

ISBN/ISSN : 678-99919-62-55-9

ANNALES DE L'UNIVERSITE DE PARAKOU



Parakou, Bénin

Série

"Sciences Naturelles & Agronomie"

VOL 3, N° 1, (2013)

ISBN/ISSN : 678-99919-62-55-9

ANNALES DE L'UNIVERSITE DE PARAKOU



Parakou, Bénin

Série

"Sciences Naturelles & Agronomie"

VOL 3, N° 1, (2013)

Equipe d'édition

Président: Professeur Simon A. AKPONA
 Vice Président : Professeur Nestor SOKPON
 Secrétaire : Professeur Prosper GANDAHO

Série : Sciences Naturelles & Agronomie

Comité de Publication

Directeur de Publication : Professeur Nestor SOKPON
Secrétaires de publication : Docteur Ernest GOUDEGNON

Membres : Docteur Sanni DOKO A. ; Docteur Is Haq DAOUDA ; Professeur Ibrahim ALKOIRET ; Docteur Léonard AFOUDA ; Professeur Christine OUINSAVI

Comité de Lecture

Prof S. ALIDOU (Sciences de la Terre), Prof A. SANNI (Biotechnologie), Prof S. A. AKPONA (Biochimie), Prof. M. BOKO (Climatologie), Prof G. BIAOU (Economie Rurale), Prof. B. SINSIN (Ecologie Végétale et Animale), Prof. V. AGBO (Sociologie), Prof N. SOKPON (Sciences Forestières), Prof J. LEJOLY (Ecologie Tropicale), Prof K. AKPAGANA (Ecologie Végétale), Prof A. AKOEGNINO (Botanique), Prof P. ATACHI (Entomologie), Prof D. KOSSOU (Phytotechnie), Prof A. FANTODJI (Biologie Marine), Prof J. HOUNHOINGAN (Technologie Alimentaire), Prof. L. J. G. VAN de MAESEN (Botanique), Prof Ph. LALEYE (Hydrobiologie), Prof A. AHANCHEDE (Malherbologie), Prof J. CT. CODJIA (Zoologie), Prof. S. ADOU-HOUNZANGBE (Parasitologie), Prof E. AGBOSSOU (Hydraulique), Prof B. BIAO (Economie), Prof F. A. ABIOLA (Ecotoxicologie), Prof G. A. MENSAH (Zootechnie), Prof M. C. NAGO (Biochimie Alimentaire), Prof J. ZOUNDJIEKPON (Génétique), Prof R. MONGBO (Sociologie Rurale), Prof N. FONTON (Biométrie)

Table des Matières

AUTEURS ET CONTENU	Pages
M. TONOUEWA, C. GBEMAVO, C. OUINSAVI, N. SOKPON Influence des facteurs climatiques sur les caractéristiques technologiques des principaux bois d'œuvre et de service au nord-Benin	1-8
A. K. NATTA , N. ZOUMAROU-WALLIS , A. Y. J. AKOSSOU , J. HOUNDEHIN Effets de l'eau et de la lumière sur la germination des graines de <i>Pentadesma Butyracea sabine</i> au centre Bénin	9-15
J. P. AFFOGNON, P.B. I. AKPONIKPEA, M. MEGNANGLO Optimisation de l'efficience de l'irrigation des cultures maraichères dans les Départements du Mono-Couffo au Bénin	16-21
S. F-X. BACHABI, M. A. D. AMOUSSOU, A. Y. J. AKOSSOU Effets de deux engrais organiques sur la croissance et le développement de deux variétés de tomates cultivées sur les sols hydromorphes de Parakou au nord Bénin	22-28
G. NOUATIN Analyse socioéconomique du système de commercialisation des produits issus de l'anacardier (<i>Anacardium occidentale</i>) dans les départements des Collines, de l'Atacora et de la Donga au Bénin	29-35
I. YOLOU, R. AKIYO, M. BATAMOSSI, E. OGOUWALE, F. AFOUDA, C. OUINSAVI, N. SOULEMANE, N. SOKPON Quantification et essai de décomposition expérimental des déchets organiques dans la ville de Parakou (nord-Bénin)	36-45
F. YOVO, B. DIMON, C. AZANDEGBE ENI, E. SAGBO, D. MAMA, M. AINA Phytoremediation : valorisation du pouvoir épuratoire de <i>Thalia geniculata</i>	46-54
HONGBETE FRANCK, NAGO C. MATHURIN ET MESTRES CHRISTIAN Production et qualité du <i>lafun</i> , une farine fermentée a base de manioc en usage au Bénin et au Nigeria : influence du facteur variétal	55-61

INFLUENCE DES FACTEURS CLIMATIQUES SUR LES CARACTERISTIQUES TECHNOLOGIQUES DES PRINCIPAUX BOIS D'ŒUVRE ET DE SERVICE AU NORD-BENIN

M. TONOUEWA, C. GBEMAVO, C. OUINSAVI, N. SOKPON

fety4@yahoo.fr

RESUME

L'influence des facteurs climatiques sur les caractéristiques technologiques de dix (10) principales essences de bois d'œuvre et de service a été étudiée dans la Commune de Parakou au Nord du Bénin. Les données collectées sur chacune de ces espèces sont relatives à l'infradensité, les retraits (retrait volumique, tangentiel, radial et axial), la teneur en humidité d'usage des bois, la teneur en humidité du bois à plusieurs températures. Trois groupes de bois ont été distingués en fonction de l'infradensité. Le premier groupe est constitué des bois mi-lourd de densité basale comprise entre 500 et 700kg/m³ (*Tectona grandis*, *Diospyros mespiliformis*, *Isobertia doka*, *Gmelina arborea*), le second groupe est constitué des bois lourd de densité basale comprise entre 700 et 800kg/m³ (*Pterocarpus erinaceus*, *Azela africana*, *Milicia excelsa*, *Khaya senegalensis*) et le troisième groupe est constitué des bois très lourds de densité basale comprise entre 800 et 1000kg/m³ (*Anogeissus leiocarpa* et *Pseudocedrela kotschy*). Les paramètres physico-technologiques des bois tels que l'infradensité, les retraits, la teneur en humidité d'usage varient de façon hautement significative suivant les différentes essences étudiées (P<0,01%). Les retraits radial et tangentiel des différentes essences augmentent pour les températures comprises entre 30°C et 50°C et deviennent quasi stables au-delà de 50°C. La teneur en humidité d'usage déterminée dans la présente étude n'est pas compatible aux facteurs climatiques du milieu, ce qui est l'une des raisons qui explique les défaillances des ouvrages en bois au Nord Bénin. Les espèces *Azela africana* et *Tectona grandis* sont celles qui présentent les meilleures caractéristiques technologiques et sont donc mieux adaptées pour les ouvrages.

Mots clés : Nord-Bénin, Facteurs climatiques, caractéristiques technologiques.

ABSTRACT

This work was carried on to analyze the influence of climatic factors on work wood (timber, wood for furniture) those are used in Parakou township (Benin).

Three homogeneous groups of species were found according to infra-density about technological characteristics: group of species called "half-heavy wood" with basal density between 500 and 700kg/m³ (*Tectona grandis*, *Diospyros mespiliformis*, *Isobertia doka*, *Gmelina arborea*); group of species called "heavy wood" with basal density between 700 and 800kg/m³ (*Pterocarpus erinaceus*, *Azela africana*, *Milicia excelsa*, *Khaya senegalensis*) and group of species called "very-heavy wood" with basal density between 800 and 1000kg/m³ (*Anogeissus leiocarpa* et *Pseudocedrela kotschy*). Species shrinkages (voluminal, tangential, radial and axial shrinkages) are determined according to the temperature. With all of species, we observed high increasing of radial and tangential shrinkages for a variation of temperature between 30°C and 50°C. Beyond this temperature all of shrinkages become quasi-stable about all of species. Significant difference exists between basal density and the shrinkages of all species studied (P < 0,01%). Generally, tangential shrinkage is higher than radial one and radial shrinkage is higher than axial shrinkage.

Present study showed that *Azela africana* followed by *Tectona grandis* are the two species those are the best to be used in the Northern conditions of Benin.

Keywords: North-Benin, Climatic factors, Technological characteristics

INTRODUCTION

Le bois est essentiellement constitué de carbone issu d'un processus purifiant l'atmosphère (Martin, 2006). Il remplace les matériaux de construction à haute consommation d'énergie et à forte émission de GES (Perez-Garcia et al., 2005). Mais le bois est un matériau hétérogène, anisotrope, qui possède une grande variabilité individuelle, une affinité pour l'eau, ce qui rend son étude assez complexe (Polge, 1966). Cette particularité structurale du bois d'être un matériau naturellement hygroscopique, anisotrope et hétérogène l'expose, lors du processus de séchage, à des modifications de ses caractéristiques physiques (Boustingorry, 2002 ; Moutee, 2006 ; Bouafif, 2009). Caulfield et al. (2005) affirment que « en général les bois utilisés dans les industries sont très peu connus, ce qui traduit qu'ils se heurtent aux conditions de mise en œuvre et aux exigences techniques de construction des bâtiments ».

Au nombre des caractéristiques technologiques du bois, la densité et les retraits sont les caractéristiques les plus importantes pour

qualifier un bois (Polge, 1973 ; Polge, 1981 ; Deret-Varcin, 1983 ; Mazet et Nepveu, 1991 ; Kokutse, 2002 ; Guilley et al, 2003 ; Achim et al, 2009). La connaissance des caractéristiques du ligneux permettrait de limiter les contraintes auxquelles il fait face. Suite aux différents problèmes climatiques liés aux ouvrages en bois au Nord-Bénin, une étude a été initiée pour analyser l'influence des facteurs climatiques sur les caractéristiques technologiques des essences de bois d'œuvre et de service utilisées dans le Nord-Bénin et trouver un moyen d'obtenir des ouvrages en bois de meilleure durabilité. L'objectif de ce travail est d'étudier l'influence des facteurs climatiques sur les caractéristiques technologiques des bois d'œuvre et de service utilisés dans la zone soudanienne au Nord du Bénin.

LOCALISATION DE LA ZONE GEOGRAPHIQUE DE L'ETUDE

L'étude a été réalisée dans la zone soudanienne au Bénin, au niveau de la commune de Parakou. Géographiquement, Parakou est comprise entre les parallèles 2°30' et 3° de longitude Est et entre 9° et 9°30' latitude Nord. Le climat est de type soudanien

avec une pluviométrie moyenne annuelle de 1200 mm, une température moyenne allant de 25 à 35°C suivant les périodes froides et chaudes avec une humidité relative variant de 20 à 95%. On note ainsi, de fortes variations de l'humidité et de la température dans ce milieu.

METHODES

Tableau 1 : Dispositif expérimental

Type de bois	Bois très lourds		Bois lourds				Bois mi-lourds				Total
Essence	Al	Pk	Me	Aa	Pe	Ks	Ga	Id	Tg	Dm	
Répétition I	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	100
Répétition II	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	100
Répétition III	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	100
Total	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	300

Légende :

Al: *Anogeissus leiocarpa*, Pk: *Pseudocedrela kotschy*, Me: *Milicia excelsa*, Aa: *Azelia Africana*, Pe: *Pterocarpus erinaceus*, Ks: *Khaya senegalensis*, Ga: *Gmelina arborea*, Id: *Isobertinia doka*, Tg: *Tectona grandis*, Dm: *Diospyros mespiliformis*.

Au total, on note par essence 30 échantillons sur lesquels les différentes caractéristiques ont été prises à des températures variables.

Mode de prélèvement des éprouvettes

Les plateaux sont débités tangentiellement aux cernes, en lamelles de 25 mm d'épaisseur; ce mode de découpe répond aux exigences de la norme belge NBN-ISO 3129 (Institut Belge de Normalisation, 1993). Les lamelles ont été découpées dans le sens

radial en barreaux de 25 mm × 25 mm de section. Ces barreaux ont été mis ensuite à épaisseur définitive de 20 mm × 20 mm. Dans chaque lamelle, des éprouvettes ont été sélectionnées selon les critères de la norme belge NBN 225, c'est-à-dire : fil droit, absence d'aubier, de nœud et de défaut quelconque. Les mesures ont été réalisées sur les éprouvettes de forme cubique de 20mm de coté.



Figure 1 : Mode de prélèvement des éprouvettes, a) Madrier fraîchement coupé, b) Découpage des éprouvettes

Légende :

DRE : Direction Radiale de l'Éprouvette, c'est la direction perpendiculaire aux cernes
DTE : Direction Tangentielle de l'Éprouvette, c'est la direction parallèle aux cernes

La direction axiale ou longitudinale représente la direction du tronc de l'arbre, cette direction est perpendiculaire aux deux autres directions (radiale et tangentielle).

Essais physiques et mécaniques

Les essais ont été réalisés sur des éprouvettes normalisées sans défauts. Les éprouvettes dimensionnées ont été immergées dans l'eau jusqu'à saturation totale. Sur les éprouvettes saturées d'eau les mesures suivantes ont été prises :

- le volume saturé par la méthode de poussée d'Archimède ;
- les dimensions radiale, tangentielle, axiale ou longitudinale à l'aide d'un pied à coulisse de précision 0,02 mm ;
- la masse de l'échantillon saturé d'eau à l'aide de la balance électronique de précision 0,01g.

Les éprouvettes ont été ensuite stabilisées dans une étuve régulée en température à 20°C, à 30°C, puis à 40°C, ensuite à 50°C, enfin à 103°C. A la fin de chaque stabilisation et à la fin du séchage, la masse et les dimensions radiale, tangentielle, axiale de chaque échantillon ont été mesurées. A 103°C, la masse obtenue est la masse sèche ou la masse anhydre de l'éprouvette. Suite à l'essai,

les paramètres suivants sont calculés : la teneur en humidité du bois à chaque température ; l'infradensité ; les retraits radial, tangentiels, longitudinal, volumique à chaque température ; l'anisotropie de retrait.

Paramètres calculés

Les paramètres déterminés sont : la teneur en humidité du bois après stabilisation à une température, l'infradensité, les retraits totaux.

- **Teneur en humidité du bois** : elle est définie comme le pourcentage de la masse d'eau contenue dans le produit par rapport à sa masse sèche ou anhydre. Cette humidité est donnée par la relation suivante Mémento du forestier (1981):

$$H = \frac{M_s - M_a}{M_a} * 100$$

ms = masse saturée ; ma = masse anhydre

H : teneur en humidité (%)

Pour le présent travail, des échantillons de bois ont été prélevés sur des planches prêtes à être mises en œuvre et la teneur en humidité moyenne à laquelle le bois est travaillé dans les menuiseries et ébénisteries (teneur en humidité d'usage du bois) a été déterminé (Tableau 2). Par ailleurs, la teneur en eau d'équilibre du bois pour les différentes essences étudiées a été déterminée après stabilisation à chaque température des bois à l'étuve (Tableau 4).

- **Infradensité** : elle a été déterminée sur chaque éprouvette.

L'infradensité (d), exprimée en kg/m³, est définie par le rapport entre la masse anhydre (obtenue après stabilisation à 103°C) et le volume saturé (Vs) de l'échantillon (AFNOR, 1985).

$$d = \frac{M_a}{V_s}$$

- **Retraits** : ils représentent la diminution des dimensions du bois suite à la réduction de son humidité sous le point de saturation des fibres. Le retrait dimensionnel se définit, dans une direction donnée, comme le pourcentage de changement de dimension d'une pièce de bois attribuable à un changement du taux d'humidité de celui-ci. Ces changements dimensionnels sont observables en deçà du point de saturation de fibres (Cloutier, 1992).

Retrait tangentiel, radial, axial :

Le retrait total R (R_t pour le retrait tangentiel, R_r pour le retrait radial et R_a pour le retrait axial) est donné par la relation :

$$R = 100 \times \frac{(D_s - D_0)}{D_s} \quad (\%) \quad \text{Où } D_s \text{ et } D_0 \text{ sont}$$

respectivement les dimensions des échantillons à l'état saturé puis à l'état anhydre (AFNOR, 1985 ; Gérard *et al.*, 1998).

Selon Gérard *et al.* (1998), les Classes de retraits linéaires transverses sont les suivants :

R_t < 6,5 % : retrait faible ; R_r < 3,8 % : retrait faible ; 6,5 % < R_t < 10 % : retrait moyen ; 3,8 % < R_r < 6,5 % : retrait moyen ; R_t > 10 % : retrait fort ; R_r > 6,5 % : retrait fort.

-**Anisotropie de retrait** : L'anisotropie du retrait est exprimée par le rapport du retrait tangentiel au retrait radial. Elle donne une indication de l'importance des déformations qui peuvent apparaître lors du séchage en dessous du point de saturation des fibres. Selon Achim *et al.* (2009), le ratio entre les retraits tangentiel et radial est une variable particulièrement déterminante pour la qualité du bois puisqu'un ratio trop élevé pourrait causer la distorsion des planches ou même leur fendillement.

Retrait volumique : Le retrait volumique (%) est la différence entre le volume de l'éprouvette saturée en eau et son volume anhydre (retrait volumique total), ou son volume à une teneur en humidité donnée rapportée au volume saturée conformément à la norme française. (Mémento du Forestier, 1981).

B = [(Vs-Va)/Vs] x 100 ;

B= retrait volumique total ; Vs= volume saturé ; Va= volume anhydre du bois.

Les classes de retrait volumique se présentent comme suit :

B < 9 % : retrait faible ; 9 % < B < 13 % : retrait moyen ; B > 13 % : retrait fort (Gérard *et al.*, 1998).

Analyse statistique des caractéristiques technologiques :

L'analyse statistique des données collectées a été réalisée au moyen du logiciel Minitab (version 14) et de SPSS12 en recourant au modèle linéaire généralisé. Le plan d'échantillonnage adopté correspond à un modèle mixte d'analyse de la variance, partiellement hiérarchisé à trois critères de classification : type de bois, essence, caractéristiques technologiques. Les facteurs fixes sont le bloc (type de bois) et l'essence. Les variables dépendantes sont : l'infradensité, le retrait tangentiel, le retrait radial, le retrait longitudinal, le retrait volumique, l'anisotropie de retrait. Des tests complémentaires d'égalité de variance, de comparaison multiple de moyenne de Student et Newman-keuls ont été effectués pour comparer les types de bois entre eux et les essences entre elles en fonction des caractéristiques technologiques déterminés.

RESULTATS

Infradensité (densité basale) : Trois (3) groupes d'essences sont distinguées à partir de la densité basale des essences étudiées. Il s'agit des bois très lourds (*Anogeissus leiocarpa* qui présente une valeur supérieure à *Pseudocedrela kotschy*), des bois lourds (*Pterocarpus erinaceus* qui présente une valeur supérieure à *Azalia africana*, *Khaya senegalensis* et *Milicia excelsa*), des bois mi-lourds (*Tectona grandis* qui présente une valeur élevée contrairement à *Diospyros mespiliformis*, *Isobertia doka* et *Gmelina arborea* qui présentent une faible densité basale). Il existe une différence hautement significative entre la densité basale des essences (Tableau 2).

Anisotropie de retrait : Il existe une différence hautement significative entre l'anisotropie de retrait des différentes essences de bois lourds et mi-lourds étudiées tandis que le comportement anisotrope des essences de bois très lourds est semblable (Tableau 2).

Retraits : Les retraits des dix (10) essences ont été étudiés. On note que : *Anogeissus leiocarpa* présente des retraits élevés par rapport à *Pseudocedrela kotschy* ; concernant les essences de bois lourds, *Khaya senegalensis* présente des retraits élevés contrairement à *Milicia excelsa* et *Pterocarpus erinaceus* qui présentent des retraits moyens, tandis que *Azalia africana* présente de faibles retraits. Au nombre des essences de bois mi-lourds, *Isobertia doka* présente des retraits élevés tandis que *Diospyros mespiliformis* présente des retraits moyens, *Gmelina arborea* et *Tectona grandis* présentent de faibles retraits. Il existe une différence hautement significative au seuil de 5% entre les différents retraits des trois (3) types de bois (retrait radial, tangentiel et volumique) avec P<0,01% (Tableau 3).

