost qui lui confère un excellent capteur de chaleur, réchauffant ainsi la rhizosphère (A. Ngakou *et al.* 2008, p. 18; K. Mohammadi *et al.*, 2011, p. 19845).

3.3. Effet de différents traitements sur le rendement en graines

Le rendement faible en graines de la première année de culture est dû à la quantité faible de pluie enregistrée de 2016. Les graines formées étant mal remplies et légères. Il a été difficile d'extraire les amandes des graines pour évaluer le rendement en huile. J-D Minengu *et al.* (2014, p. 292) ont rapporté que la production optimale de *J. curcas* nécessiterait une pluviométrie conséquente et une technique agricole adéquate. B. Singh (2013, p. 196) et K. H. Reinhard *et al.*, (2005, p. 9) ont mentionné que le rendement en graines de *J. curcas* est très faible pendant la 1^{ère} et la 2^{ème} année de culture. Toutefois les résultats obtenus à la deuxième n'étaient négligeables, $369,63 \pm 2,51$ kg/ha et $345,76 \pm 3,51$ kg/ha, respectivement sur des parcelles traitées au compost et au compost combiné aux mycorhizes. Nos valeurs sont en accord avec les affirmations de J. Heller (1996, p. 44) et R. Pirot *et al.* (2012, p. 17) qui ont annoncé un début de production significative à la 2^{ème} année de culture lorsque les pieds de *J. curcas* mis en champs sont issus de pépinières, transplantés et entretenus dans de meilleures conditions. D'après M. Domergue et R. Pirot (2008, p. 32), une fertilisation optimale a permis à *Jatropha curcas*, à la deuxième année, un rendement significatif de 0,44 t/ha de graines et 141,7 kg/ha d'huile. Selon K. H. Reinhard *et al.*, (2005, p. 15) la possibilité d'amélioration de la croissance et du développement de *J. curcas* par les fertilisants commence dès les premières années de plantation.

Les études menées sur la fertilisation organique ont montré qu'elle contribue efficacement à l'augmentation du rendement. En effet, les résultats des travaux de Janaludin et A. K. Singh (2006, p. 13) sur l'effet de mycorhizes sur *J. curcas*, de T. L. Tchuenteu *et al.* (2013, p. 257) sur l'effet de mycorhizes et fumure organique sur le ricin (*Ricinus communis*) et de C. Megueni *et al.* (2011, p. 2671) sur l'effet combiné de mycorhizes et de rhizobium sur le développement et production du niébé (*Vigna unguiculata*) ont tous conclu que la fertilisation biologique a un effet bénéfique sur la production des plantes. En plus, les effets des fertilisants sur le meilleur rendement en graines à la troisième année de culture est aussi induit grâce aux tailles réalisées pendant la deuxième de culture. Les résultats sont en accord avec ceux de S. Ouattara (2007, p. 4) et V. S. Adoulaye *et al.*, (2013, p. 16) qui ont rapporté que l'êtêtage ou taille de branches permet à la plante d'avoir assez de ramifications conduisant à une bonne production de graines ; donc un rendement optimal. L'autre avantage est que, l'arbuste étêté garde un port assez bas permettant une récolte facile des fruits.

3.4. Teneur en huiles des graines

Plusieurs auteurs ont indiqué que l'âge mature de la plante se situerait en 3 à 5 pendant lequel l'arbuste atteint sa pleine production (D. Tchobsala, 2013, p. 717). Il est à noter que l'extraction d'huile au Soxhlet a été faite à partir de la matière sèche (pâte d'amande à un taux d'humidité 0%). Les normes de spécifications internationales fixées pour que l'huile végétale soit utilisée comme biocarburant exigent le taux d'humidité maximum 0,075% (C. M. Lamine, 2010, p. 46 ; J. Zakane, 2013, p. 47). La teneur en eau dépend nécessairement de l'humidité des graines oléagineuses. Plus les graines sont humides, plus il y aurait possibilité d'obtenir une teneur en eau élevée dans les huiles. Ainsi un bon séchage des graines et un bon stockage contribuerait à diminuer cette valeur (V. S. Adoulaye *et al.*, 2013, p. 17).

3.5. Caractéristiques physiques de l'huile de *Jatropha curcas*

3.5.1. Taux de sédiments des huiles

La teneur en taux de sédiments extrait de l'huile a été supérieure à la norme. Néanmoins, les valeurs ont été inférieures (0,02% en moyenne) à celles obtenues par C. M. Lamine (2010, p. 47) et J. Zakane (2013, p. 48) pour une huile de *Jatropha curcas* extraite par la méthode mécanique puis décantée et filtrée (0,264%). Les sédiments sont à l'origine de dépôts d'imbrulés au niveau de chambre de combustion. Les différentes étapes de traitement que subit l'huile peuvent amoindrir le taux de sédiments. Les valeurs obtenues sont dues au filtre et la méthode d'extraction utilisée. La réduction de taux de sédiments passe par une filtration plus affinée afin de retenir au maximum ces sédiments (P. Shivani *et al.*, 2011, p. 18212). En effet, pour ce cas d'étude, le filtre utilisé est de type utilisé pour les services de laboratoire ; il ne semble encore pas bien indiqué car d'une grande porosité pour retenir les sédiments. Les normes internationales requises exige l'utilisation d'un filtre de 0,8 μm (C. M. Lamine, 2010, p. 47).

3.5.2. Densité et viscosité

Les huiles de *Jatropha* étant plus visqueuses par rapport au gasoil qui a une viscosité, à 20°C, de 2,5 à 5,5 mm^2/s . La densité est en rapport avec la viscosité ; plus une huile est dense plus elle sera visqueuse (M. Diop, 2009, p. 56). Une adaptation du moteur s'impose avant son utilisation comme biocarburant. Il serait préalable de préchauffer l'huile de *J. curcas* à une température d'environ 80°C pour la rendre plus fluide afin de faciliter son injection dans la chambre de combustion. La densité pour les huiles végétales pures est comprise entre 0,9 et 0,93. Ces valeurs dépassent celui du gasoil qui est bien inférieur à 0,9 correspondant nettement à la norme pétrolière ASTM. Les valeurs obtenues se trouvent dans la norme requise pour être utilisée comme carburant. Les mêmes observations sont aussi notées par pour les huiles filtrées de *Jatropha curcas*. (C. M. Lamine, 2010, p. 48).

3.5.3. Pouvoir calorifique (PC)

Les résultats obtenus sont acceptables pour une huile végétale d'être utilisée comme biocarburant. Ils corroborent ceux d'autres auteurs qui indiquent que le Pouvoir Calorifique Inférieur de *Jatropha curcas* tourne autour de 36000 kJ/kg (C. M. Lamine, 2010, p. 52 ; Ndopsouna, 2015, p. 48). Quand bien même les huiles de *J. curcas* restent moins énergétiques que le gasoil (PC supérieur à 40 MJ / kg), cependant le potentiel non négligeable d'énergie que produit ces huiles montre que celles-ci constituent une alternative au gasoil (D. Tchobsala, 2013, p. 714 ; J. Zakane, 2013, p. 48).

Conclusion

De cette étude, il ressort que les fertilisants apportés ont amélioré de façon significative les paramètres de croissance et de production. Ils ont permis aussi d'augmenter la teneur en huile. Les plantes traitées au compost, au compost combiné aux mycorhizes et à l'engrais chimique sont de grande taille, portant un nombre important de feuilles et donnent un bon rendement en graines. Néanmoins les traitements appliqués aux plants n'ont globalement pas un effet significatif sur les paramètres physiques de l'huile. Conformément aux normes internationales régissant les usages des huiles végétales comme carburant, les huiles de *J. curcas* utilisées ne sont pas bien indiquées, à l'état pur et brut, pour servir directement dans les moteurs à injection. Elles pourraient l'endommager à cause de ses caractéristiques physiques pouvant entraîner une combustion incomplète de l'huile et un dépôt de carbone dans la chambre à combustion.

Pour une utilisation sans gêne dans les moteurs, il serait judicieux de l'utiliser en mélange avec du carburant fossile à des proportions bien déterminées ou d'utiliser un kit de bicarburations avec préchauffage au gasoil suivi de basculement à l'huile de *J. curcas*.