Tableau 2 : Comparaison des essences par type de bois suivant l'infradensité, l'anisotropie de retrait et la teneur en humidité d'usage : moyenne (m) et erreur standard (se)

Type de bois	Essence	Infradensité (kg/m ³)		Anisotropie de retrait		Teneur en humidité d'usage (%)	
		M	Se	M	se	M	se
Bois très lourds	<i>Anogeissus leiocapa</i>	911,00	10,919	1,26	0,039	14,79a	0,144
	<i>Pseudocedrela kotschyi</i>	824,86	10,919	1,17	0,039	18,32b	0,144
	Valeur de P	0,000***	-	0,106ns	-	0,000***	-
Bois lourds	<i>Azelia africana</i>	709,35a	8,765	1,40bc	0,058	17,40a	1,013
	<i>Pterocarpus erinaceus</i>	795,02b	8,765	1,47c	0,058	28,16b	1,013
	<i>Khaya senegalensis</i>	730,01a	8,765	1,27b	0,058	16,91a	1,013
	<i>Milicia excelsa</i>	715,23a	8,765	0,94a	0,058	15,31a	1,013
	Valeur de P	0,000***	-	0,000***	-	0,000***	-
Bois mi-lourds	<i>Gmelina arborea</i>	560,29a	10,695	1,66b	0,089	45,40c	2,837
	<i>Diospyros mespiliformis</i>	681,5b	10,695	1,40a	0,089	14,57a	2,837
	<i>Tectona grandis</i>	690,48b	10,695	1,84b	0,089	24,44b	2,837
	<i>Isobertia doka</i>	660,22b	10,695	1,93b	0,089	24,83b	2,837
	Valeur de P	0,000***	-	0,000***	-	0,000***	-

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

Les moyennes par colonne entre essence par type de bois suivies de la même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5% suivant le test de comparaison de moyenne de Student et Newman-Keuls.

Tableau 3 : Comparaison des essences par type de bois suivant les retraits : moyenne (m) et erreur standard (se)

Type de bois	Essence	Types de retraits (%)							
		Retrait tangentiel (Rt)		Retrait radial (Rr)		Retrait axial (Ra)		Retrait volumique (Rv)	
		M	se	M	se	m	Se	m	se
Bois très lourd	<i>Anogeissus leiocapa</i>	6,57b	0,138	6,18b	0,119	0,85a	0,073	14,71b	0,251
	<i>Pseudocedrela kotschyi</i>	5,90a	0,138	4,83a	0,119	0,96b	0,073	10,88a	0,251
	Valeur de P	0,001***	-	0,000***	-	0,279ns	-	0,000***	-
Bois lourd	<i>Milicia excelsa</i>	4,35a	0,113	4,62b	0,124	1,20ab	0,101	9,87b	0,192
	<i>Azelia africana</i>	4,60a	0,113	3,47a	0,124	1,06ab	0,101	8,89a	0,192
	<i>Pterocarpus erinaceus</i>	5,21b	0,113	3,64a	0,124	0,92a	0,101	9,47b	0,192
	<i>Khaya senegalensis</i>	6,59c	0,113	5,52c	0,124	1,31b	0,101	12,48c	0,192
	Valeur de P	0,000***	-	0,000***	-	0,042*	-	0,000***	-
Bois mi-lourd	<i>Tectona grandis</i>	5,06a	0,128	2,97a	0,136	1,32b	0,116	9,12a	0,271
	<i>Gmelina arborea</i>	4,98a	0,128	3,18a	0,136	1,32b	0,116	9,28a	0,271
	<i>Diospyros mespiliformis</i>	6,59b	0,128	4,77b	0,136	0,66a	0,116	11,39b	0,271
	<i>Isobertia doka</i>	9,72c	0,128	5,39c	0,136	1,02b	0,116	16,00c	0,271
	Valeur de P	0,000***	-	0,000***	-	0,000***	-	0,000***	-

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

Teneur en humidité : Le tableau 4 présente la teneur en humidité des différentes essences étudiées en fonction de la température. Il existe une différence hautement significative ($P < 0,01\%$) entre la teneur en eau des essences pour les trois (3) types de bois après stabilisation à chaque température (Tableau 4). La température moyenne de la commune de Parakou est de 30°C (ASECNA, 1965 à 2008), ce qui explique que la teneur en humidité du bois obtenue

à cette température devrait correspondre à la teneur en humidité d'usage des essences dans ce milieu. Le tableau 2 présente la teneur d'humidité d'usage des bois dans la commune de Parakou, c'est-à-dire la teneur en humidité moyenne à laquelle les bois sont travaillés pour la mise en œuvre des ouvrages. On note qu'il existe une différence entre la teneur en humidité d'usage des bois (tableau 2) et la teneur en humidité des bois à 30°C (tableau 4) pour chaque essence pris séparément au niveau des trois (3) types de bois.

Tableau 4 : Comparaison des essences par type de bois suivant leurs teneurs en humidité en fonction de la température : moyenne (m) et erreur standard (se)

Type de bois	Essence	Teneur en humidité du bois (%)							
		A 20°C		A 30°C		A 40°C		A 50°C	
		m	se	M	se	m	Se	m	se
Bois très lourds	<i>Anogeissus leiocarpa</i>	24,79b	0,474	22,87b	0,292	8,92a	0,090	4,17a	0,039
	<i>Pseudocedrela kotschy</i>	21,94a	0,474	20,00a	0,292	10,08b	0,090	5,33b	0,039
	Valeur de P	0,000***	-	0,000***	-	0,000***	-	0,000***	-
Bois lourds	<i>Milicia excelsa</i>	25,72a	1,952	19,95a	2,212	7,74a	0,910	4,11a	0,520
	<i>Azelia africana</i>	36,51b	1,952	29,86b	2,212	14,89c	0,910	6,49bc	0,520
	<i>Pterocarpus erinaceus</i>	39,17b	1,952	29,72b	2,212	10,69b	0,910	5,89b	0,520
	<i>Khaya senegalensis</i>	39,68b	1,952	32,92b	2,212	14,96c	0,910	7,85c	0,520
	Valeur de P	0,000***	-	0,000***	-	0,000***	-	0,000***	-
Bois mi-lourds	<i>Tectona grandis</i>	33,12a	2,533	27,57a	1,756	9,46a	0,342	4,11a	0,051
	<i>Gmelina arborea</i>	34,09a	2,533	25,71a	1,756	10,58b	0,342	4,91c	0,051
	<i>Diospyros mespiliformis</i>	54,26b	2,533	47,36d	1,756	14,21c	0,342	4,31b	0,051
	<i>Isobertia doka</i>	44,29c	2,533	35,96c	1,756	14,14c	0,342	5,66d	0,051
	Valeur de P	0,000***	-	0,000***	-	0,000***	-	0,000***	-

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

Les moyennes par colonne entre essence par type de bois suivies de la même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5% suivant le test de comparaison de moyenne de Student et Newman-Keuls

DISCUSSION

Infradensité : La forte densité de *Anogeissus leiocarpa* explique son utilisation comme excellent bois de charbon au Bénin (Soulé, 2010 ; Idjigbérou, 2007). Kokuste (2002) a déterminé au Togo la densité à 12% du teck et a obtenu une valeur comprise entre 650 et 800 kg/m³. En Indonésie, en Thaïland et à Myanمار, le *Tectona grandis* présente respectivement des densités de 690, 620 et 700 kg/m³ (Baillères et al., 2000). Il faut toutefois souligner que la comparaison entre densité basale (infradensité) et densité à 12% de teneur en humidité du bois n'est pas directe car la densité à 12% est légèrement supérieure à la densité basale. Les résultats pour *Khaya senegalensis* sont également conformes à ceux obtenus par Normand et Sallenave (1958) et ceux obtenus par Gbaguidi et al. (2007) sur des échantillons de *Khaya senegalensis* provenant de la commune de Bassila au Bénin (Tableau 5). En ce qui concerne *Azelia africana* et *Milicia excelsa*, les résultats obtenus sont semblables

à ceux de Gérard et al. (1998). En ce qui concerne *Isobertia doka*, suivant les données du PAMF (2007), il est un bois mi-lourd de densité à 12% égal à 720 kg/m³.

La différence de densité obtenue à travers divers auteurs peut être expliquée par l'origine du bois. Polge (1966), Zobel et al. (1989), Guitard et Fourmier (1994) explique que la densité du bois est une caractéristique extrêmement fluctuante, elle varie non seulement d'une essence à l'autre et pour une même essence d'une station à une autre, pour une même station d'un arbre à un autre, pour un même arbre d'une année à l'autre, pour une même année d'une période à une autre et à l'intérieur de la saison de végétation. Les propriétés tant mécaniques que physiques varient d'un point à un autre à l'intérieur de l'arbre et aussi entre arbres d'une même espèce. Selon Keller et Millier (1970), les variations de la densité sont le résultat assez fidèle des réactions des arbres aux conditions du milieu (se superposant aux caractéristiques propres résultant de l'hérédité de l'arbre).

Tableau 5 : Comparaison de la densité des essences avec les études antérieures

Essences	Auteurs	Densité à 12% (kg/m ³)			Infradensité (kg/m ³)	
		min	moy	max	moy	
<i>Azelia africana</i>	Gérard <i>et al.</i> (1998)	700	790	880	709,35	
	Mémento du forestier (1981)	700		900		
	Tonouéwa (2011)					
<i>Gmelina arborea</i>	Boulet (1977)		510		560,29	
	Mémento du forestier (1981)		470			
	Tonouéwa (2011)					
<i>Isobertia doka</i>	PAMF (2007)		720		660,22	
	Tonouéwa (2011)					
<i>Khaya senegalensis</i>	Normand et Sallenave (1958)	690	780	910	716 730,01	
	Gbaguidi <i>et al.</i> (2008)					
	Tonouéwa (2011)					
<i>Milicia excelsa</i>	Mémento du forestier (1981)	550		750	715,23	
	Gérard <i>et al.</i> (1998)	550		750		
	Tonouéwa (2011)					
<i>Tectona grandis</i>	Mémento du forestier (1981)	550		800	690	
	CTFT (1990)	650		800		
	Boulet (1977)		670			
	Baillères <i>et al.</i> (2000)	Indonésie		690		
		Thailand		620		
		Myanmar		700		
	Kokutse <i>et al.</i> (2004)	11-16 ans	591,8	646,7		701,6
		40-45 ans	683,7	727,7		771,7
		67-70 ans	702,1	779,4		856,7
	Kokutse (2002) au Togo	650		800		
Adjonou (2007) au Togo	620		800			
Tonouéwa (2011)						

min = minimum, max = maximum, moy = moyenne.

Retraits : Les espèces ayant de faibles retraits tangentiels et radiaux sont *Milicia excelsa* (Rt = 4,35%) et *Azelia africana* (Rt = 4,60% ; Rr = 3,47%). Ces résultats sont semblables à ceux obtenus par Gérard *et al.* (1998). En ce qui concerne *Khaya senegalensis*, les résultats obtenus sont également dans le même ordre de grandeur que ceux obtenus par Gbaguidi *et al.* (2008) et Normand & Sollenave (1958). Les retraits tangentiels, radiaux et l'anisotropie de retrait du *Gmelina arborea* et du *Tectona grandis* confirment ceux obtenus par Boulet (1977), CTFT (1990) et Chaix *et al.* (2010). Chaix *et al.* (2010) ont prédit le retrait tangential et radial du *Tectona grandis* à l'aide de spectrographe à infrarouge, ils ont obtenu un retrait radial de

3,2%. Ces résultats corroborent ceux obtenus dans la présente étude qui est de 2,97%. On note en général que le faible retrait radial d'une essence n'induit pas un faible retrait tangential. A cet effet, une explication a été donnée par Polge (1981), « la relation entre le type de bois et le retrait radial est différente de celle qui lie le bois et le retrait tangential ». Les retraits longitudinaux sont, au nombre de tous les retraits, ceux qui présentent les valeurs faibles. Cela a été observé par Boustingorry (2002). Selon de La Cruz Sanchez (2006), l'axe longitudinal (axial) est le plus résistant, suivi de l'axe radial et enfin de l'axe tangential.

Tableau 6 : Comparaison des retraits tangential et radial de quelques essences déterminés

Essence	Auteur	Retrait tangential (%)			Retrait radial (%)		
		Min	moy	max	mi n	moy	max
<i>Khaya senegalensis</i>	Gbaguidi <i>et al.</i> (2008)		7,55			3,66	
	Normand et Sallenave (1958)	4,5	6,76	7,5	4,2	5,36	6,3
	Tonouéwa (2011)		6,59			5,52	
<i>Azelia africana</i>	Gérard <i>et al.</i> (1998)		4,4			3	
	Tonouéwa (2011)		4,60			3,47	
<i>Milicia excelsa</i>	Gérard <i>et al.</i> (1998)		5,8			3,7	
	Présente étude (2011)		4,35			4,62	
<i>Gmelina arborea</i>	Boulet (1977)		3,5			1,5	
	Tonouéwa (2011)		4,98			3,18	
<i>Tectona grandis</i>	Boulet (1977)		4,7			2,6	
	CTFT (1990)		5			2,7	
	Chaix <i>et al.</i> (2010)	2,3	5,5	9,3	1,7	3,2	5,4
	Tonouéwa (2011)		5,06			2,97	

min = minimum, max = maximum, moy = moyenne

Les caractéristiques technologiques physiques des dix (10) essences de bois d'œuvre et de service étudiés ont permis de déterminer les essences présentant de meilleures caractéristiques c'est-à-dire les essences montrant un faible retrait pour limiter les défauts (fentes gauchissement,...) et une densité pouvant permettre une bonne résistance mécanique en service.

CONCLUSION

Les différentes caractéristiques déterminées sur les principaux bois d'œuvre et de service utilisés qui sont la densité basale, les retraits et l'anisotropie de retrait nous ont permis de caractériser les différents types de bois présents dans les usines de bois dans la commune d'étude et de comparer les essences entre elles en fonction de leurs stabilités dimensionnelles. La présente étude révèle que *Azelia africana* et *Tectona grandis* présentent de faibles retraits et une densité moyenne et sont donc mieux adaptés pour les ouvrages dans la zone soudanienne au Nord Bénin. Cependant la teneur en humidité d'usage des essences étudiées ne sont pas compatibles à la température ambiante de la zone d'étude qui est de 30°C. Pour utiliser de façon durable ces bois et limiter les risques de déformations et de fentes, la teneur en humidité d'usage devra être améliorée pour correspondre à la température et l'humidité du milieu où l'ouvrage sera utilisé.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Achim, A., Bernier, M. et Cogliastro, A., 2009. Comparaison des propriétés mécaniques du bois de plantation avec celui de la forêt naturelle : le cas du chêne rouge. Programme de mise en valeur des ressources du milieu forestier – Volet II. Projet 16-2008-05. Institut de recherche en biologie végétale, 18 p.
- Adjonou, K., 2007. Influence des facteurs écologiques sur les propriétés biophysiques du bois de teck en plantation au Togo. Mémoire de DEA de biologie de développement. Université de Lomé, 94p.
- Institut Belge de Normalisation., 1993. Norme belge NBN-ISO 3129. Bois : Méthodes d'échantillonnage et conditions générales pour les essais physiques et mécaniques. Bruxelles, 4p.
- Bailleres, H. et Durand, P.Y., 2000. Non destructive techniques for wood quality assessment of plantation-grown teak. Bois et Forêt des tropiques. 283 ; pp: 17 -27.
- Bouafif, H., 2009. Effets des caractéristiques intrinsèques des fibres de bois et des procédés de mise en forme sur la performance des matériaux composites bois/thermoplastique. Thèse de doctorat. ENGREF, Université du Québec et Nancy, 253p.
- Boulet, M., 1977. Monographie de *Gmelina arborea*. Revue Bois et Forêt des tropiques, n° 172.
- Boustingorry, P., 2002. Elaboration d'un matériau composite à matrice gypse et renfort bois fragmenté Amélioration de la résistance au visage de produits préfabriqués en gypse. Thèse de doctorat. Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint Etienne, 185p.
- Caulfield, D. F., C. Clemons, R. E. Jacobson., Rowell, R. M., 2005. Woodthermoplastic composites. in Handbook of wood chemistry, wood composites. R. M. Rowell (Ed.). Boca Raton, Taylor and Francis, pp: 365-380.
- Chaix, G., Kokutse., Ratovomboahangy, B., Guibal, D., Randrianjafy, H., Rakotondraoelina, H., Brancheriau, L., Rakotovolomalimanana, H., Hein, P.R.G., Ramanantoandro, T., 2010. Prediction of radial and tangential shrinkages by near-infrared spectroscopy: an example for *tectona grandis* from Togo and for *Liquidambar styraciflua* from Madagascar. Cerne, Lavras, v.16, Suplemento, pp : 66-73.
- Cloutier, A., 1992. Cours de formation continue présenté à l'Ordre des ingénieurs forestiers du Québec, partie I, mise à jour du cours n°26. Université Laval Sainte-Foy (Québec) G1K 7P4, 18p.
- de La Cruz Sanchez, C.M., 2006. Mesure des constantes élastiques du bois d'épinette noire (*picea mariana* (mill.) b.s.p.) dans des conditions d'équilibre du séchage à basse température. Mémoire de maîtrise en sciences. Université Laval, 139p.
- CTFT (Centre Technique Forestier Tropical), 1990. Fiche technique teck. Bois et Forêts des Tropiques. 224, pp: 39-47.
- Deret-Varcin, E., 1983. Etude comparative de la qualité du bois De trois types de chêne (rouvre, pédonculés et intermédiaire) en forêt morimond. *Ann. Sci. Forest*, 40(4), pp: 373-398.
- Dupuy, B.; Verhaegen, D., 1993. Le teck en plantation en côte d'Ivoire *Tectona grandis* en Côte d'Ivoire. Bois et forêts des tropiques, n° 235.
- Gbaguidi, G.A., Zohoun, S., Kouchade, A.C., Amadji, A., 2007. Etude comparative des principales caractéristiques technologiques du bois de deux essences d'origine béninoise : le *Khaya senegalensis* et le *Khaya grandifoliola*. Actes de l'Université d'Abomey-Calavi du premier colloque des sciences cultures et technologies, 2, pp : 171-176.
- Gerard, J., Kouassi, A. C., Daigremont, C., Detienne, P., Fouquet, D., Vernay, M., 1998. Synthèse sur les caractéristiques technologiques de référence des principaux bois commerciaux africains. CIRAD-forêt campus international de Baillarguet, Montpellier (France), 189p.
- Guilley, E. et Nepveu, G., 2003. Interprétation anatomique des composantes d'un modèle mixte de densité du bois chez le Chêne sessile (*Quercus petraea* Liebl.) : âge du cerne compté depuis la moelle, largeur de cerne, arbre, variabilité interannuelle et duraminisation. *Ann. For. Sci*, 60 pp: 331–346.
- Guitard, D., Fournier, M., 1994. Comportement mécanique du bois. Le Bois, matériau d'ingénierie. Editions ARBOLOR. 433 p.
- Idjigbérou, S. E., 2007. Impact de la production de charbon de bois sur la diversité floristique des formations végétales au centre et au Nord du Bénin. Thèse d'ingénieur (Faculté d'Agronomie/Université de Parakou), 133p.
- Keller, R. & Millier, C., 1970. Utilisation des composantes de la densité en xylochronologie. *Ann. Sci. Forest*. 27 (2), pp: 157-196.
- Kokutse, A. D., 2002. Analyse de la qualité du bois de teck (*Tectona grandis* L.f) en plantation au Togo : formation du bois de cœur, propriétés mécaniques et durabilité. Thèse de doctorat. Université Bordeaux I, 163p.
- Kokutse, A.D., Bailleres, H., Stokes, A., Kokou, K., 2004. Proportion and quality of heartwood in Togolese teak (*Tectona grandis* L.F). *Forest Ecology and Management* 189, pp : 37-48.
- Martin, P., 2006. Etude du comportement des poutres lamellées clouées boulonnées en flexion. Thèse de doctorat. Ecole Nationale du Génie Rural, des Eaux et Forêts de Kourou (France), 140p.

- Mémento du forestier., 1981. Deuxième édition revue et augmentée, Paris (France). 894p.
- Mazet, J. F.; Nepveu, G., 1991. Relations entre caractéristiques de retrait et densité du bois chez le pin sylvestre, le sapin pectiné et l'épicéa commun. Ann. For. Sci. 84 (1), pp : 87-100.
- Moutee, M., 2006. Modélisation du comportement mécanique du bois au cours du séchage. Thèse de doctorat. Université Laval. 194p
- Normand, D., Sallenave, P., 1958. Caractéristiques et propriétés des acajous (*Swietenia* et *Khaya*). Bois et Forêts des Tropiques, 59, pp: 43-52.
- PAMF., 2007. Synthèse des fiches techniques descriptive des essences autochtones de bois d'œuvre (catégoriel) dans la zone du PAMF/MEHU/DGRFN. Version corrigée.
- Perez-Garcia J., Lippke, J., Manriquez, C., 2005. An Assessment of Carbon Pools, Storage and Wood Products Market Substitution Using Life Cycle Analysis Results. Wood and Fiber Science 37, pp:140-148.
- Polge, H., 1966. Établissement des courbes de variation de la densité du bois par exploration densitométrique de radiographies d'échantillons prélevés à la tarière sur des arbres vivants : Applications dans les domaines Technologique et Physiologique. Ann.Sci.forest, 23 (1), pp : 1-206.
- Polge H., 1973. Etat actuel des recherches sur la qualité du bois de Hêtre. Bulletin technique de l'Office National des forêts, 4, p 13-22.
- Polge, H., 1981. Influence des éclaircies sur les contraintes de croissance du Hêtre. Ann .sci. forest, 38(4), pp: 407-423
- Soulé, N.T., 2010. Structure et dynamique des forêts claires à *Anogeissus leiocarpa* (DC.) Guill. & Perr. au Centre et au Nord du Bénin. Thèse d'ingénieur/ Faculté d'Agronomie/ Université de Parakou, 86p.
- Zobel, J. B., Buijtenen, V. J. P., 1989. Wood variation. Its causes and control. Springer Series in Wood Science, 355 p.

EFFETS DE L'EAU ET DE LA LUMIERE SUR LA GERMINATION DES GRAINES DE *PENTADESMA BUTYRACEA* SABINE AU CENTRE BENIN

A. K. NATTA ^(*), N. ZOUMAROU-WALLIS ⁽¹⁾, A. Y. J. AKOSSOU ⁽¹⁾, J. HOUNDEHIN ⁽¹⁾

armand.natta@gmail.com

RESUME

La présente étude a pour objectif d'évaluer la germination des graines de *Pentadesma butyracea*, espèce vulnérable au Bénin et ayant des graines récalcitrantes, sous l'influence de l'eau et la lumière, deux facteurs clés caractéristiques du milieu naturel de l'espèce (forêt galerie). Le dispositif d'étude est un Bloc Aléatoire Complet où chaque niveau de lumière est associé à un niveau d'apport d'eau. Chaque unité expérimentale est constituée de 50 graines fraîches de *P. butyracea* avec trois répétitions. Les niveaux de lumière sont: sans ombrage (SO), ombrage léger (OL) et ombrage dense (OD), alors que les niveaux d'apport d'eau sont: sans arrosage (SA), arrosage une fois la semaine (A1) et arrosage deux fois la semaine (A2). Les paramètres considérés sont le temps mis pour la germination des premières graines et le taux final de germination. Ces paramètres ont été soumis à de l'analyse de la variance suivie du test de Tukey pour comparer les traitements. Il ressort de l'étude que les graines de *P. butyracea* germent 7 jours après le semis. Les graines sous ombrage léger et arrosées deux fois la semaine germent plus vite (31,33% à 21 jours). Le taux moyen de germination varie de 67 à 77 %. Cette étude permet donc de documenter la germination de cette espèce, suivant un dispositif simple de germination en pépinière. Il est proposé de semer les graines fraîches de *P. butyracea* sous ombrage léger avec un apport d'eau deux fois par semaine. C'est une étape indispensable pour la domestication de l'espèce au Bénin et en Afrique de l'Ouest.

Mots clés: *Pentadesma butyracea*, graines, eau, lumière, germination, Bénin

ABSTRACT

This study aimed to evaluate *Pentadesma butyracea* seeds germination, species vulnerable in Benin and having recalcitrant seeds, under the influence of water and light, two key factors characteristic of the natural environment of this specie (forest gallery). The device set up for the study is a Complete Random Block where each level of light is associated a level of contribution of water. Each experimental unit consists of 50 cool seeds of *P. butyracea* with three repetitions. The levels of light are: without shade (SO), light shade (OL) and dense shade (OD) whereas the levels of contribution of water are: without watering (SA), watering once the week (A1) and watering twice the week (A2). The parameters considered are the time put for the germination of first seeds and the final rate of germination. These parameters were subjected to the variance analysis through the Tukey test to compare the treatments. It arises from the study that the seeds of *P. butyracea* germinate 7 days after sowing and those under light shade and sprinkled twice the week germinate more quickly (31,33% to 21 days). The average rate of germination varies from 67 to 77 %. This study thus makes it possible to document the germination of this species, according to a simple device of germination in seedbed. It is proposed to sow the cool seeds twice *P. butyracea* under light shade with a contribution of water per week. It is an essential stage for the domestication of the species to Benin and in West Africa.

Key words: *Pentadesma butyracea*, seeds, water, light, germination, Benin center

INTRODUCTION

Une part importante des populations des pays en voie de développement dépendent des Produits Forestiers Non Ligneux (PFNL) pour leurs besoins vitaux en santé, nutrition, alimentation, énergie et revenus économiques (Codjia *et al.*, 2003; Agustino *et al.*, 2011). Ces PFNL, provenant en grande partie des écosystèmes forestiers et des agro-écosystèmes représentent une part importante des produits d'exportation de nombreux pays africains (Wong, 2000; Andrianjaka, 2001; Agustino *et al.*, 2011). En outre, ils offrent des opportunités pour le développement des petites industries locales et des activités génératrices de revenu des ménages ruraux. En dépit de leurs valeurs actuelles et de leurs contributions dans l'amélioration du bien être des populations, de l'économie locale et nationale (Tieguhong *et al.*, 2009), la plupart des PFNL sont paradoxalement considérés comme des produits forestiers mineurs, apparaissent rarement dans les statistiques agricoles et forestières nationales et font l'objet de peu de recherches par les institutions de recherches nationales (Agustino *et al.*, 2011).

Pentadesma butyracea Sabine (Clusiaceae) figure parmi les ligneux d'importance au Bénin en raison de son beurre qui ressemble à celui du Karité (*Vitellaria paradoxa*) (Tchobo *et al.* 2007 ; Aissi *et al.* 2011). Elle fait partie des 106 espèces de plantes de la liste rouge du Bénin (Neuenschwander *et al.* 2011) et est classée dans la catégorie des espèces vulnérables au Bénin (Adomou *et al.*, 2011). Plusieurs travaux ont été menés sur cet

Ligneux à Usages Multiples (LUM), notamment sur l'importance ethnobotanique (Schreckenber, 1996; Natta *et al.*, 2010; Avocevou-Ayisso *et al.*, 2011), la répartition géographique (Natta *et al.* 2011a; Natta *et al.*, 2011b; Avocevou-Ayisso, 2011), la caractérisation de son beurre (Tchobo *et al.* 2007; Aissi *et al.*, 2011), la caractérisation structurale, floristique et phytosociologique (Natta *et al.*, 2011a; Natta *et al.*, 2011b). La variabilité morphologique de *P. butyracea*, sa biologie de reproduction, sa diversité génétique de même que sa phylogéographie ont été analysées par Ewédjè (2012) et Ewédjè *et al.* (2012). L'impact de l'exploitation des fruits sur la structure des populations a été traité par Avocevou-Ayisso *et al.* (2009). L'étude phytochimique des feuilles, racines et écorces a été réalisée par Noudogbessi *et al.* (2013) et Tchobo *et al.* (2013). Ils ont déterminé la composition nutritionnelle et antinutritionnelle des amandes de cette espèce.

Cependant, à ce jour, les facteurs qui influencent la germination des graines et la croissance de *P. butyracea* n'ont pas été investigués dans la sous-région Ouest Africaine. En raison de l'importance économique, sociale, culturelle et médicinale de l'espèce et prenant en compte les menaces qui pèsent sur l'espèce et son habitat, *P. butyracea* devrait être mieux connue du point de vue structure, biologie de reproduction, génétique, viabilité, survie et croissance (Adomou *et al.*, 2011; Avocevou-Ayisso, 2011). Entre autres mesures pour la conservation et la domestication de l'espèce, il est bon d'investiguer les paramètres

gouvernant la germination des graines et la croissance des jeunes plants de cette espèce.

Pour les espèces dont la dormance des graines est en partie d'ordre physique, les prétraitements à l'acide sulfurique concentré, la scarification tégumentaire à l'eau bouillante, à l'eau froide ou au feu des graines sont souvent faits pour stimuler leur germination. C'est le cas notamment de *Caesalpinia bonduc* (Hessou *et al.* 2009), de *Prosopis africana* (Niang-Diop *et al.*, 2010), d'*Azelia africana* (Amusa, 2011), *Caesalpinia benthiana* (Holou *et al.*, 2011). Le passage de graines de certaines espèces à travers le tube digestif de mammifères contribue à améliorer le pouvoir germinatif des semences végétales (Holou *et al.* 2011). Ainsi, après leur transit dans le tube digestif, les graines d'*Acacia* spp, d'*Irvingia gabonensis*, de *Duboscia macrocarpa* et de *Physedra longipes* enrobées dans les crottins d'éléphants (*Loxodonta africana*) germent plus facilement en raison de la levée de leur dormance (Téhou et Sinsin, 2000). Par contre, les graines récalcitrantes à cause de leur teneur en eau élevée, sont difficiles à stocker mais, récoltées fraîches, elles germent et s'établissent facilement en pépinière et germent abondamment dans les forêts naturelles (Kyereh *et al.*, 1999).

En outre, la température joue un rôle important dans le processus d'initiation de la germination (Rice, 1985; Leblanc *et al.*, 1998). Elle agit surtout sur la vitesse de germination (Ipou Ipou *et al.*, 2004). Pour beaucoup de plantes, dès la levée de la dormance des graines, celles-ci sont capables de germer dans une large gamme de température, c'est le cas des graines de *Acacia tortilis* (Jaouadi *et al.* 2010). Chez *Euphorbia heterophylla*, la température n'affecte que très peu la capacité de germination maximale (Ipou Ipou *et al.*, 2004). Par contre, Pour les graines oléagineuses comme *P. butyracea*, l'action de la chaleur semble être néfaste à la germination à cause de leur teneur élevée en huile (Guimbo *et al.*, 2011).

Le taux d'humidité du sol joue un rôle important dans la germination des graines (Leblanc *et al.*, 1998, Jaouadi *et al.*, 2010, Guimbo *et al.* 2011). Par ailleurs, les intensités lumineuses affectent considérablement la germination des graines (Wesson et Wareing, 1969, Ipou Ipou *et al.*, 2004). Par exemple, la germination des semences d'*Euphorbia heterophylla* est très mauvaise à l'obscurité (Ipou Ipou *et al.* 2004) alors que celle d'*Acacia raddiana* est indifférente à la lumière (Dantho *et al.*, 2003). Il a été noté dans la germination des semences que les fluctuations de températures peuvent se substituer au besoin de lumière de nombreuses semences (Côme, 1975).

La germination des graines peut dépendre aussi de la densité du sol, de sa concentration en CO₂, du niveau d'oxygène, de la présence d'inhibiteurs volatils de germination et de substances allélopathiques (Stabell *et al.* 1998, Leblanc *et al.*, 1998). De tous ces facteurs influençant la germination, Zimdahl *et al.* (1988), Leblanc *et al.* (1998) ont identifié trois principaux ayant des répercussions majeures sur la germination des graines: la température, l'humidité et la lumière. C'est souvent une combinaison de ces facteurs qui peut déclencher la germination (Leblanc *et al.*, 1998). L'importance relative de ces facteurs varie considérablement entre les régions et les pays et peut aussi changer selon l'évolution du climat au cours de la saison (Baskin et Baskin, 1990; Håkansson, 1992).

L'effet combiné de l'influence de l'eau, de la lumière et de la température sur la germination des graines oléagineuses peu étudiées demeure encore un sujet d'intérêt en écologie et sylviculture des LUM. La présente étude analyse l'effet de l'eau et de la lumière sur la germination des graines de *P. butyracea* et propose une technique de germination transférable aux producteurs de plants. Trois questions de recherche sont posées: (1) quel impact l'eau et la lumière ont-ils sur l'évolution du taux de germination ? (2) quelle combinaison de niveau de ces deux

facteurs garantie un taux de germination optimal ? (3) quel dispositif de germination peut-on proposer pour la multiplication optimale de *P. butyracea* en pépinière au Bénin ?

MATERIELS ET METHODES

Caractéristique du matériel biologique : Espèce ligneuse sauvage originaire des forêts denses sempervirentes d'Afrique de l'Ouest, *Pentadesma butyracea* est un mésophanérophite à fût cylindrique et droit pouvant atteindre 80 cm de diamètre (Bamps, 1971; Akoegninou *et al.* 2006; Sama & Sacandé, 2007). C'est une espèce à distribution agrégative possédant des feuilles pétiolées et oblongues; et des fleurs charnues, crèmes ou blanches. Les fruits sont des baies, plus ou moins globuleuses, pesant de 50 à 1500 g avec 1 à 25 graines de forme et taille variables (Ewédjè *et al.* 2012). Des graines sont extraites des fruits mûrs qui se rompent facilement du fait de leur tégument mou. Les amandes ressemblent à la noix de kola ou aux amandes de karité.

Site expérimental : Le test de germination des graines de *P. butyracea* a été réalisé dans la ferme d'application de la Faculté d'Agronomie de l'Université de Parakou. La ville de Parakou est située entre 9°20' de latitude Nord et 2°35' de longitude Est jouit d'un climat soudanien avec une saison pluvieuse (juin à novembre) et une saison sèche (décembre à mai). La moyenne pluviométrique annuelle varie de 1100 à 1200 mm de pluie par an avec une température moyenne entre 26° et 30°C. Le mois le plus chaud de l'année est celui de février tandis que le moins chaud est celui d'août. L'humidité relative varie de 15 % en saison sèche (janvier-février) à 99 % en saison pluvieuse (août-septembre) pendant que l'insolation moyenne annuelle varie entre 2200 et 2400 heures.

Dispositif expérimental et collecte de données : Le matériel végétal utilisé est composé de graines fraîches de *P. butyracea*. Les fruits mûrs de *P. butyracea* ont été récoltés dans l'arrondissement de Bassila (Centre Ouest Bénin). Les graines ont ensuite été extraites et mises en terre immédiatement. Le dispositif expérimental est un bloc aléatoire complet avec trois répétitions. Les facteurs contrôlés sont la lumière (sans ombrage = SO; ombrage léger = OL; ce qui signifie que les graines sont couvertes à un taux de 50 % et ombrage dense = OD où le taux de couverture est d'environ 90 %) et l'apport d'eau (sans arrosage = SA; arrosage une fois par semaine = A1; arrosage deux fois par semaine = A2).

Les parcelles élémentaires sont des planches carrées de 4 m² de surface. La mise en œuvre du dispositif (9 traitements avec 3 répétitions) a nécessité 27 parcelles élémentaires. Au niveau de chaque planche, où sont associés un niveau de lumière et un niveau d'apport d'eau, sont semées 50 graines de *P. butyracea* à 1 cm du sol. Des arrosoirs de capacité 11 l ont été utilisés. Les planches ont été arrosées les lundis et les vendredis. Les graines soumises à un traitement sans ombrage constituent les graines témoins. Celles soumises à l'ombrage léger ou dense permettent d'évaluer l'influence du niveau de lumière sur le taux de germination des graines de *P. butyracea*. Les planches arrosées sont assimilées au sous-bois des forêts galeries dans lequel vivent et se développent les populations naturelles de *P. butyracea* alors que les graines non arrosées constituent les témoins. La levée des semences a été observée pendant cinquante (50) jours (juillet à août) et le pouvoir germinatif des semences a été évalué.

Traitement de données : Les paramètres de comparaison des facteurs considérés sont le taux de germination et le nombre de jours de première germination après semis. Le taux de germination (Tg) a été calculé deux fois par semaine durant les 50 jours d'expérimentation suivant la formule:

$$Tg (\%) = 100 * (\text{Nombre de graines germées}) / (\text{Nombre de graines semées})$$

L'analyse de variance à mesures répétées a été utilisée pour analyser le dispositif expérimental. En cas de différences significatives entre les niveaux des facteurs, le test de Tukey a été appliqué pour hiérarchiser les moyennes. Les analyses ont été effectuées avec le logiciel SPSS. Par ailleurs, les diagrammes d'interaction ont été construits pour constater les interactions existantes entre les facteurs.

RESULTATS

Effets de l'interaction lumière et eau : L'analyse de la variance sur mesures répétées montre que l'effet de l'interaction est non

significatif ($p = 0,27$). On peut donc interpréter directement les effets principaux. Toutefois, les analyses univariées ont montré que l'effet de l'interaction de la lumière et de l'eau est significatif au seuil de 5 % après 21 jours de semis ($F = 6,192$ et $P = 0,035$) alors qu'il n'est pas significatif au bout de 15 jours de semis. L'interaction entre l'Arrosage une fois et la lumière est significatif après 15 jours ($F = 10,056$ et $P = 0,012$) et 21 jours ($F = 8,895$ et $P = 0,016$) de semis. L'interaction entre l'Arrosage deux fois et la lumière est significative trois semaines ($F = 18,870$ et $P = 0,003$) après le semis. Le taux de germination des graines sous ombrage léger et arrosées deux fois est différent et supérieur à celui des graines soumises aux autres traitements (Tableau 1). Ceci montre que les graines sous ombrage léger et arrosées deux fois par semaine germent vite et mieux.

Tableau 1: Effets de l'interaction entre l'eau et la lumière sur le taux de germination des graines.

Pourcentage de levée			
15 jours de semis			
	Sans arrosage	Arrosage 1 fois/semaine	Arrosage 2 fois/semaine
SO	0,00 A	3,33 A	4,00 A
OL	1,33 A	13,33 B	10,67 A
OD	4,00 A	10,67 B	5,33 A
21 jours de semis			
SO	3,33 A	6,00 A	10,00 A
OL	6,33 A	16,00 B	31,33 B
OD	12,67 B	11,33 A	14,00 A

NB: les valeurs suivies de la même lettre ne sont pas significativement différentes à 5%.

Effet de la lumière sur le taux de germination des graines : L'effet de la lumière sur le taux de germination des graines est significatif 15 jours après le semis ($F = 8,04$ et $P = 0,004$) et 21 jours après le semis ($F = 4,106$ et $P = 0,038$). Par contre, il n'est

pas significatif au seuil de 5 % à la fin de la germination. Le taux de germination varie en fonction du temps et des traitements (Tableau 2).

Tableau 2: Analyse de variance des effets de la lumière sur le taux de germination

Lumière	Pourcentage de levée (%)			Fin du test de germination (50 jours)
	07 jours	15 jours	21 jours	
Sans ombrage-SO	0,00 A	3,67 A	8,67 A	70,00 A
Ombrage léger-OL	1,67 A	11,33 B	21,67 C	67,33 A
Ombrage dense-OD	0,33 A	5,33 A	17,00 B C	77,67 A

NB: les valeurs suivies de la même lettre ne sont pas significativement différentes à 5%.

La levée des graines a eu lieu déjà à 7 jours au niveau des graines sous ombrage alors qu'elle ne l'est pas au niveau des graines sans ombrage. A 15 jours, le taux de germination des graines sous ombrage léger est élevé (11,33 %) alors que ce taux est faible au niveau des graines sans ombrage et sous ombrage dense respectivement 3,67 % et 5,33 %. La différence observée au niveau des taux de ces derniers n'est pas significative. De plus, à 21 jours, nous avons trois groupes de taux de germination à savoir: élevé (C) qui caractérise les graines sous ombrage léger (21,67 %); moyen (BC) qui caractérise les graines sous ombrage dense (17 %) et enfin faible (A) qui caractérise les graines sans ombrage (8,67 %). Par contre, à la fin du test de germination, le taux de germination des graines est de 71,66 % en moyenne (Tableau 2).

Effets de l'eau sur le taux de germination des graines : La germination a également débuté à 7 jours, mais l'effet de l'eau n'est remarqué qu'à 21 jours de germination ($F = 4,252$ et $P = 0,034$) au seuil de 5 %. On distingue en effet trois groupes à savoir: faible (A) les graines non arrosées (9,67 %), moyen (BC) graines arrosées une fois (16,33 %) et fort (C) graines arrosées deux fois par semaine (23 %) (Tableau 3). Par contre, les taux ne sont pas statistiquement différents à la fin de la germination (50 jours) mais légèrement élevés au niveau des graines arrosées 2 fois par semaine. Ceci montre que les graines arrosées 2 fois par semaine germent vite que les graines non arrosées et arrosées une seule fois dans la semaine.