Pour pallier à des difficultés qui apparaissent fréquemment et entraînent des pertes mécaniques importantes à cause de la forte densité et viscosité de ce type d'huile, quatre solutions sont proposées :

1. un préchauffage de l'huile du pourghère avant le démarrage du moteur ;
2. un mélange de l'huile du pourghère avec du gasoil ;
3. un démarrage du moteur avec du gasoil pur avant de basculer à l'huile pure du pourghère à l'aide d'un kit de bicarburation ;
4. une estérification de cette huile pour un bon agrocarburant (obtention des esters éthylique ou méthylique par alcool) « »

Références bibliographiques

- Abdoulaye V. S., Coulibaly Y. & Havard M., 2013. *Synthèse bibliographique sur le Jatropha au Mali*. Document CIRAD et Nyèta Conseils. 24 pages.
- Akowuah J. O., Addo A. & Kemausuor F., 2012. «Influence of storage duration of *Jatropha curcas* seed on oil yield and free fatty acid content». *ARP Journal of Agriculture and Biological Science*, 7(1): 41-45.
- ASTM (American Society for Testing and Materials), 2007. *Standard specification for biodiesel blends for middle distillate fuel, Norms ASTM D6751-07b*, West Conshohocken, Penn. Consulté le 11/02/2016 sur le site : www.astm.org.
- Blin J., Daho T. & Yao A., 2009. « Exergy efficiency for the performance optimization of a direct injection compression ignition (CI) engine using biofuels ». *Renewable Energy*, 34: 1494-1500.
- Bunch R., 2004. « Engrais verts et culture de couverture ». *Agridape*, 19 (1): 16-148.
- Dany O, 2010« ». *Contribution à l'étude de différentes formes de propagation de Jatropha curcas au sud du Tchad*. Mémoire de Master, Université de Ngaoundéré. 55p.
- Diop M., 2009. *Production de biodiesel à partir de l'huile de Jatropha*. Projet de fin d'étude pour l'obtention du Diplôme d'Ingénieur de conception en Electromécanique, Ecole Supérieure Polytechnique, Centre de Thiès, Université Cheikh Anta Diop, Sénégal, 135p.
- Domergue M. & Pirot R., 2008. *Jatropha curcas L.* Rapport de synthèse bibliographique. France : CIRAD et Agrogénération, 36p
- Gbetoho N. R. H., Gandonou C. B., Houssou A. P., Capo-chichi M., Houngbeme A. & Gbaguidi F., 2016. «Evolution des caractéristiques physico-chimiques de la graine et de l'huile de pourghère (*Jatropha curcas*) en fonction du degré de maturité des fruits». *International Journal of Biology and Chemistry Science*, 10(2) : 599-608.
- Heller J., 1996. «Physic Nut. *Jatropha curcas L.* Promoting the Conservation and Use of Underutilized and Neglected Crops». International Plant Genetic Resources Institute, Rome, Italy. *Biodiversity International*, (1), 66 p
- IRA AFRIQUE, 2010. Analyses et contrôle qualité des produits pétroliers. www.ira-afrique.ma (consulté le 05/05/2015).
- Jamaludin & Singh A. K., 2006, «Studies on Arbuscular Mycorrhizal Fungi Associated with *Jatropha curcas*», *Mycorrhiza News*. Pp : 12-14.
- Jouquet E. P., Bloquel E., Doan T. T., Ricoy M., Orange D., Rumpel C. & Duc T. T., 2011, «Do Compost and Vermicompost Improve Macronutrient Retention and Plant Growth in Degraded Tropical Soils?» *Compost Science & Utilization*, 19: 15-24.
- Kabé H. K., Megueni C., Tchobsala, Njintang Y. N. & Tchuenteu T. L., 2019, «Responses of *Jatropha curcas* (L.) to various types of fertilizations grown on-farm in the locality of Tandjilé in the South of Chad». *International Journal of Applied Research*, 5(5): 243-249.
- Kanabo I. A. K. & Gilkes R. J., 1987, «The role of soil pH in the dissolution of phosphate rock fertilizers», *Fertilisation Ressource*, 12: 165-174.
- Laba C. H., Ngakou A., Yemefack M., Mbailao M., 2017, «Growth response of *Moringa oleifera* Lam. as affected by various amounts of compost under greenhouse conditions», *Annals of Agricultural Sciences*, 62 (2017): 221-226.
- Lamine C. M., 2010. *Caractérisation d'huiles végétales brutes issues d'oléagineux de l'Afrique de l'ouest comme carburant*. Mémoire de Master spécialisé en énergétique, génie électrique et énergies renouvelables