Tableau 3: Analyse de variance de l'effet de l'eau sur le taux de germination

Eau	Pourcentage de levée (%)			
	07 jours	15 jours	21 jours	Fin du test de germination (50 jours)
Sans arrosage	0,00 A	2,67 A	9,67 A	67,00 A
Arrosage 1 fois/semaine	1,33 A	7,67 A	16,33 B C	71,67 A
Arrosage 2 fois/semaine	0,67 A	9,00 A	23,00 C	73,33 A

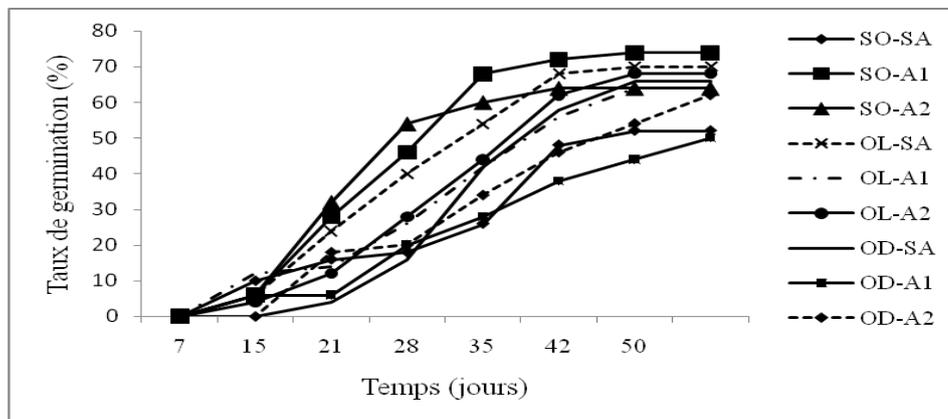
NB: Les valeurs suivies de la même lettre ne sont pas significativement différentes à 5 %.

Evolution du taux de germination des graines dans le temps : Les courbes d'évolution du taux de germination des graines (Figure 1) présentent de façon générale trois phases:

- première phase de 0 à 21 jours: Elle constitue le début de la germination où la pente de la courbe est très faible.
- deuxième phase de 21 à 42 jours: Elle constitue la phase optimale de germination des graines de *P. butyracea*. Elle est caractérisée

par des levées groupées au sein de chaque planche, ce qui se traduit par la forte pente observée au niveau des courbes. La fin de cette phase marque le taux de germination maximale au niveau de chaque planche.

- troisième phase de 42 à 50 jours: Elle correspond à la fin de la germination avec des courbes en palier.



Facteur Ombre: SO (sans ombre), OL (ombre légère), OG (ombre dense)

Facteur Eau: SA (sans arrosage), A1 (arrosage une fois /semaine), A2 (arrosage deux fois/semaine).

Figure 1: Evolution du taux de germination des graines

DISCUSSION

Divers paramètres gouvernent la germination des semences et la croissance des plantules, notamment la dormance, la teneur en eau, la température, l'humidité du sol, la lumière, les caractéristiques physiques et chimiques du sol ont fait l'objet d'études spécifiques sur les espèces forestières (Stabell *et al.*, 1998, Kyereh *et al.*, 1999, Téhou et Sinsin, 2000, Danthu *et al.*, 2003, Ipou Ipou *et al.*, 2004, Hessou *et al.*, 2009, Jaouadi *et al.*, 2010, Niang-Diop *et al.*, 2010, Holou *et al.*, 2011, Amusa, 2011, Guimbo *et al.*, 2011, etc.). En réalité, c'est l'interaction de ces facteurs, de façon synergique, antagoniste ou additive qui déclenche la germination (Leblanc *et al.*, 1998).

La germination d'une graine est généralement caractérisée par son délai, l'échelonnement des levées de dormance et le taux de germination (Mapongmetsem *et al.*, 2004). Dans la présente étude, la germination des graines a commencé 07 jours après le semis au niveau des graines sous ombre et arrosées alors qu'au niveau des graines sans ombre et sans arrosage, la germination a commencé 15 jours après le semis. Ceci montre que les graines sous ombre et arrosées germent vite. Le délai moyen de

hydrique, c'est le cas d'*Accacia tortilis* (Jaouadi *et al.*, 2010). Certaines graines ne germent bien et vite que dans les conditions d'humidité suffisante (Leblanc *et al.*, 1998), comme c'est le cas de *Neocarya macrophylla*, une espèce oléagineuse (Guimbo *et al.*, 2011). De plus, l'ombage permet de limiter l'évaporation d'eau du sol et de conserver ainsi l'humidité pendant longtemps ce qui réduit ainsi la température du milieu. Les graines oléagineuses germent moins sous l'action de la chaleur (Guimbo *et al.*, 2011). Contrairement aux graines de *Musanga cecropioides*, *Nauclea diderrichii* et *Milicia excelsa* qui ont des taux de germination élevés à la lumière (Kyereh *et al.*, 1999), les graines de *P. butyracea* germent bien et à l'obscurité surtout lorsqu'elles sont arrosées. L'ombage et l'apport d'eau supplémentaire, qui créent en effet un microclimat stimulant la levée de la dormance des graines de *P. butyracea*, caractérisent l'habitat optimal (i.e. forêt galerie non dégradée) de cette espèce. Ces nombres de jours observés pour la levée de la dormance ne sont pas conformes à ceux trouvés par Houngbédji (1997) sur les graines de *P. butyracea* soit 32 jours pour les graines sous ombre et 12 jours pour les graines sans ombre. Ceci pourrait être dû à la qualité des semences, ou au substrat utilisé et/ou à la période de l'essai de

germination. En effet, les graines de la présente étude sont issues directement des fruits mûrs récoltés et mises en terre dans la même semaine. De plus, Hounghédji (1997) a installé son essai dans la commune de Bassila et a tamisé le substrat (argilo-sableux) avant utilisation alors que dans la présente étude, les graines ont été semées directement dans la ferme pendant la saison pluvieuse (Juillet-Août): Le substrat pourrait avoir un effet significatif sur le taux de germination (Hessou *et al.*, 2009). Mais ce dernier procédé peut être facilement transposable en milieu paysan. Le nombre de jours de germination après semis des graines oléagineuses de *P. butyracea* est meilleur (07 jours) par rapport aux graines de *Caesalpinia bonduc* (Hessou *et al.*, 2009) qui varie de 13,1 jours pour les graines débarrassées de leur péricarpe à 16,4 jours pour les graines non traitées. Le délai moyen de germination des graines de *Neocarya macrophylla* était de 6 jours (Guimbo *et al.*, 2011) après trempage des graines dans l'eau. La présente étude n'a pas évalué le nombre optimal d'arrosage pour des taux de germination appréciables pour les producteurs de plants en pépinière.

L'évolution des taux de germination suit une allure similaire suivant les effets de l'eau et de la lumière malgré leur taux de germination différent à certains stades. Ces courbes sont semblables à celles obtenues par Hounghédji (1997) sur les graines de *P. butyracea* et celles obtenues par Dotonhoué (2008)

CONCLUSION

La présente étude est une contribution à l'évaluation de l'impact de l'eau et de la lumière sur l'évolution du taux de germination. Il propose un dispositif de germination garantissant un taux optimal de germination en pépinière. Les graines fraîches de *P. butyracea* lèvent vite leur dormance au bout 07 jours avec un pouvoir germinatif élevé (21,67 % à 21 jours) lorsqu'elles sont sous ombrage léger. Le taux de germination élevé (23 % à 21 jours) des graines soumises à l'arrosage deux fois confirme le milieu toujours humide indispensable à la levée de la dormance des graines de *P. butyracea*. L'expérimentation a abouti à un taux

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ADOMOU A. C., AGBANI O. P. & SINSIN B. 2011. Plantes. 21-46. In: Neuenschwander, P., Sinsin, B., Georgen, G. (Eds.). Protection de la Nature en Afrique de l'Ouest: Une Liste Rouge pour le Bénin. International Institute of Tropical Agriculture, Ibadan, Nigéria, 365 p.
- AGUSTINO S., MATAYA B., SENELWA K. & ACHIGANDAKO G. E. 2011. Non-wood forest products and services for socio-economic development. A Compendium for Technical and Professional Forestry Education. The African Forest Forum, Nairobi, Kenya. 219 p.
- AISSI M. V., TCHOBO F. P., NATTA A. K., PIOMBO G., VILLENEUVE P., SOHOUNHLOUE D. C. K., & SOUMANOU M. M. 2011. Effet des prétraitements post-récolte des amandes de *Pentadesma butyracea* (Sabine) sur la technologie d'extraction en milieu réel et la qualité du beurre. *Oléagineux Corps Gras Lipides*; 18 (6): 384-392.
- AKOËGNINOU A. A., van der BURG W. & van der MAESEN L. J. G. (éds). 2006. Flore Analytique du Bénin. Backhuys Publisher. Cotonou & Wageningen, 1034 p.
- AMUSA T. O. 2011. Effects of three pre-treatment techniques on dormancy and germination of seeds of *Azizia africana* (Sm. Ex pers). *Journal of Horticulture and Forestry*. 3 (4): 96-103.
- ANDRIANJAKA N. H. 2001. Valeur économiques des Produits Forestiers autres que les bois: Cas de la région d'Ambohitantely. Document CFSIGE, FAC DEGS,

sur les graines de *Ceiba pentandra*. Cette allure appartient à la deuxième famille de courbes de germination de Mazliak (1982) caractérisée par une germination groupée mais partielle. L'effet de la lumière sur le taux de germination est remarquable à 15 jours de germination et ce sont les graines sous ombrage léger qui ont un fort taux (11,33 %). L'effet de l'eau n'est remarquable qu'à 21 jours avec les graines arrosées deux fois par semaine. Le taux de germination observé varie suivant le temps et le traitement. Le taux de germination élevé est observé au niveau des graines sous ombrage léger et arrosées deux fois par semaine respectivement à 15 jours (16 %) et 21 jours (31,33 %) de semis. Ce traitement simple et facilement transposable en milieu paysan permet d'obtenir un pouvoir germinatif élevé (levée rapide de dormance) des graines de *P. butyracea*. A la fin de la germination, le taux moyen de germination est de 70 %, faible par rapport à celui obtenu par Hounghédji (1997) qui est de 96 %. Cela pourrait être dû à l'état des graines mises en terre. Ce sont les graines issues des fruits frais qui ont été directement semées, et lors de l'essai de germination, certaines graines pourrissaient. Ce taux de germination des graines de *P. butyracea* est néanmoins supérieur à celui des graines de *Caesalpinia bonduc* (40 et 50 %, cf. Hessou *et al.* 2009), celui des graines de *Ceiba pentandra* au Bénin (21,67 %, cf. Dotonhoué, 2008) et à celui des graines de *Caesalpinia benthamiana* (44 %, cf. Holou *et al.*, 2011).

moyen de germination de 71,66 % au bout de 50 jours. Pour la domestication de *P. butyracea*, la levée de la dormance des graines peut donc être faite suivant un dispositif simple facilement transposable en milieu paysan. Il s'agit de la récolte de graines fraîches extraites de fruits mûrs, semées directement en pépinière sous ombrage léger et arrosées deux fois par semaine. Le pouvoir germinatif des graines fraîche et celui des graines récoltées ultérieurement n'est pas testé dans ce travail. Cependant, des études complémentaires sur d'autres variables clé de la germination des graines oléagineuses et le suivi de croissance sont toutefois nécessaires pour étoffer les connaissances scientifiques en vue de la domestication de l'espèce au Bénin.

Université d'Antananarivo, Programme ILO, Madagascar. 25 p.

- AVOCÈVOU-AYISSO C., SINSIN B., ADÉGBIDI A., DOSSOU G., & VAN DAMME P. 2009. Sustainable use of non-timber forest products: Impact of fruit harvesting on *Pentadesma butyracea* regeneration and financial analysis of its products trade in Benin. *Forest Ecology and Management* 257: 1930-1938.
- AVOCÈVOU-AYISSO C., AVOHOU T. H., OUMOROU M., DOSSOU G. & SINSIN B. 2011. Ethnobotany of *Pentadesma butyracea* in Benin: A quantitative approach. *Ethnobotany Research & Applications* 9: 151-166.
- AVOCEVOU-AYISSO C. M. A. 2011. Etude de la viabilité des populations de *Pentadesma butyracea* Sabine et de leur socio-économie au Bénin. Thèse de doctorat. Université d'Abomey Calavi, Bénin. 223 p.
- BAMPS P. 1971. Répartition de *Pentadesma* en Afrique. *Bulletin du Jardin Botanique National de Belgique* 41: 430-432.
- BASKIN J. M. & BASKIN C. C. 1990. The role of light and alternating temperatures on germination of *Polygonum aviculare* seeds exhumed on various dates. *Weed Res.* 30: 397-402.
- CODJIA J. T. C., ASSOGBADJO A. E. & EKUE M. R. M. 2003. Diversité et valorisation au niveau local des ressources végétales forestières alimentaires du Bénin. *Cahiers Agricultures* 12 (5): 321-331.

- COME D. 1975. Acquisition de l'aptitude à germer. Pages 60-70 in R. Chaussât et Y. Le Deunff (eds.), La germination des semences. Gauthier-Villars éditeur, Bordas, Paris.
- DANTHU P., ROUSSEL J. & NEFFATI M. 2003. La graine et la germination d'*Acacia raddiana*, In: Grouzis M. & Le Flo'h E., (éds). Un arbre au désert *Acacia raddiana*. Paris : IRD, 265- 283.
- DOTONHOU C. F. G. 2008. Contribution à la conservation du *Ceiba pentandra* (L) Gaertn. au Bénin : Caractérisation structurale des populations, germination et croissance des progénitures et provenances. Thèse d'ingénieur en aménagement et gestion des ressources naturelles, Faculté d'Agronomie, Université de Parakou. 96 p.
- EWEDJE B. K., PARMENTIER I., NATTA A., AHANCHEDE A., & HARDY O. J. 2012. Morphological variability of the tallow tree, *Pentadesma butyracea* Sabine (Clusiaceae), in Benin. *Genetic Resources and Crop Evolution*. 59: 625-633.
- EWEDJE B. K. 2012. Biologie de la reproduction, phylogéographie et diversité de l'arbre à beurre *Pentadesma butyracea* Sabine (Clusiaceae) implication pour sa conservation au Bénin. Thèse de doctorat. Belgique. 227 p.
- GUIMBO I. D., AMBOUTA K. J. M., MAHAMANE A. & LARWANOU M. 2011. Germination et croissance initiale de *Neocarya macrophylla* (Sabine) Prance, une espèce oléagineuse du Niger. *Tropicicultura*. 29 (2) 88-93.
- HÅKANSSON S. 1992. Germination of weed seeds in different seasons. Pages 45-54 in IX^e Colloque International sur la biologie des mauvaises herbes, ANPP, 16-18 septembre 1992, Dijon, France.
- HESSOU C., GLÈLÈ KAKAI R., ASSOGBADJO A. E., ODJO T. & SINSIN B. 2009. Test de germination des graines de *Caesalpinia bonduc* (L.) Roxb au Bénin. *International Journal of Biological and Chemical Sciences* 3(2). 310-317.
- HOLOU R. A. Y., TEKA O. S., KINDOMIHOU V. M. & SINSIN B. 2011. Germination et utilisation de *Caesalpinia benthamiana* (Baillon) P. S. Herendeen & J. L. Zarucchi (Leguminosae-Caesalpiniaaceae) dans l'aménagement anti-érosif des retenues d'hydraulique pastorale au Bénin. *International Journal Biological and Chemical Sciences*. 5 (2): 533-545.
- HOUNG BÉDJI C. 1997. Etude phytotechnique, écologique et des technologies endogènes de transformation du *Pentadesma butyracea*, espèce des galeries forestières de la région de Bassila. Mémoire de DEAT/LAMS, 59 p + annexe.
- IPOU IPOU J., MARNOTTE P., AMAN KADIO G., AKE S. & TOURE Y. 2004. Influence de quelques facteurs environnementaux sur la germination d'*Euphorbia heterophylla* L. (Euphorbiaceae). *Tropicicultura*. 22 (4) : 176-179.
- JAOUADI W., HAMROUNI L., SOUAYEH N., & KHOUJA M. L. 2010. Etude de la germination des graines de *Acacia tortilis* sous différentes contraintes abiotiques. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ*. 14 (4) : 643-652.
- KYEREH B., SWAINE M. D. & THOMPSON J. 1999. Effect of light on the germination of forest trees in Ghana. *Journal of Ecology*, 87 : 772-783.
- LEBLANC M. L., CLOUTIER D. C., LEROUX G. D. & HAMEL C. 1998. Facteurs impliqués dans la levée des mauvaises herbes au champ. *Phytoprotection*. 79 (3) 111-127.
- MAPONGMETSEM P. M., DUGUMA B. & NKONGMENECK B. A. 2004. Domestication of *Ricnodendron heudelotii* (Baill.) Pierre ex. Pax. in the humid lowlands of Cameroon. *Ghana Journal of Science*. 39: 3-8.
- MAZLIAK P. 1982. Croissance et développement. Production végétale II, Heraman, Paris, 465 p.
- NATTA A., SOGBEGNON R. & TCHOBO F. 2010. Connaissances Endogènes et Importance du *Pentadesma butyracea* (Clusiaceae) pour les Populations Autochtones au Nord Ouest Bénin. *Fruit, Vegetable, and Cereals Science and Biotechnology* (4) 18-25. *Global Science Books*; Special issue 1.
- NATTA A. K., YÉDOMONHAN H., ZOUMAROU- WALLIS N., HOUNDÉHIN J., EWÉDJÈ, E. B. K. & GLÈLÈ-KAKAI R. L. 2011a. Typologie et structure des populations naturelles de *Pentadesma butyracea* dans la zone soudano-guinéenne du Bénin. *Annales des Sciences Agronomiques* 15: 217-243.
- NATTA A. K., ADOMOU A. C., TCHABI V. I., SOGBEGNON A. R., MENSAH G. A., SINSIN B. A. 2011b. Inventaire, typologie et structure des populations naturelles de *Pentadesma butyracea* (Clusiaceae) de la chaîne de l'Atacora au Nord-Ouest du Bénin. *Bulletin de la Recherche Agronomique du Bénin* 70: 10-24.
- NEUENSCHWANDER P., GOERGEN G. & SINSIN B. 2011. Information de base pour développer une liste Rouge pour le Bénin pp 1-6. In: NEUENSCHWANDER P., SINSIN B. & GEORGEN G. (eds). Protection de la Nature en Afrique de l'Ouest : Une Liste Rouge pour le Bénin. International Institute of Tropical Agriculture, Ibadan, Nigéria. 365 p.
- NIANG-DIOP F., SAMBOU B. & LYKKE A. M. 2010. Contraintes de régénération naturelle de *Prosopis africana* : facteurs affectant la germination des graines. *International Journal Biological and Chemical Sciences* 4 (5): 1693-1705.
- NOUDOGBESSI J. P. A., NATTA A. K., TCHOBO F. P., BOGNINO G. S., BOTHON F. T. D., BOSSOU A. D., FIGUEREDO G., CHALARD P., CHALCHAT J. C. & K. SOHOUNHLOUE D. C. 2013. Phytochemical Screening of *Pentadesma butyracea* Sabine (Clusiaceae) Acclimated in Benin by GC/MS. *ISRN Analytical Chemistry*. Volume 2013, Article ID 172397, 8 p.
- RICE K. J. 1985. Responses of *Erodium* to varing micrisites: The role of germination cueing. *Ecology* 66: 1651-1657.
- SAMA B. & SACANDÉ M. 2007. *Pentadesma butyracea*. Seed leaflet. 131.
- SCHRECKENBERG K. 1996. Forest, fields and markets: A study of indigenous Tress products in the Woody savannas of the Bassila region. PhD thesis. Department of Geography, School of African and oriental studies. University of London, UK. 326 p.
- STABELL E., UPADHYAYA M. K & ELLIS. B. E. 1998. Role of seed coat in régulation of seed dormancy in houndstongue (*Cynoglossum officinale*). *Weed Science* 46: 344-350.
- TCHOBO P. F., NATTA A. K., BAREA B., BAROUH N., PIOMBO G., PINA M., VILLENEUVE P., SOUMANOU M. M. & SOHOUNHLOUE D. C. K. 2007. Characterization of *Pentadesma butyracea* Sabine butters of different production regions in Benin. *Journal of the American Oil Chemistry Society*, 84 (8): 755-760.
- TCHOBO P. F., ALITONOU G. A., NOUDOGBESSI J. P., LAGUERRE M., BAREA B., GEORGES P., NATTA A. K., VILLENEUVE P., SOUMANOU M. M. & SOHOUNHLOUE D. C. K. 2013. Evaluation of the chemical composition of *Pentadesma butyracea* butter and defatted kernels. *International Journal of Biosciences*. 3 (1) 101-108.
- TEHOU A. C., SINSIN B. 2000. Ecologie de la population d'éléphants (*Loxodonta africana*) de la zone cynégétique de Djona (Bénin). *Mammalia*, 64 (1): 29-40.
- TIEGUHONG J. C., NDOYE O., VANTOMME P., GROUWELS S., ZWOLINSKI J. & MASUCH J. 2009. Coping with crisis in Central Africa: enhanced role for non-wood forest products. *Unasylva* 233 (60): 49– 54.

WESSON G. & WAREING R. F. 1969. The role of light in germination of naturally occurring populations of buried weed seeds. *Journal of Experimental Botany* 20: 402-413.

WONG J. L. G. 2000. The biometrics of non-timber forest product resource assessment: A review of current methodology.

United Kingdom Department for International Development (DFID). Bangor, Gwynedd, UK. 109 p.

ZIMDAHL R. L., MOODY K., LUBIGAN R. T. & CASTIN E. M. 1988. Patterns of weed emergence in tropical soil. *Weed Science*. 36: 603-608.

OPTIMISATION DE L'EFFICIENCE DE L'IRRIGATION DES CULTURES MARAICHÈRES DANS LES DEPARTEMENTS DU MONO-COUFFO AU BÉNIN

J. P. AFFOIGNON¹, P.B. I. AKPONIKPE^{1A}, M. MEGNANGLO²

akponikpe@yahoo.com

RESUME

L'objectif de cette étude est de comparer et d'optimiser les performances des pratiques d'irrigation de la tomate et de l'oignon dans les départements du Mono-Couffo au Bénin. L'étude s'est intéressée aux communes de Grand Popo (localités de Littoral et de Djanglanmè), de Klouékanmè (Lanta et Tchikpé) et d'Aplahoué (Dékpo et Gbaconou). Les méthodes de collecte des données de terrain se résument aux observations directes, aux entretiens sur la base de questionnaires et au suivi de la dynamique de l'eau d'irrigation dans la zone racinaire par la mesure gravimétrique de l'humidité. Les doses d'irrigation ont été optimisées par itérations à l'aide d'un modèle de bilan hydrique simple en cascade. L'étude a identifié et caractérisé trois groupes de systèmes d'irrigation par aspersion dont les efficacités diminuent paradoxalement avec l'amélioration du niveau d'automatisation ou de motorisation: (1) les systèmes à exhaure manuelle et à distribution manuelle (Em-Dm) impliquant l'utilisation de seaux ou des arrosoirs où la totalité du transport de l'eau est fait par l'homme et donc très fastidieux. Il est caractérisé par une efficacité d'application de l'eau qui est de l'ordre de 26,49 % pour l'oignon, (2) les systèmes à exhaure motorisée et distribution manuelle (EM-Dm) caractérisés par l'utilisation d'une pompe pour une partie du transport de l'eau et la distribution est faite à l'aide d'arrosoir. Son efficacité d'application qui est de 23,01 % pour la tomate et 24,36 % pour l'oignon, (3) les systèmes à exhaure motorisée et à distribution semi-automatique (EM-DsA) sont caractérisés par l'utilisation d'une pompe pour la totalité du transport de l'eau et l'utilisation de pomme d'arrosoir pour la distribution de l'eau sur les planches. Son efficacité d'application est de 18,63 % pour la tomate et de 20,29 % pour l'oignon. Les bilans hydriques des différents systèmes d'irrigation révèlent d'énormes pertes de quantité d'eau par drainage qui sont de l'ordre de 70,43 à 81,37 % des apports. Pour une meilleure utilisation de l'eau les simulations de bilan hydrique ont permis de proposer des doses d'irrigation journalières variant en général de 2 à 10 mm suivant les stades de développement. Avec ses différentes doses proposées l'efficacité d'application a doublé passant de 18,63% - 26,49% à 42,85% -50,81%. Les présentes efficacités d'application restent faibles pour l'aspersion à cause des pertes d'eau dues aux pluies importantes qui ne sont pas contrôlées.

Mots clés : irrigation, cultures maraichères, efficacité, bilan hydrique, dose, optimisation.

ABSTRACT

The objective of this study was to compare and optimize the irrigation efficiency of tomato and onion crops in the departments of Mono-Couffo in Benin. The study covered the districts of Grand Popo (Littoral and Djanglanmè), Klouékanmè (Tchikpé and Lanta) and Aplahoué (Dékpo and Gbaconou). The field data collection methods involved direct observations, interviews based on questionnaires and monitoring of irrigation water dynamics of the root zone through the gravimetric measurement of soil moisture. The irrigation amounts were optimized by iterations using a simple cascade water balance simulation model. The study identified and characterized three groups of sprinkler irrigation systems which paradoxically showed decreasing efficiencies with improved levels of automation: (1) manual water lifting and manual distribution (Em-Dm) characterized by the use of buckets or watering cans where all the water transported is made by human which is very tedious. It is characterized by an application irrigation efficiency of the order of 26.49% for onion, (2) motorized pumping and manual distribution systems (EM-Dm) characterized by the use of a pump for conveying the water and the distribution is made using a watering can. Irrigation efficiency of this system was 23.01% and 24.36% for tomato and onion respectively, (3) motorized pumping and semi-automatic distribution systems (EM-DsA) characterized the use of a pump for lifting the water and the use of can showerheads for distributing water to plots. Its irrigation efficiency is 18.63% for tomato and 20.29% for onion. The water balance of the different irrigation systems revealed huge amount of water losses by drainage of the order of 70.43 to 81.37% of water supply. Water balance simulations showed that daily irrigation amount of 2 to 10 mm depending on the crop stage of development are appropriate for this environment. These irrigation amount have doubled the irrigation efficiency from 18.63% - 26.49% to 42.85% -50.81%. These efficiencies are still relatively low due to the uncertainties of rainfall forecast.

Keywords: irrigation, vegetable crops, efficiency, water balance, irrigation amount, optimization.

INTRODUCTION

Les départements du Mono/Couffo font partie des principales zones de production de cultures maraichères du Bénin (Afangbedji, 2007; Sagbohan, 1998). L'amélioration de la productivité des cultures maraichères passe par une gestion rationnelle de l'eau. Ce qui implique une amélioration de l'efficacité des techniques d'utilisation de l'eau d'irrigation qui permet d'épargner considérablement la ressource au profit d'autres superficies à irriguer, et d'autres secteurs productifs (Mastrorilli, 2003).

Des études ont déjà mis en exergue la caractérisation des systèmes d'irrigation des communes de Porto Novo et de Grand Popo ainsi que leur rentabilité financière (Agbossou, 2008). Une

autre étude a mis l'accent sur les atouts et contraintes des différentes techniques d'irrigation de Grand Popo (Atidegla et al., 2010). Cependant, les informations sur le degré d'efficacité en matière d'économie de l'eau reste encore rare dans l'ensemble du Bénin. La présente étude vise à caractériser et à faire une analyse comparative des techniques d'irrigation de la tomate (*Lycopersicon esculentum*) et l'oignon (*Allium cepa*) et à optimiser leur efficacité dans les départements du Mono-Couffo pour une meilleure économie de l'eau.

APPROCHE MÉTHODOLOGIQUE

Caractérisation des pratiques d'irrigation : Les localités ont été choisies par la technique de boule de neige guidée par la présence de systèmes irrigués pour le maraîchage. Il s'agit de trois communes: Grand Popo (localités de Djanglanmè et du Littoral), Klouékanmè (localités de Tchikpé et Lanta) et Aplhoué (localités de Dékpo et Gbaconou) (Figure 1). Un transect à travers les localités, particulièrement sur les sites de maraîchage appuyés par des entretiens ont permis d'inventorier les techniques d'irrigation.

Pour la catégorisation des pratiques d'irrigation, quatre critères ont été utilisés :

- l'ouvrage de mobilisation de la ressource en eau (forage, puits, réservoir, barrages, aménagement hydraulique) ;
- le mode d'exhaure employé (puisage manuel, pompage) ;
- la technique de transport de l'eau du lieu de transport de la source à l'exploitation (canalisations PVC, seau, bidon, bassine etc...) ;
- les moyens employés pour la distribution de l'eau sur les planches (bols, arrosoir, tuyau flexible muni de pomme d'arrosoir, etc.).

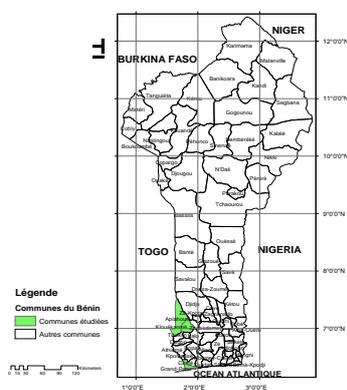


Figure 1: Carte de la zone d'étude

Comparaison de la performance technique des techniques d'irrigation : Compte tenu de la réticence et la non disponibilité de certains exploitants pour l'expérimentation et aux entretiens, il ne nous était possible de prendre en compte (enquête et mesures expérimentales plein champ) que sur un échantillon réduit de

quatre exploitants choisis de façon aléatoire dans chaque zone d'étude. La comparaison des performances techniques des systèmes d'irrigation s'est appuyée sur ce même échantillon d'exploitants. Les cultures considérées sont la tomate (*Lycopersicon esculentum*) et l'oignon (*Allium cepa*). Les mesures ont été réalisées entre Juillet et Septembre 2010.

Mesure temporelle

Fréquence d'irrigation : Le nombre d'arrosage effectué par jour pour chaque planche est compté.

Mesure de la durée d'arrosage : L'objectif est de déterminer le temps mis pour apporter une dose d'irrigation donnée sur une superficie donnée. Pour ce faire, l'on déclenche le chronomètre lors de l'arrosage d'une parcelle de dimensions mesurées à l'avance. Cette opération est répétée trois fois dans le temps en fixant la personne qui arrose et sur la même parcelle.

Détermination de la dose d'irrigation : Pour les systèmes de distribution impliquant l'utilisation des arrosoirs, on a utilisé des seaux gradués.

Pour les systèmes de distribution impliquant l'utilisation des pommes d'arrosoirs connectées à des tuyaux flexibles, nous avons utilisés des pluviomètres à lecture directe disposés à même le sol.

Paramètres hydrauliques du sol : La densité des sols de chaque périmètre (exploitant) étudié a été mesuré par la méthode gravimétrique. L'humidité à saturation et l'humidité à la capacité au champ ont été mesurées par la technique de drainage interne (Imbernon, 1981).

Bilan hydrique : Du fait de la diversité des pratiques culturales, des variétés et des conditions de sol, un bilan hydrique "moyen" a été déterminé par type de culture, par système d'irrigation et par localité. Ainsi des groupes ont été constitués pour les exploitants produisant la même culture et pratiquant le même système d'irrigation dans la même localité. Pour la réalisation du bilan, les doses moyennes par groupes ont été retenues. Quant à la date de repiquage utilisée, une date intermédiaire proche des valeurs du groupe des producteurs par système a été utilisée.

Un modèle simple en cascade a été utilisé. Le ruissellement R a été négligé. Le modèle conceptuel du bilan est présenté à la Figure 2. Les calculs ont été faits au pas de temps journalier sous Microsoft-Excel.

$$\Delta S = P + I - ETM - R - D$$

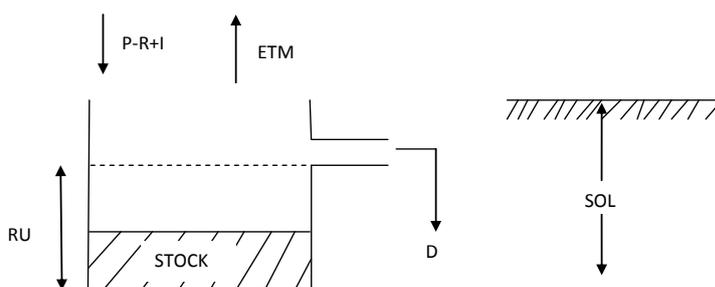


Figure 2: Modèle conceptuel du bilan hydrique

Pluviométrie : La pluviométrie des périodes de cultures a été obtenues à l'ASECNA-Cotonou. Pour la commune de Grand Popo, nous avons utilisés les données pluviométriques enregistrées à la ladite station. Pour les communes d'Aplahoué et de Klouékanmè, ce sont les données pluviométriques enregistrées à la station d'Aplahoué qui ont été utilisées.

Evapotranspiration maximale ou besoin en eau de la plante : ETM Elle a été calculée à partir de la formule suivante :

$$ETM = ETo \times Kc ;$$

Kc : le coefficient cultural

ETo : Evapotranspiration de référence (Penman-Monteith).

Les valeurs de Kc varient de 0,45 à 1,15 (cycle de 90 jours) pour la tomate et de 0,50 à 1,03 pour l'oignon (cycle de 100 jours) (Allen et al., 1998).

Les données de l'évapotranspiration ont été obtenues auprès de l'ASECNA-Cotonou. Les valeurs ETo de la station synoptique de Bohicon ont été utilisées pour les communes de Klouékanmè et d'Aplahoué, et celles de la station synoptique de Cotonou pour Grand Popo.

Les réserves utiles RU des sols ont été estimées sur la base des capacités au champ mesurées en considérant des profondeurs croissantes de façon linéaire suivant l'âge des plantes. Les

profondeurs maximales sont de 30 cm et 40 cm pour l'oignon et la tomate respectivement).

Optimisation des doses par simulation : Pour optimiser les doses afin d'améliorer l'efficience de l'irrigation nous avons effectué des simulations. Il s'agit de proposer des doses d'irrigation journalières de façon à minimiser les drainages ou perte d'eau au delà de la zone racinaire. Les doses ont été testées de façon successive par itération. Nous veillons à ce que le stock d'eau du sol ne descende pas en dessous du tiers de la réserve utile maximale afin que l'eau soit toujours facilement disponible et que le drainage soit minimisé.

RESULTATS ET DISCUSSIONS

Caractérisation des pratiques d'irrigation inventoriées: Trois types de systèmes ont été inventoriés: (1) les systèmes à exhaure motorisée et à distribution semi-automatique (EM-DsA), (2) les systèmes à exhaure motorisé et à distribution manuelle (EM-Dm) et (3) les systèmes à exhaure manuelle et à distribution manuelle (Em-Dm) (tableau 1).

Tableau 1 : Systèmes d'irrigation sur les sites maraîcher des départements du Mono-Couffo

	Exhaure manuel et distribution manuelle (EmDm)	Exhaure motorisé et distribution manuelle (EMDm)	Exhaure motorisé et distribution semi-automatique (EMDsA)
Mode d'exhaure	Manuel (seau, arrosoir) 	Motorisé 	Motorisé 
Mode de distribution	Manuel : arrosoir, bol 	Manuel : arrosoir 	Semi automatique : pomme d'arrosoir 

Système à exhaure motorisée et à distribution semi-automatique (EM-DsA) ou système motorisé : Dans ce cas la distribution de l'eau est faite sous pression. En effet, on se sert de la pression d'eau refoulée dans les canalisations par une motopompe pour arroser.

Dans le Littoral l'ensemble des canalisations constituant le système est souterrain. Ses canalisations sont constituées de tuyaux de PVC qui sont enterrés à 10 - 15 cm de profondeur dans les allées principales. Dans ses canalisations sont connectés des hydrants ou prise d'eau. Les pommes d'arrosoir portent chacune deux tuyaux flexibles de longueur pouvant aller jusqu'à 20m. Lors

de l'arrosage, les tuyaux flexibles munis pommes d'arrosoir sont déplacés d'hydrant en hydrant de sorte que les tuyaux soient le plus proche des planches afin de faciliter l'arrosage. La fermeture des hydrants est faite soit avec des tuyaux flexibles courbés en demi-cercle ou soit avec deux tuyaux courts à extrémité bouchée.

A Lanta le système d'irrigation est démontable et transportable. Il est mis en place en début d'arrosage. Ici la longueur de la canalisation dans l'allée principale est augmentée par un complément de tuyaux PVC, au fur et à mesure que l'on s'éloigne de la prise d'eau ou hydrant.

refoule l'eau dans une canalisation principale qui dessert d'autres canalisations secondaires qui lui sont perpendiculaires et ayant à leur extrémité un hydrant. Ici le système n'est pas démontable, chaque hydrant est associé à chaque tuyau flexible qui n'est pas déplaçable.

Système à exhaure motorisé et à distribution manuelle (EM-Dm) ou système semi manuel : Ce système a été observé uniquement dans la localité du Littoral. C'est le système où une partie du transport de l'eau est assurée sous pression. L'eau est refoulée par une pompe dans des bassins, à travers des canalisations constituées de tuyaux PVC. Les canalisations sont soit souterraines ou apparentes (au-dessus du sol). Lorsque les canalisations sont apparentes elles sont démontables et transportables. Au fur et à mesure que les bassins se remplissent, à l'aide d'arrosoir l'eau est transportée vers les planches pour la distribution. Ainsi après chaque arrosage le système de canalisation est démonté, puis rangé.

Dm) ou système manuel : Dans la localité du Littoral, ce système fonctionne un peu comme le système semi manuel, à la seule différence que tout le transport de l'eau est assuré par l'homme. De plus, la canalisation est apparente et démontable. La canalisation une fois montée est posée sur des tiges en bois en forme de Y et ayant une pente pouvant faciliter l'écoulement de l'eau depuis un puits au bassin. Du bassin la distribution est faite à l'aide des arrosoirs.

Dans la localité de Lanta, les arrosoirs sont remplis directement au niveau des puits creusés aux abords du ruisseau, puis ils sont ensuite transportés manuellement jusqu'aux parcelles pour l'arrosage.

Dans les autres localités l'arrosage qui est effectué n'implique pas la présence de canalisation. Tout le matériel d'irrigation est constitué de bol et de seau ou tout autre récipient pouvant assurer le transport et la distribution de l'eau jusqu'au niveau des planches maraichères.

Tableau 2 : Récapitulatif des systèmes d'irrigation

Communes	Localités	Systèmes		
		Exhaure manuel et distribution manuelle (EmDm)	Exhaure motorisé et distribution manuelle (EMDm)	Exhaure motorisé et distribution semi-automatique (EMDsA)
Grand Popo	Littoral	canalisation de transport existante	transport de l'eau en partie assurée par la pompe.	
	Djanglanmè			
Aplahoué	Dékpo			hydrants à crépines et robinets
	Gbaconou			
Klouékanmè	Tchikpé			
	Lanta	transport de l'eau par arrosoirs		canalisations déplaçables

 Système existant dans la localité

Les modes d'exhaures observés (tableau 2) dans la commune de Grand Popo sont en partie identiques à ceux indiqués dans les résultats de Atidéglà et al. (2010). En effet, ces derniers avaient inventorié dans la commune de Grand Popo deux formes d'exhaure manuelle dont l'utilisation de la pompe Naguézé, qui actuellement n'a été pas inventorié dans le présent travail. Tonouhéwa (2009) a aussi constaté que les pompes manuelles Naguézé sont en voie de disparition dans ladite commune.

Les systèmes d'irrigation inventoriés à Lanta sont identiques à ceux utilisés dans les communes de Porto Novo et de Sèm Podji (Agbossou, 2008).

Bilan hydrique : L'étude de la performance des systèmes d'irrigation a été réalisée dans la localité du Littoral. Les différents bilans hydriques réalisés pour l'ensemble des systèmes d'irrigation aussi bien pour les deux cultures révèlent d'importante quantité de perte d'eau (Tableau 3).

Tableau 3: Bilan hydrique et efficience d'application des différents systèmes d'irrigation dans le Littoral

Culture	Système	ETM cumulée (mm)	Pluie cumulée (mm)	Irrigation (mm)	Apport total (mm)	Perte d'eau (%)	Efficience d'application (%)
TOMATE	S2 Cas1 EM-Dm	363,3	477,1	1102,1	1579,2	77,0	23,0
	S2 Cas2 EM-Dm	363,3	477,1	1064,0	1541,1	76,4	23,6
	S3 Cas1 EM-DsA	375,7	463,6	1553,3	2016,9	81,4	18,6
	S3 Cas2 EM-DsA	494,0	463,6	1368,0	1902,9	80,3	19,7
OIGNON	S1 Cas1 Em-Dm	348,3	477,1	837,8	1314,9	73,5	26,5
	S1 Cas2 Em-Dm	348,3	477,1	991,4	1468,5	76,3	23,7
	S2 Cas1 EM-Dm	354,0	463,6	989,8	1453,4	75,6	24,4
	S2 Cas2 EM-Dm	420,8	463,6	959,5	1423,1	70,4	29,6
	S3 Cas1 EM-DsA	371,6	428,0	1403,3	1831,3	79,7	20,3
	S3 Cas2 EM-DsA	371,6	428,0	1140,1	1568,1	76,3	23,7

S1 ou Em-Dm : Système d'exhaure manuelle et distribution manuelle
 S2 ou EM-Dm: Système d'exhaure motorisée et distribution manuelle
 S3 ou EM-DsA: Système d'exhaure motorisée et distribution semi-automatique

Cas1 : un arrosage journalier pour la culture durant son cycle.