- option : énergies renouvelables et énergies dans l'industrie. Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement (2iE). Burkina Faso. 72 pages.
- Mafongoya P.L., Bationo A., Kihara J. & Waswa B.S. 2006, «Appropriate technologies to replenish soil fertility in southern Africa», *South Africa - Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 76, 137-151.
- Megueni C., Awano E. T., Ndjouenkeu R., 2011, «Effet simultané de la dilution et de la combinaison du Rhizobium et des mycorhizes sur la production foliaire et les propriétés physico-chimiques de jeunes feuilles de *Vigna unguiculata* (L.) Walp». *Journal of Applied Bioscience* 40 :2668-2676.
- Minengu J-D., Mobambo P. & Mergeai G, 2014, «Influence de l'environnement et des pratiques culturelles sur la productivité de *Jatropha curcas* L. en Afrique subsaharienne (synthèse bibliographique)», *Tropicultura*, 18(2) : 290-300.
- Mohammadi K., Heidari G., Khalesro S., Sohrabi Y., 2011, «Soil management, microorganisms and organic matter interactions», *African Journal of Biotechnology*. 10 (86): 19840–19849.
- Ndopsouna G., 2015. *Etude de la stabilité thermique de l'huile de Jatropha curcas comme fluide de transfert et matériaux de stockage de la chaleur pour une centrale solaire à concentration en Afrique: cas du pilote CSP4AFRICA*. Mémoire pour l'obtention du master en ingénierie de l'eau et de l'environnement. Option : génie énergétique. Ouagadougou, Burkina Faso. 69 pages.
- Ngakou A., Megueni C., Noubissie E. & Tchuenteu T. L., 2008, «Evaluation of the physicochemical properties of cattle and kitchen manures derived composts and their effects on field grown *Phaseolus vulgaris* L.» *International Journal of Sustainable Crop Production*.3 (5) : 13–22.
- Nwaga D., 2000. *Agriculture biologique et alternative de la biofertilisation*. In : *l'utilisation des biofertilisants microbiens pour la culture durable*. Premier atelier de formation organisé par l'UMAB. Université de Yaoundé I, du 31 mars au 1^{er} avril 2000. Pp 23-24.
- Ouattara S., 2007. *Quelques acquis sur la culture de Jatropha curcas au mali*. Communication de IER lors du forum national sur le biocarburant dans le cadre du projet de développement de la filière pourghère au mali, Bamako 6 et 7 sept. 2007. 8p.
- Pirot R. & Hamel O., 2012, Les réalités du *Jatropha curcas* confrontées aux opportunités des mécanismes financiers liés au carbone (*Fantasma, aubaine ou réelle opportunité ?*). CIRAD. 32 pages
- Reinhard K. H. & Tianasoa R., 2005. *Le manuel de Jatropha curcas*. Un guide pour l'exploitation intégrée de la plante *Jatropha*. Madagascar. PLAF: 20p.
- Ridine W., Ngakou A., Mbaiguinam M., Namba F. & Anna P., 2014, «Changes in growth and yield attributes of two selected maize varieties as influenced by application of chemical (NPK) and organic (bat's manure) fertilizers in Pala (Chad) grown field», *Pakistan Journal of Botanic*, 46 (5) : 1763–1770.
- Shivani P., Khushbu P., Faldu N., Thakkar V. & Shubramanian R. B., 2011, «Extraction and analysis of *Jatropha curcas* L. seed oil». *African Journal of Biotechnology*, 10: 18210–18213
- Singh B., 2013, «Agro-technology of *Jatropha curcas* for diverse environmental conditions in India». *Biomass Bioenergy*, 48: 191-202.
- Tchobsala, Mégueni C., Njintang Y. N., Nenwôla K. B., Patrick P., Wey J., Lyana J. & Djonbada P., 2013 «Influence of Agricultural Inputs on Growth and Yield of *Jatropha curcas* (L.) in Cameroon», *Journal of Life Sciences*. 7 (7): 712-721.
- Tchuenteu T. L., Megueni C., Njintang Y. N., 2013, «A study of the variability for grain and oil yield and yield related traits of castor beans accessions in two savannah agro-ecological zones of Cameroon». *International Journal of Biosciences*, 3(8): 251-263.
- Zakane J., 2013. *Mise en place des tests technico-économiques sur la plateforme biocarburant : de la plantation à l'utilisation de l'huile de Jatropha curcas L. dans un moteur*. Mémoire pour l'obtention du Master d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement. Institut International d'Ingénierie. Ouagadougou, Burkina Faso. 76 pages.