Cas2 : Deux arrosages par jour durant les quinze premiers jours et un arrosage tous les deux jours en fin de cycle.

Le bilan hydrique des cultures de tomate et d'oignon révèle d'énormes quantités de perte d'eau par drainage. Ce qui veut dire que les doses d'irrigations apportées sont nettement au-dessus des besoins des plantes. Et plus le système est motorisé, plus les pertes d'eau par drainage sont élevées. La motorisation entraîne plus de gaspillage d'eau du fait d'un défaut d'application des temps d'arrosage nécessaires. Les exploitants ont tendance à appliquer, pour les systèmes motorisés, les mêmes temps d'arrosage que les systèmes manuels alors que les intensités d'apport sont beaucoup plus élevées sous motorisation. Ainsi donc, il se révèle que le système d'irrigation motorisée est le système qui fournit les doses d'arrosages les plus élevées aux cultures suivi des systèmes semi motorisé et enfin des systèmes manuels.

Ses résultats sont en partie conformes aux travaux de Atidegla et al. (2010) qui affirment que les doses apportées en irrigation motorisée sont nettement supérieures aux doses apportées en irrigation manuelle. Mais ses résultats ne comparent pas les doses fournies par l'irrigation motorisée et semi motorisée.

Simulations et optimisation des doses d'irrigation : Les doses d'arrosages simulées varient de 2 à 10 mm par jour suivant les

stades de développement (Tableau 4). Pour la culture de tomate, les doses d'irrigation optimisées et proposées sont de 10 mm au premier jour de repiquage dans la localité du Littoral et les deux premiers jours pour les localités de Dékpo et de Gbaconou. Dans le Littoral, la dose de 2 mm pour le stade initial (10 jours), 3 mm pour le stade végétatif (20 jours) et 4 mm pour les stades de mi-saison (30 jours), final (30 jours) et durant les 10 premiers jours du stade récolte, et enfin la dose de 3 mm pour les jours restants. Pour Dékpo et Gbaconou, on a proposé 3 mm pour les stades initial, végétatif et final et durant les 10 premiers jours du stade de récolte, 5 mm pour le stade mi saison. Pour la culture de l'oignon, on a 2 mm au stade initial (15 jours), 3 mm pour le stade végétatif (25 jours) et 4 mm pour les jours restant du cycle. Cette optimisation permet d'améliorer voir doubler les efficacités et de réduire les pertes en eau de l'ordre de 75%. Pour des raisons d'ordre pratiques (nombre d'arrosoir; ou durée d'irrigation) les doses optimisées par simulation ont été ajustées en doses d'arrosage pratiques qui sont proposées (Tableau 5 et 6). Avec ses différentes doses proposées l'efficience d'application a doublé passant de 18,63% - 26,49% à 42,85%-50,81%, soit des pertes d'eau qui sont de l'ordre de 49 à 57 % suivant les systèmes. Les présentes efficacités d'application restent faibles pour l'aspersion à cause des pertes d'eau dues aux pluies importantes qui ne sont pas contrôlées.

Tableau 4: Récapitulatif de l'ensemble des simulations, des doses optimisées ainsi que leur efficience respective

Culture	localité	Système	Simulation		Proposition	
			Dose (mm)	Efficience d'application (%)	Dose (mm)	Efficience d'application (%)
Tomate	Littoral	Système semi manuel	2; 4; 5 et 10	50,11	2; 3; 4 et 10	44,25
		Système motorisé	2; 3; 4 et 10	50,63	2; 3; 4 et 10	48,11
	Gbaconou	Système manuel	2; 3; 5 et 10	54,04	2; 3; 5 et 10	50,81
		Système manuel	2; 3; 5 et 10	51,02	2; 3; 5 et 10	47,73
Oignon	Littoral	Système manuel	2; 3; 5 et puis 10	48,87	2; 3; 4 et 10	48,87
		Système semi manuel	3 et 4	52,17	2; 3; 4 et 10	52,17
		Système motorisé	3 et 4	51,41	2; 3; 4 et 10	51,41

Tableau 5 : Récapitulatif des doses optimisées par stade phénologique pour la culture de tomate

Culture	Stade initial (10jrs)	Stade végétatif (20jrs)	Stade mi saison (30 jrs)	Stade final (30jrs)	Stade récolte
Dose journalière (mm)	2	3	4	4	4 & 3
Nombre d'arrosoirs S= 15±2,3 m ²	3	4	6	6	6 et 4
Durée d'arrosage (min & s) Q=, 78l /min et S=62,31m ²	1min 35s	2min 23s	3min 10s	3min 10s	4

Tableau 6: Récapitulatif des doses d'irrigations optimisées par stade phénologique pour la culture d'oignon

Culture	Stade initial (15jrs)	Stade végétatif (25jrs)	Stade mi saison (25 jrs)	Stade final (35jrs)	Stade récolte
Dose journalière (mm)	2	3	4	4	4
Nombre d'arrosoirs S= 15±2,3 m ²	3	4	6	6	6
Durée d'arrosage (min & s) Q=, 78l/min et s=62,31m ²	1min 24s	2min 5s	2min 48s	2min 48s	2min 48s

CONCLUSION

On distingue dans les départements du Mono Couffo trois systèmes d'irrigations: (1) le système à exhaure manuelle et à distribution manuelle caractérisé par une forte implication de l'énergie humaine; (2) le système à exhaure motorisé et à distribution manuelle où l'énergie physique humaine est utilisée pour la distribution de l'eau à la parcelle; (3) le système à exhaure manuelle et à distribution semi-automatique où l'énergie physique humaine est utilisée pour la distribution de l'eau à la parcelle. Ces trois systèmes sont caractérisés par une efficience d'application de l'eau très faible qui est comprise entre 18,6 % et 24,36 % soit une perte d'eau de l'ordre de 75 %. Ceci démontre le niveau de gaspillage de l'eau au niveau de ces pratiques. Pour une meilleure utilisation de l'eau les simulations de bilan hydrique ont permis de proposer des doses d'irrigation journalières variant en général de 2 à 510 mm suivant les stades de développement. Avec ses différentes doses proposées l'efficience d'application varie entre 42,85%-50,81%, soit des pertes d'eau qui sont de l'ordre de 49 à 57 % suivant les systèmes. Les pertes d'eau résiduelles sont dues aux précipitations (pluies) qui ne sont pas prévisibles à l'heure actuelle pour minimiser leur effet sur le drainage.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Afangbedji G., 2007 : Produits alimentaires au Bénin : La tomate et le paradoxe de la flambée. Média terre- Source: <http://www.mediaterrre.org/afrique-ouest/actu,20070523114737.html> (consulté en Nov 2010)
- Agbossou, L.D.E.E. 2008: Déterminants de la durabilité des pratiques d'irrigation en Agriculture Périurbaine et Urbaine (APU) dans la commune de Porto-Novo et sa périphérie . Mémoire d'Ingénieur Agronome, Faculté des Sciences Agronomiques (FSA), Université d'Abomey Calavi, Abomey Calavi, Bénin; 85 p.
- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., Smith, M., 1998. Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements; FAO Irrigation and drainage paper 56. FAO, Rome, p. 300.
- Atidegla S., Agbossou E. K. & Braïma J. 2010: Étude comparée des modes d'irrigation dans les exploitations maraichères urbaines et péri urbaines de la commune de Grand-Popo au Bénin Annales des Sciences Agronomiques Vol 13, No 2, pp :41-67
- Imbernon J. 1981: Variabilité spatiale des caractéristiques hydrodynamiques d'un sol Sénégal: application au calcul d'un bilan sous culture. These de doctorat 3ème Cycle, Université Scientifique et Médicale, et Institut National Polytechnique de Grenoble. Grenoble
- Mastrorilli M., 2003: Programmation irriguée et analyse de la gestion de l'eau. Projet cible changements climatiques et agriculture "climagri-med" FAO 2003 http://www.fao.org/sd/climagrimed/f_1_03_32.html (consulté en Nov 2010)
- Sagbohan J., 1998 : La protection phytosanitaire des cultures maraichères In Formation des TSPV des CARDER du sud et Zou-sud. DAGRI/SPVC,
- Tonouhewa A., 2009 : Projet de renforcement des capacités nationales de suivi des ressources en eau axe sur la gestion de l'eau agricole. Profil Benin Rapport de consultation. Edition définitive. 75

EFFETS DE DEUX ENGRAIS ORGANIQUES SUR LA CROISSANCE ET LE DEVELOPPEMENT DE DEUX VARIETES DE TOMATES CULTIVEES SUR LES SOLS HYDROMOPHES DE PARAKOU AU NORD BENIN

S. F-X. BACHABI, M. A. D. AMOUSSOU, A. Y. J. AKOSSOU

BP 123, Parakou (Bénin)

RESUME

Cette étude vise à promouvoir l'utilisation des engrais organiques dans la production de la tomate sur les périmètres maraîchers de la commune de Parakou. Pour ce faire, l'effet de différentes doses (0t/ha; 20t/ha; 30t/ha; 40t/ha) de fientes de poulets et de bouses de vaches a été évalué sur deux variétés de tomate (variété locale "Tomati" et variété "Rossol"), à travers un dispositif de Fischer. Les résultats ont montré que les fientes de poulets présentent des proportions en N, P, K supérieures à celles des bouses de vaches. Les fortes productions en nombre de fruits sont obtenues avec la variété locale. Les fientes de poulets ont permis d'obtenir de bons rendements avec les doses optimales de 29t/ha pour la variété "Rossol" et 30,5t/ha pour la variété locale "Tomati".

Mots clés : Fertilité, engrais organique, tomate, Nord Bénin.

ABSTRACT

This study aims to promote the use of organic fertilizers in the production of vegetables on the market gardens of the Parakou district. To do this, the effect of different doses (0t/ha; 20t/ha; 30t/ha; 40t/ha) of chicken droppings and cow dung was evaluated on two tomato varieties (local variety "Tomati" and variety "Rossol"), through a Fischer design. The results showed that chicken droppings are proportions of N, P, K higher than those of cow dung. The high number of fruit productions is obtained with the local variety. The droppings of chickens have achieved good yields with optimal doses of 29 t/ha for variety "Rossol" and 30.5 t/ha for the local variety "Tomati".

Keywords: Fertility, organic fertilizer, tomato, northern Benin.

INTRODUCTION

Le Bénin est un pays dont l'économie repose essentiellement sur l'agriculture. La population agricole est estimée à 3,2 millions d'habitants (INSAE, 2002). Le secteur agricole occupe plus des deux tiers de la population active (Beninensis, 2011). Selon les rapports des ateliers nationaux et départementaux tenus dans le cadre de l'Initiative sur la Fertilité des Sols au Bénin, les producteurs signalent la baisse de fertilité comme une des principales difficultés actuelles de production (IFS, 2002). Pour remédier à ce problème, on assiste au développement d'une agriculture conventionnelle qui consiste en une utilisation abusive des produits d'origine chimique. A la suite des effets négatifs constatés dans l'utilisation des produits chimiques, les nouvelles pratiques en cours pour augmenter la teneur des sols en matières organiques par exemple dans le Nord du Bénin consiste à la collecte et au stockage des déjections animales dans des fosses, au parage rotatif dans les champs et au paillage des champs avec des tiges de céréales (Djènontin et al, 2003). Ces produits organiques ont l'avantage d'améliorer la structure des sols et d'enrichir sa flore microbienne (Genest, 2002). Par ailleurs, le taux d'urbanisation déjà élevé au Bénin, a subi un accroissement, atteignant 35,7% en 2002 à cause d'un exode rural massif des populations rurales (INSAE, 2003). Cette augmentation de la population urbaine a entraîné une forte demande alimentaire en milieu urbain que l'agriculture rurale n'arrive plus à satisfaire (Moustier, 2005). Adorgloh et Hessou (2006), ont montré dans une étude portant sur le développement de l'entreprise de production et de commercialisation des légumes de qualité dans les régions urbaines et péri urbaines du sud Bénin, qu'après l'année 2006,

la demande de légumes va subir un accroissement de 3% toutes les années. Il importe donc de fournir des légumes de qualité afin d'assurer une sécurité alimentaire à tous. Parmi les légumes, la tomate occupe une place importante. En effet, elle est l'un des fruits les plus importants dans l'alimentation humaine. Elle est répartie dans toutes les zones climatiques (Huat, 2008). Elle peut aussi être produite en saison normale (saison des pluies) comme en contre saison (saison sèche). Au Bénin, elle est le principal légume fruit et représente un important complément alimentaire pour la population béninoise (Sikirou et al., 2007). Dans le cadre de la promotion de l'agriculture biologique dans la production de légumes sur les périmètres maraîchers de la commune de Parakou, ce travail a pour objectif d'analyser et d'évaluer l'effet de la bouse de vaches et des fientes de poulets sur la production de tomate.

MATERIELS ET METHODES

Site expérimental :

L'essai a été réalisé sur le périmètre maraîcher de l'abattoir situé dans le premier arrondissement de la commune de Parakou. Ce site est situé dans la zone soudano guinéenne caractérisée par des précipitations unimodales et une pluviométrie annuelle de 1100 mm. Le sol est de type ferrugineux tropical, avec une température moyenne annuelle variant entre 30°C et 39°C et une humidité relative moyenne de 98% et minimum de 31%.

Dispositif expérimental :

Le dispositif expérimental utilisé est un bloc de Fisher avec trois répétitions. Les facteurs contrôlés sont :

- l'engrais organique avec deux modalités (bouses de vaches et fientes de poulets) ;
- la dose d'application des engrais avec quatre modalités : $D_0 = 0$ t/ha ; $D_1 = 15$ t/ha ; $D_2 = 30$ t/ha et $D_3 = 40$ t/ha, correspondant respectivement aux proportions de 1/2, 1, et 2/3 de la dose optimale d'engrais organique recommandée (30 t/ha) dans la littérature pour la fertilisation d'un hectare de superficie pour la tomate ;
- la variété de tomate avec deux modalités (Tomati et Rossol).

Les parcelles élémentaires sont des planches carrées de 4 m² de surface (2 m x 2 m). La mise en œuvre du dispositif (16 traitements avec 3 répétitions) a nécessité 48 parcelles élémentaires. Sur chaque parcelle élémentaire 16 plants sont mis en terre avec un écartement de 0,6 m entre les plants et une bordure de 0,1 m aux extrémités des parcelles soit une densité de 40 000 plants par hectare. Un écart de 0,5 m a également été prévu entre les parcelles élémentaires et des allées de 1 m entre les blocs.

Les engrais organiques ont été enfouis sur les parcelles élémentaires deux semaines avant le repiquage sous forme de fumure de fond puis en dose unique.

Au laboratoire, des échantillons de 100 grammes des fientes de poulets et des bouses de vaches ont été analysés pour déterminer l'azote total, le phosphore assimilable, le potassium, le calcium et le magnésium échangeable.

Données collectées :

Les données collectées concernent la hauteur des plants, la phénologie et le rendement.

Les mesures de hauteur des plants ont été prises une semaine après le repiquage sur quatre plants choisis au hasard par

Tableau 1 : Teneurs en N, P, K, Ca et Mg des fientes de poulets et des bouses de vaches

Engrais	N (mg/kg)	P (mg/kg)	K (mg/kg)	Ca (mg/kg)	Mg (mg/kg)
Fiente de poulets	46,3	29,8	40,6	79,1	38,6
Bouse de vaches	8,4	13,2	26,7	122,2	82,4

Croissance en hauteur des plants :

Les courbes de la figure 1 présentent les effets de deux sources d'engrais organiques appliqués à différentes doses sur la taille des plants de deux variétés de tomates. Il ressort de ces courbes que pour les deux engrais, les tailles évoluent en fonction de l'âge des plants. On observe également que les fortes doses induisent une croissance plus rapide des plants. D'une façon générale, on constate que les valeurs les plus élevées de la hauteur sont observées pour les fientes de poulets et la variété "Rossol" ($48,33 \pm 7,63$ cm) avec la dose de 20 t/ha. Pour les bouses de vaches les valeurs les plus élevées de la hauteur ($59,17 \pm 12,10$ cm) sont observées avec la dose de 30 t/ha. Au niveau de la variété locale "Tomati" les valeurs les plus élevées de la hauteur ($57,20 \pm 8,23$ cm) sont observées avec la dose de 40 t/ha pour les fientes de poulets. Pour les bouses de vaches les grandes tailles ($65,67 \pm 8,34$ cm) sont observées également avec la dose de 40 t/ha. A travers

parcelle élémentaire et poursuivies toutes les semaines jusqu'à l'apparition des boutons floraux.

Les données phénologiques concernent la date de semis en pépinière, la date de repiquage, le nombre de semaines séparant la date du repiquage à l'apparition des boutons floraux, la période séparant la date d'apparition des boutons floraux aux premières fleurs, la période séparant la date d'apparition des premières fleurs à la formation des premiers fruits, la période séparant la date d'apparition des premiers fruits à la maturité physiologique, et la période séparant la date de la maturité physiologique à l'apparition des fruits colorés.

Les rendements sont calculés au niveau des quatre plants choisis pour chaque traitement par unité parcellaire et sont rapportés par hectare. Ce rendement concerne le nombre et le poids des fruits.

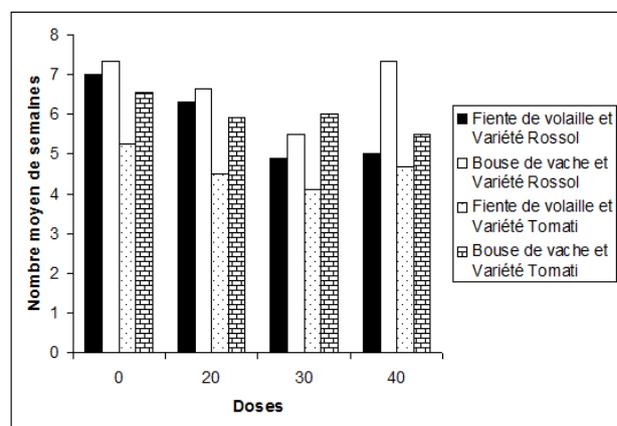
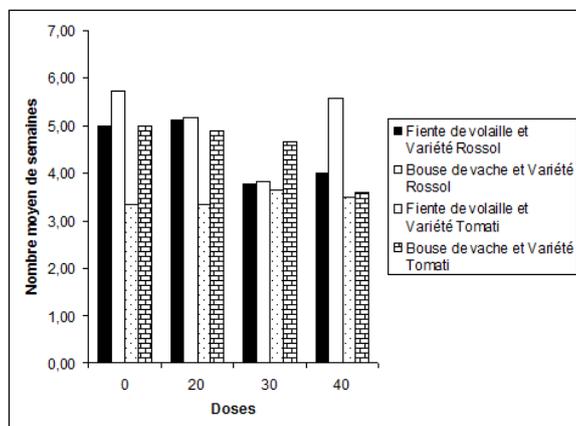
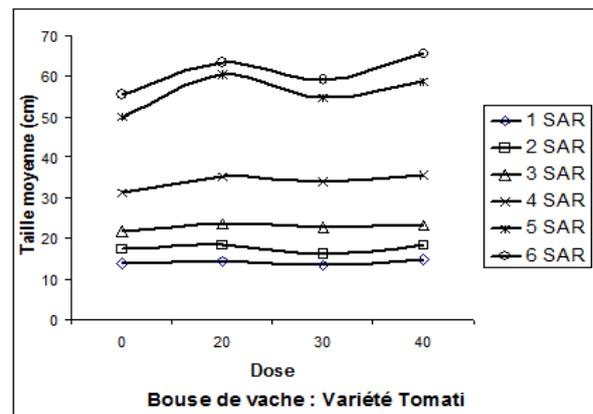
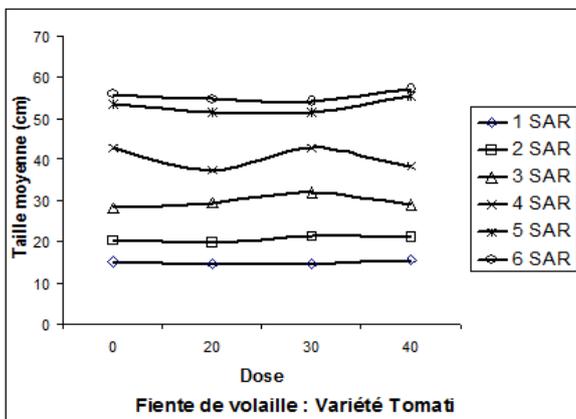
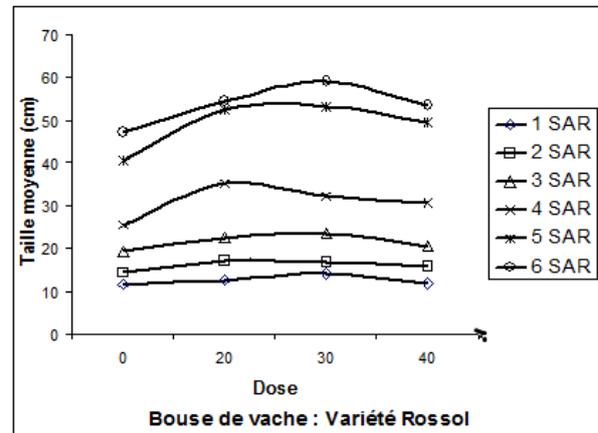
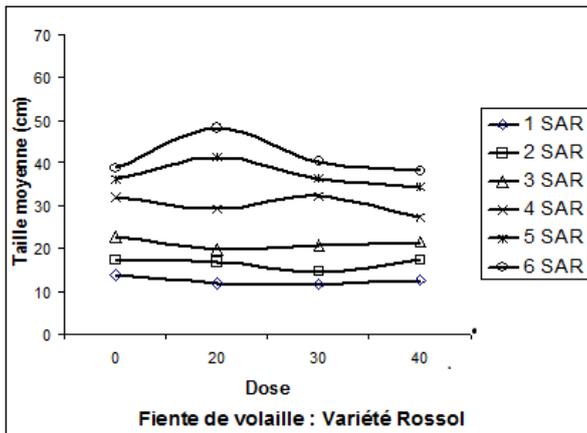
Analyse statistique :

Les données ont été analysées avec le logiciel SAS. La séparation des moyennes a été faite en utilisant le test de Newman and Keuls (SNK). La surface de réponse du rendement en fonction de la dose pour chaque type d'engrais et pour chaque variété a été étudiée afin de déterminer la dose optimale.

RESULTATS**Caractéristiques chimiques des deux engrais organiques :**

Les deux engrais présentent des proportions en N, P, K, Ca et Mg différentes. Les quantités de N, P et K observées au niveau des fientes de poulets sont plus élevées que celles des bouses de vaches avec des coefficients de 5,5 ; 2,2 ; 1,5 fois supérieurs. Par contre, les quantités en Ca et Mg sont moins importantes dans les fientes de poulets que dans les bouses de vaches avec des coefficients de 1,5 ; 2,1 fois inférieurs (tableau 1).

ces courbes nous notons également une similitude dans l'allure des tailles pour les deux sources d'engrais malgré les différentes doses d'application durant les deux premières semaines. A partir de la troisième semaine les différences se font observer. D'une manière globale la variété locale « Tomati » et la bouse présentent des plants de tailles plus élevées.



1 SAR = une semaine après repiquage, 2 SAR = deux semaines après repiquage, 3 SAR = trois semaines après repiquage, 4 SAR = quatre semaines après repiquage, 5 SAR = cinq semaines après repiquage, 6 SAR = six semaines après repiquage ; Dose : t /ha.

Figure 1 : Evolution de la taille des plants en fonction de la dose pour les deux engrais organiques et les deux variétés de tomate

Figure 2 : Nombre moyen de semaines avant l'apparition des premiers bougeons floraux pour les différents niveaux de doses d'engrais et de variétés

Floraison

La figure 2 présente le nombre moyen de semaines séparant la date de repiquage à la date d'apparition des boutons floraux pour les deux sources d'engrais organiques combinées avec les deux variétés de tomate. On constate que le nombre de semaines est plus faible avec l'utilisation des fientes de poulets pour la variété "Tomati" à des doses de 0t/ha et de 20t/ha ($3,33 \pm 0,49$ SAR ; $3,33 \pm 1,3$ SAR). Le début de floraison a été plus long ($5,75 \pm 1,29$ SAR) avec les bouses de vaches pour la dose de 0t/ha avec la variété "Rossol". Toutefois, la plupart des plants ont fleuri avant la sixième semaine.

Formation des fruits

Les effets des deux sources d'engrais organiques sur la formation des fruits (figure 3) montre que l'apparition des fruits est plus rapide ($4,09 \pm 1,04$ SAR) pour la variété "Tomati" avec la dose de 30t de fientes de poulets à l'hectare. Par contre, la durée la plus longue de formation des fruits ($7,33 \pm 0,98$ SAR) a été observée chez la variété "Rossol" pour la dose de 30t de bouses de vache à l'hectare. On note cependant, que tous les plants donnent des fruits avant la huitième semaine.

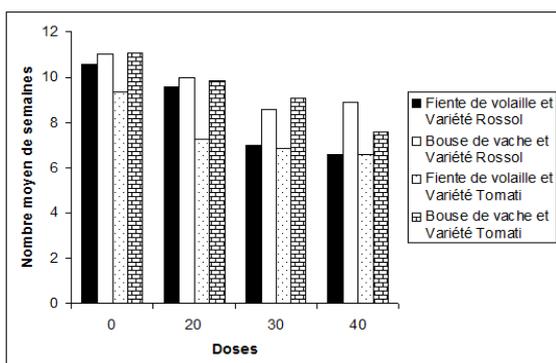


Figure 3 : Nombre moyen de semaines avant la formation des premiers fruits pour les différents niveaux de doses d'engrais et de variétés

Maturation physiologique et totale

Les effets des deux sources d'engrais organiques sur la maturation physiologique des fruits (figure 4) montre que la maturité physiologique est apparue plus vite ($6,55 \pm 1,13$

SAR) chez la variété "Rossol" pour les fientes de poulets avec la dose de 40t/ha. On observe un retard ($11,08 \pm 1,08$ SAR) au niveau de la variété "Tomati" avec la dose de 0t/ha pour les bouses de vaches. Tous les plants sont arrivés à la maturité physiologique avant la douzième semaine.

Les fientes de poulets à une dose de 40t/ha accélèrent plus vite la maturation totale des fruits ($8,00 \pm 1,34$ SAR) chez de la variété "Rossol" (figure 5). Par contre, un retard ($14,08 \pm 1,44$ SAR) est observé au niveau de la variété locale "Tomati" cultivée sans engrais. L'ensemble des fruits atteint la maturation totale avant la quinzième semaine.

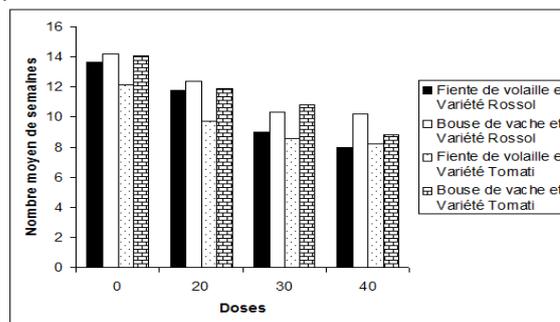


Figure 4 : Nombre moyen de semaines avant la maturation physiologique des premiers fruits pour les différents niveaux de doses d'engrais et de variétés

Rendement :

Les résultats de l'analyse de variance montre que les interactions d'ordre trois (combinaisons des différentes sources d'engrais organiques, des différentes doses d'application et des variétés) et d'ordre deux ne présentent pas des effets significatifs sur le rendement de la tomate. Par contre, les différents facteurs (sources d'engrais organiques, doses d'application et variétés) pris de façon isolée présentent des effets significatifs ($P < 0,05$) sur le rendement. Le tableau 13 donne les valeurs moyennes \pm erreurs standards du rendement des deux sources d'engrais organiques appliqués à différentes doses sur les deux variétés de tomates. A la lecture de ce tableau, on constate que la valeur élevée du rendement ($17,43 \pm 3,57$ t/ha) est observée pour la variété "Rossol" avec les fientes de poulets appliquées à la dose de 30t/ha. La valeur la plus élevée pour la variété locale "Tomati" ($18,33 \pm 3,13$ t/ha) est enregistrée également avec les fientes de poulets pour la dose de 40t/ha.

Tableau 2 : Valeurs moyennes \pm erreurs standards des rendements des deux variétés de tomate pour les deux sources d'engrais organiques appliqués à différentes doses

Engrais	Variétés	Doses (t/ha)	Rendement (t/ha)
FV	Rossol	0	9,32 \pm 2,08a
		20	15,08 \pm 2,15c
		30	17,43 \pm 3,57c
		40	15,98 \pm 3,83c
		Moyenne	14,44 \pm 2,91A
BV	Rossol	0	5,77 \pm 3,20a
		20	10,39 \pm 3,89b
		30	10,15 \pm 4,10b
		40	10,58 \pm 1,03b
		Moyenne	9,22 \pm 3,05B
FV	Tomati	0	11,33 \pm 2,10b
		20	17,83 \pm 3,40c
		30	16,71 \pm 3,85c
		40	18,33 \pm 3,13c
		Moyenne	16,05 \pm 3,12A
BV	Tomati	0	11,95 \pm 2,32b
		20	11,77 \pm 3,79b
		30	16,70 \pm 3,55c
		40	18,24 \pm 3,80c
		Moyenne	14,66 \pm 3,36A

Détermination des doses optimales : La figure 6 présente les surfaces de réponse du rendement en fonction de la dose pour les

différentes variétés et engrais organiques. Les différents ajustements sont présentés dans le tableau 3.

Tableau 3 : Equations du rendement en fonction de la dose pour les différentes variétés et engrais organiques.

Engrais	Variétés	Equations
FV	Rossol	$Y = -0,0093x^2 + 0,5417x + 9,2531$ ($R^2=0,9984$)
BV	Rossol	$Y = -0,0059x^2 + 0,3419x + 5,9674$ ($R^2=0,9281$)
FV	Tomati	$Y = -0,0071x^2 + 0,4302x + 11,717$ ($R^2=0,8507$)
BV	Tomati	$Y = -0,0044x^2 + 0,3166x + 12,205$ ($R^2=0,9119$)

FV : Fientes de volailles BV : Bouses de vaches

Dans les différentes équations Y représente le rendement et x les doses d'application. On remarque que le pourcentage de variation du rendement expliqué par les variations de la dose varie entre 85,07% et 99,98%. L'étude de ces surfaces de réponse a permis de déterminer la dose optimale pour les différentes modalités. Elle avoisine 29t/ha, 28t/ha, 30,5t/ha et

36t/ha respectivement pour la variété "Rossol" soumise aux fientes de poulets, la variété "Rossol" soumise aux bouses de vaches, la variété locale "Tomati" soumise aux fientes de poulets et la variété locale "Tomati" soumise aux bouses de vaches.

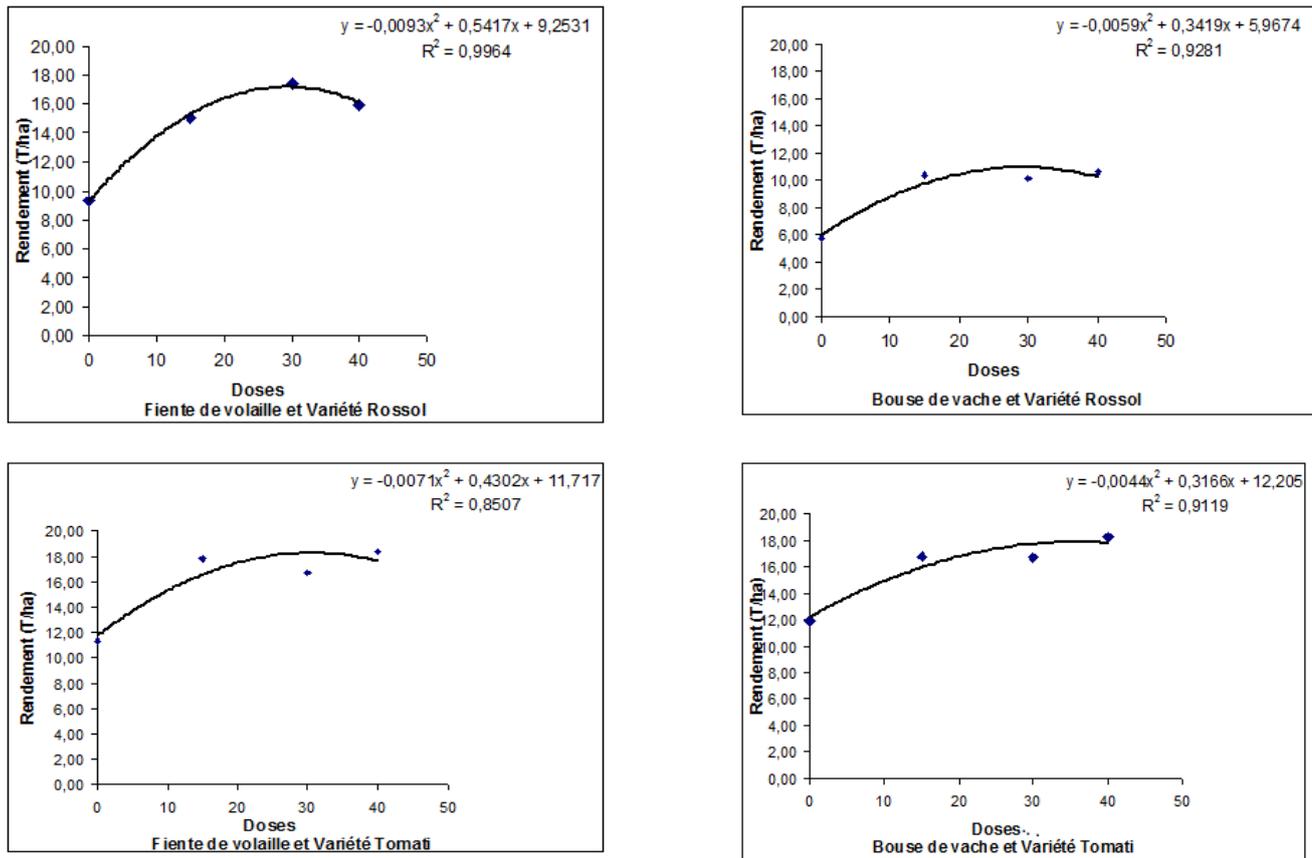


Figure 6 : Courbes montrant les effets des deux sources avec différentes doses d'application sur le rendement des deux variétés de tomates

DISCUSSION

Les teneurs en éléments minéraux N, P, K, Ca et Mg des engrais organiques varient suivant les conditions d'élevage des animaux. Les fortes teneurs notées au niveau des fientes de poulets sont surtout liées à l'alimentation de base de ceux-ci et qui contient en effet, une grande quantité de céréales. Les proportions en N, P, K observées sont conformes à celles constatées par Rouguet (2010) dans ces travaux sur les fientes de poulets. Levasseur et al. (2006) mentionne que ces teneurs peuvent atteindre 40g/kg, 30g/kg et 25g/kg respectivement pour N, P, K. Les valeurs observées sont donc dans les mêmes ordres de grandeurs, excepté le potassium qui présente une valeur relativement plus élevée. Rouguet, (2010) a trouvé pour la bouse de vache, les teneurs en N, P, K respectivement de 6 mg/kg, 3 mg/kg et 8mg/kg. Christophe (2005) par contre a observé les teneurs en N, P respectivement de 26 mg/kg et 66 mg/kg. Ces teneurs sont différentes de celles observées dans la présente étude. Ceci n'est que la confirmation du fait que les éléments minéraux des engrais organiques sont fonction des conditions d'élevage des animaux. Les éléments minéraux ont une influence sur la croissance et le développement des plantes. L'analyse de la croissance des plants a révélé une corrélation positive entre la hauteur des plants et la dose d'engrais organique apportée. Les plants les plus hauts sont obtenus avec les bouses de vache. Ce résultat peut s'expliquer par une décomposition totale de l'azote contenu dans cet engrais organique (0,84%), car la bouse de vaches est un engrais de qualité notamment pour sa teneur non négligeable en azote qui est un élément primordial pour le développement des végétaux (Christophe, 2005). L'azote constitue également un facteur

essentiel de croissance des plants surtout au niveau des feuilles et des tiges (Assogba-Komlan et al., 2007). Les résultats obtenus ne sont pas cependant en concordance avec ceux de Tonfack et al. (2009) qui ont travaillé sur les andosols pauvres en phosphore avec deux variétés de tomates ("Rosso" et "Rio grande" et cinq différentes sources d'engrais dont le fumier de volaille. Les résultats ne corroborent pas aussi avec ceux de Seck et al. (2010) qui ont travaillé sur la possibilité d'intensification de la culture de tomate F₁ "Mongal" uniquement basée sur la fumure organique au Sénégal. Les résultats obtenus au cours de ces différents travaux ont montré que les fumiers de volailles induisent une bonne croissance des plants. La courte durée de la période phénologique ($8,0 \pm 1,34$ SAR pour la variété "Rosso" et $8,20 \pm 0,79$ SAR pour la variété locale "Tomati") observée avec les fientes de poulets peut s'expliquer par les fortes teneurs en azote et en phosphore de cet engrais dont les plantes ont bénéficié pour assurer rapidement leur croissance et leur développement. Par contre, la période est plus longue ($10,25 \pm 0,7$ SAR pour la variété "Rosso" et $8,83 \pm 0,94$ SAR pour la variété locale "Tomati") avec les bouses de vaches. Ce résultat peut s'expliquer par le fait que les bouses de vaches présentent des teneurs en azote et en phosphore relativement faibles.

Les différentes sources d'engrais organiques ont influencé différemment le rendement des deux variétés de tomate. Les rendements maximaux obtenus avec les fientes de poulets pour les doses optimales de 29 t/ha et 30 t/ha s'expliquent par la richesse des fientes de poulets en éléments nutritifs. En effet, selon Bressoud et Arrufat (2009) les fortes doses d'engrais permettent un léger enrichissement du sol en matières organiques. Or, la matière organique permet l'alimentation des plantes en libérant

des éléments minéraux (Soltner, 2003). Naika et al., (2005) ont montré que les fientes de poulets ont beaucoup de valeurs, car les plantes peuvent absorber assez facilement les éléments qu'elles contiennent.

CONCLUSION

L'objectif global de cette étude était de montrer l'effet bénéfique de l'utilisation des engrais organiques dans la production de légumes sur les périmètres maraîchers de la commune de Parakou. Il apparaît à travers les résultats que les fientes de poulets présentent une quantité en N, P, K supérieure à celle des bouses de vaches. Par contre, les bouses de vaches ont des proportions en Ca et Mg supérieures comparativement aux fientes de poulets. Les doses de 29t/ha de fientes de poulets pour la variété "Rossol" et 30,5t/ha de fientes de poulets pour la variété locale "Tomati" permettent d'avoir les meilleurs rendements. Les bouses de vaches quant à elles n'ont pas influencé le rendement de la variété "Rossol". Mais elles ont eu un effet positif sur le rendement de la variété locale "Tomati" avec la dose de 36t/ha. L'application des bouses de vaches à une dose de 40t/ha sur la variété locale "Tomati" a permis d'obtenir le meilleur rendement.

REFERENCES

- Adorgloh-Hessou R. A., 2006. Guide pour le développement de l'entreprise de production et de commercialisation de légumes de qualité dans les régions urbaines et périurbaines du Sud-Bénin. Rapport de consultation, IITA – Bénin, 82 p.
- Assogba-Komlan F., Anihouvi P., Achigan E., Sikirou R., Boko A., Adje C., Ahle V., Vodouhe R., Assa A., 2007. Pratiques culturales et teneur en éléments anti nutritionnels (nitrates et pesticides) du *Solanum macrocarpum* au sud du Bénin, African Journal of Food, Nutrition and Development, Vol. 7, No. 4, 21p.
- Beninensis., 2011. Quelques généralités sur le Bénin.
- Bressoud F., Arrufat A., 2009. Amendements organiques et maraîchage biologique sous abri-observation après 6 années d'apport. Innovations Agronomiques, Vol, 4, p15-21.
- Christophe J-D, 2005. La Bouse : Historique, Importance et Ecosystème. Thèse pour le Doctorat Vétérinaire, 82p.
- Djènontin A.J., Amidou M., Baco M.N. 2003. Valorisation des résidus de récolte dans l'exploitation agricole au nord du Bénin. Production de fumier et enfouissement des résidus de récolte pour la gestion de la fertilité des sols, 11 p.
- Genest R., 2002. Le jardin potager : les engrais minéraux, organiques et soluble <http://lesbeauxjardins.com/jardinons/potager/apengrais.htm>, Consulté le 02/02/2011
- <http://siteresources.worldbank.org/INTARD/864477-1112694413817/20434263/Beninifspanaction2002.pdf>, Consulté le 10/03/2011
- http://www.beninensis.net/benin_generalites.htm, Consulté le 05/10/2011
- [http://www.insae-bj.org/2012/doc/recensement/synthese_des_analyses_rgph3.pdf](http://www.chambres-agriculture-picardie.fr/fileadmin/documents/publications/chambres_agriculture/chambre_d_agriculture_de_la_Somme/Publications/Cahiers_techniques/CT_%C3%A9A9pandage_juillet2010.pdf), Consulté le 20/02/2011
- <http://www.insae-bj.org/2012/jupiter/metho/RGPH/RGPH3/Rapport%20g%E9n%E9ral%20RGPH3.pdf>, Consulté le 10/02/2011
- Huat J., 2008. Diagnostic sur la variabilité des modes de conduite d'une culture et de leurs conséquences agronomiques dans une agriculture fortement soumise aux incertitudes : cas de la tomate de plein champ à Mayotte, Thèse, Institut des Sciences et Industries du Vivant et de l'Environnement (Agro Paris Tech), 264p.
- IFS., 2002. Plan d'action opérationnel pour la gestion durable de la fertilité des sols, 45p.
- INSAE., 2003. Troisième recensement général de la population. février 2002. Principaux indicateurs socio-démographiques. Direction des études démographiques, Cotonou.
- INSAE., 2002. Recensement Général de la Population et de l'Habitation (RGPH). Rapport général, 234 p.
- Levasseur P., Aubert C., 2006. Contexte, atouts et faiblesses des effluents porcins et avicoles destinés à être exportés. Techni Porc vol. 29 No2, 11p.
- Moustier P., De Bon H., 2005. Fonction d'alimentation et multifonctionnalité des agricultures périurbaines des villes du Sud. Les cahiers de la multifonctionnalité, 8 :9-16.
- Naika S., Van Lidt de Jeude J., de Goffau M., Hilmi M., van Dam B., 2005. La culture de la tomate production, transformation et commercialisation Agrodok 17, © Fondation Agromisa et CTA, Wageningen, 105p.
- Rouguet D., 2010. Epannage des produits organiques, 12p.
- Seck A., Trawaly F., 2010. Possibilité d'intensification de la culture de la tomate F1 Mongal uniquement basée sur la fumure organique. Tropiculture No164
- Sikirou R., Zannou A., Ghèhounou G., Afouda L., Assogba Komlan F., 2007. Sélection des variétés de tomate résistante (*Lycopersicon esculentum*) résistantes la pourriture du collet causée par *Sclerotium rolfsii* au sud du Bénin, in Bulletin de recherche agronomique du Bénin, N° 55, pp 8-16.
- Soltner D., 2003. Les bases de la production végétale Tome 1. Le sol et son amélioration.
- Tonfack L. B., Bernadac A., Youmbi E., Mbouapouognigni P., Nguenguim M., Akoa A., 2009. Impact of organic and inorganic fertilizers on tomato vigor, yield and fruit composition under tropical andosol soil conditions. CIRAD, EDP Sciences 2009.

ANALYSE SOCIOECONOMIQUE DU SYSTEME DE COMMERCIALISATION DES PRODUITS ISSUS DE L'ANACARDIER (*ANACARDIUM OCCIDENTALE*) DANS LES DEPARTEMENTS DES COLLINES, DE L'ATACORA ET DE LA DONGA AU BENIN

G. NOUATIN

gnouatin@yahoo.fr

RESUME

La présente étude vise à analyser les caractéristiques de structure et de conduite du marché ; d'évaluer la performance de commercialisation par une analyse des marges brutes unitaires au niveau de chaque acteur. Elle a été conduite dans les communes de Glazoué, de Savalou, de Bassila et de Kouandé. La taille de l'échantillon est répartie comme suit : 100 producteurs, 50 acheteurs et 01 société exportatrice. La méthodologie a été aussi bien qualitative que quantitative. Elle a pour fil conducteur, le paradigme Structure Conduite Performance. Les outils de collecte des données sont les interviews structurés et semi-structurés, les observations participantes et la triangulation. Les résultats ont montré que les femmes sont les actrices les plus importantes dans le système de commercialisation. Aussi, il existe diverses stratégies de vente et d'achat au niveau de ces acteurs. Le marché des noix de cajou est globalement inefficace, et on pourrait s'attendre à une entrée de nouveaux acteurs dans le système de commercialisation.

Mots clés : Anacarde, commercialisation, Structure, Conduite, Performance

ABSTRACT

The present study, which deals with "socio-economic analysis of *Anacardium occidentale* products marketing system in Atacora, Collines and Donga department of Bénin" aims at identifying and describing the characteristics of the actors involved in the marketing and distribution systems of *Anacardium occidentale*. It also describes and analyzes the behavior of the actors playing a role in the system, and determines the gross and net margins gain by each actor. The study was conducted in the Communes of Glazoue, Savalou, Kouande and Bassila and the sample size was 100 producers, 50 purchasers and 01 exporting company. The theoretical background which guides this study is related on Structure, Conduct and Performance (SCP) paradigm. Quantitative and qualitative methodology have been used. The data have been collected through some structured and semi-structured interviews, observations and triangulation.

The results reveal that women were important actors in the marketing system. There were various strategies of selling and purchasing of the different actors. The marketing system of the *Anacardium occidentale* products was overall inefficient and the actors had more or less positive margins. Thus, this activity is interesting and other actors could enter the system.

Key words : Anacarde, commercialization, Structure, Conduite, Performance

INTRODUCTION

Dans le souci de trouver un palliatif aux problèmes de malnutrition et de pauvreté auxquels sont confrontés les pays sous-développés, des profondes réflexions ont été menées par divers organismes. Parmi les conclusions retenues, une idée force a émergé et mérite bien une attention particulière : «*Pour lutter contre la pauvreté, le soutien au développement des cultures vivrières n'est pas la solution exclusive, ni même parfois la plus sûre*» (RONGEAD, 2004). Dans un tel contexte, le soutien aux producteurs qui, en fin de compte, sont les mieux à même d'améliorer et de sécuriser, à moyen et à long terme, les revenus des paysans des zones difficiles semble répondre à ce problème. A ce titre, la noix de cajou s'est révélée au Bénin, depuis les années 90, comme une production capable de répondre à la fois à cet objectif, et aussi d'améliorer la protection de l'écosystème dans un pays menacé de déforestation (Aïna, 1996 ; Gagnon, 1998 ; Grimaud, 1998 ; Dossche, 1999 et RONGEAD, 2004). Et dans la mesure où cette production arboricole s'est révélée rentable (Aïna, 1996), on assiste dans tout le Bénin à une forte dynamique naturelle de plantation (Charre et Thomann, 1999). Les produits issus de l'anacardier prennent de plus en plus de l'ampleur dans le monde. La valeur alimentaire de la noix et l'intérêt industrielle du baume sont les principales causes de l'importance accordée à cette culture (Grimaud, 1998). L'usage de la noix de cajou dans l'alimentation des animaux tels que le porc par exemple génère des revenus supplémentaires aux éleveurs (Yao et al., 2013). L'exportation de l'anacarde au Bénin a connu un essor depuis les années 1990. Elle constitue actuellement la deuxième culture

d'exportation après le coton ; et s'accroît d'année en année du fait de l'entrée en production de nouvelles plantations et de la faible consommation intérieure (JITAP, 2000a).

Tirant leçon des aspirations des paysans, Lamien et Traoré (2002) émettent l'hypothèse selon laquelle plus une espèce ligneuse offre des avantages alimentaires ou financiers, mieux les paysans s'investissent à la planter ou à l'entretenir.

Cependant, tout développement de marché d'un produit passe nécessairement par une bonne connaissance des pratiques de consommation et de commercialisation déjà existantes. Dans les pays en voie de développement en général et au Bénin en particulier, les paysans restent très souvent en début du circuit de commercialisation des produits de rente et d'exportation ; là où les bénéfices sont les plus bas et la plus value la moins importante (INADES, 2002, cité par Agaï, 2004). La situation n'est pas différente en ce qui concerne les noix de cajou. Les producteurs des noix de cajou ne parviennent pas encore à tirer partie de leur produit (JITAP, 2000b).

La présente étude a pour objectif général de faire une analyse économique du système de commercialisation de l'anacarde.

MATERIEL ET METHODES

Zone d'étude : La présente étude a été réalisée dans les départements de l'Atacora- Donga et des Zou- Collines compte tenu du fait qu'ils font partie des quatre départements producteurs d'anacarde qui offrent des conditions favorables à sa production au Bénin (Adegbola et al., 2005). Les communes de Glazoué et Savalou dans les Zou- Collines, de Bassila et de Kouandé dans l'Atacora - Donga ont été étudiées. Elles ont été

choisies selon la place qu'elles occupent dans la production d'anacarde qui constitue une source importante de revenu des producteurs selon les personnes ressources rencontrées (agents du Centre Communal pour la Promotion Agricole (CeCPA), producteurs, sages, responsables d'ONG et projets de développement). Leur position géographique Bénin est présentée sur la carte ci-dessous.

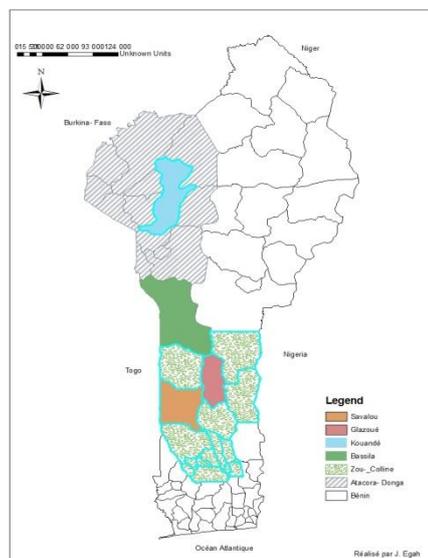


Figure : Carte de la zone d'étude

Il faut préciser que les statistiques sur la production ne sont pas disponibles (Adegbola et Ofio, 2005). Glazoué et Savalou sont -L'ancienneté dans la production : ce critère permet d'avoir dans l'échantillon les producteurs expérimentés et ceux qui sont peu expérimentés en matière de culture d'anacarde.

Tableau N°1: Producteurs retenus par critère d'échantillonnage

Catégories	Gros producteurs		Petits producteurs		Total
	Jeunes	Adultes	Jeunes	Adultes	
Expérimentés	14	20	16	10	60
Peu expérimentés	10	10	10	10	40
Total	24	30	26	20	100

➤ Les acheteurs de noix de cajou

Les questionnaires ont été adressés à quatre (04) catégories d'acteurs à savoir : les ramasseurs de noix, les collecteurs, les transformateurs et acheteurs (grossistes et détaillants). Il n'existe pas de critères discriminatoires dans le choix des unités enquêtées. Ces dernières sont toutes impliquées à un niveau ou à

soumises aux influences d'un climat tropical humide de type Soudano guinéen caractérisé par l'alternance de deux saisons pluvieuses et de deux saisons sèches. Dans ces deux communes, Quant à Bassila et Kouandé, elles sont sous l'influence d'un climat de type soudanien marqué par l'alternance d'une saison pluvieuse et d'une saison sèche.

Deux villages producteurs d'anacarde ont été choisis par commune en fonction de l'importance des activités de ramassage et de transformation des noix de cajou dont ils font l'objet. A cela, ce sont ajoutés d'autres critères tels que l'accessibilité de la zone, la présence relative d'acheteurs de noix de cajou et la répartition géographique. Ainsi, les villages de Aklankpa et Sokponta à Glazoué, de Dagadoho et Logosovidji à Savalou, de Igbomakro et Alédjo à Bassila, de Birni et Guilmaro à Kouandé ont été choisis.

Choix des unités de recherche

➤ Les producteurs de noix de cajou

Au total, 100 producteurs ont été interviewés de façon aléatoire et raisonnée en ce sens que le choix des enquêtés a été basé sur la superficie de plantation d'anacarde, de l'âge du producteur et de son expérience dans la production d'anacarde.

- La superficie emblavée : deux catégories de producteurs ont été distingués. Il s'agit des petits producteurs (ayant une superficie inférieure à la moyenne) et les gros producteurs (ayant une superficie supérieure ou égale à la moyenne). Il faut préciser que la moyenne de la superficie a été obtenue auprès du CeCPA qui dispose de la liste des producteurs d'anacarde et des superficies qu'ils emblavent.

-L'âge des producteurs : ce critère permet de catégoriser les jeunes et les vieux qui s'adonnent à cette speculation.

Le tableau 1 présente la répartition des producteurs selon les critères susmentionnés.

un autre dans la collecte, la transformation et la commercialisation des noix et sont choisies de façon aléatoire. Au total 50 unités ont été enquêtées. Le tableau N°2 donne la taille de l'échantillon (acheteur) par village et la répartition de ces villages par Commune.

Tableau N°3 : Acheteurs retenus par village

Acteurs		Collec- teurs	Courtiers collecteurs	Semi- grossistes	Grossistes	Totaux
Villages						
Glazoué	Aklankpa	4	2	1	1	8
	Sokponta	2	2	1	-	5
Savalou	Dagadoho	2	2	1	-	5
	Logosovidji	2	1	1	1	5
Bassila	Igbomakro	3	2	1	1	7
	Alédjo	2	2	1	-	5
Kouandé	Birni	4	3	1	1	9
	Guilmaro	3	2	1	-	6
Totaux		22	16	8	4	50

La collecte des données a consisté en des entretiens structurés et semi structurés adressés aux différentes unités de recherche par l'administration de fiches. Elle a été exécutée en 30 jours (février

à mars) par un (01) enquêteur recruté par commune, soit au total quatre (04).

Méthodes d'analyse

Il n'existe pas de méthode recommandée pour analyser les marchés des produits forestiers non ligneux (Kaaria, 1998). Selon ce dernier, l'approche Structure-Conduite-Performance (SCP) qui a été conçue et expérimentée pour les marchés des secteurs industriels et agricoles est celle qui a été la plus utilisée dans les cas d'étude de marchés des produits forestiers non ligneux, notamment aux Philippines, au Népal, en Haïti, au Cameroun et en Indonésie. En effet, dans le but d'étudier le fonctionnement des marchés, le paradigme SCP élaboré par Bain

en 1959 cité par Lutz (1994) a été utilisé par plusieurs chercheurs. Au départ, la méthode a servi à l'évaluation de la performance des marchés industriels aux Etats Unis. Le paradigme a trouvé par la suite son application dans le secteur agricole (Lamien et Traoré, 2002) et a régulièrement servi comme outil d'analyse de la performance du système de commercialisation. La méthode distingue trois volets dans l'analyse du marché : la structure du marché, sa conduite et sa performance.

Le contenu de chacun de ces trois volets est montré dans le tableau N°3.

Tableau 3 : Eléments de Structure, de conduite et de performance du marché

Eléments de la <i>structure</i>	Eléments de la <i>conduite</i>	Eléments de la <i>performance</i>
-Types d'intermédiaires intervenant dans le marché	-Achats/Relations avec les fournisseurs	-Effectivité de la performance
-Types de circuits de commercialisation	-Vente/Relations avec les clients	-Efficacité de la performance
-Types de marchés	-Déterminants du prix	-Intégration du marché
-Unités de mesure et normes de qualité utilisées	-Circulation de l'information	-Analyse des différences de prix entre les différents segments du marché

Nous avons utilisé le paradigme Structure - Conduite - Performance (SCP) comme méthode principale d'analyse des données. Les éléments d'ordre qualitatif tels que l'identification et la caractérisation des acteurs du système de commercialisation des noix de cajou, les techniques de stockage et de conservation, les arrangements de vente et d'achat ont fait l'objet d'une analyse descriptive. Les calculs de quelques paramètres statistiques tels que les fréquences, les moyennes, les écart-types nous ont permis de bien illustrer les résultats.

Les indicateurs de performance utilisés ont été la marge brute. Ces indicateurs ont été ramenés à l'unité (le kilogramme) de produit commercialisé et ont été estimés au niveau de chaque catégorie d'acteurs du système de commercialisation.

La marge de commercialisation (MB) est la différence entre le produit brut (PB) et les charges variables (CV).

$$MB = \text{Produit brut (PB)} - \text{Charges variables (CV)} \quad (1)$$

Le produit brut est la multiplication de la quantité totale (Qt) de produit vendu par le prix de vente unitaire (pu).

$$\text{Produit brut} = Qt * pu \quad (2)$$

Au niveau de toutes les catégories d'acteurs (collecteurs et grossistes de noix d'une part, transformateurs, grossistes et détaillants d'autre part), il existe deux périodes de vente, donc deux différents prix de vente unitaires. Ce qui donne naissance à un Produit Brut Total (PBT) donné par :

$$PBT = [\text{quantité vendue à la récolte ou à la transformation} * \text{prix unitaire correspondant}] + [\text{quantité vendue après stockage} * \text{prix unitaire}] \quad (3)$$

Les charges variables sont constituées du prix d'achat de l'anacarde, des coûts de transport, des droits de place au marché, des coûts de certains intrants comme le bois de chauffage pour la transformation de l'anacarde.

$$\text{Charges variables pour les collecteurs} = [\text{Quantité de noix achetées} * \text{prix unitaire à l'achat des noix} + \text{transport}] \quad (4)$$

$$\text{Charges variables pour les transformateurs} = [\text{Quantité de noix achetées} * \text{prix unitaire à l'achat} + \text{coûts des bois de chauffage} + \text{droits de place}] \quad (5)$$

RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

Structure des marchés des noix de cajou

Lieux de vente des produits : Les collecteurs savent en général que la récolte des noix se fait au cours d'une période donnée. De ce fait, ils se rendent dans les villages pour s'en procurer. La vente se fait alors soit au domicile des producteurs lorsque les acheteurs décident de passer de maison en maison, soit sur la place du marché même si ce dernier ne s'anime pas. Il s'agit donc ici d'un marché virtuel où les produits ne sont pas exposés sur une place de marché, mais font objet de transactions. Lorsque la vente a lieu sur la place du marché, le prix d'achat de la tonne de noix est unique et toutes les ramasseuses vendent leurs produits au même prix. Mais dans le cas où la vente a lieu dans les maisons ou sur les pistes des champs de production, il est encore possible de débattre du prix, même si ce dernier ne varie pas beaucoup pour une même période. Donc, le lieu de vente est un facteur déterminant du prix des amandes.

Par ailleurs aucune norme ne réglemente le marché des noix de cajou. Les acheteurs peuvent donc y entrer et en sortir sans risque et sans aucun coût. Le marché des noix de cajou est de ce fait contestable. Cette situation pourrait favoriser l'émergence de nombreux acheteurs des noix de cajou.

Acteurs du système de commercialisation : Les acteurs se présentent sous plusieurs formes selon leurs rôles dans le circuit de commercialisation des noix de cajou.

Les collecteurs de noix de cajou : Ce sont les premiers acteurs de la chaîne et représentent 44% des acheteurs enquêtés. Ils ont pour tâche, d'assembler les noix de cajou. Ils sont en contact direct avec les producteurs dans les maisons, au besoin les champs pour assurer la collecte des noix de cajou. Cette activité

des collecteurs ne dépasse guère les frontières du village parce qu'ils travaillent pour le compte d'un autre (93%). Les transactions d'achat se font souvent à l'aide de pesons (54%) ou des bassines (46%) pour mesurer les noix.

Les courtiers collecteurs : Représentant environ 32% des acheteurs enquêtés Ils travaillent aussi pour le compte de tiers et s'appuient sur les collecteurs pour rassembler à leur tour les noix achetées par les collecteurs. Dans la plupart des cas (74,45%), ils ne sont pas en contact direct avec les producteurs parce qu'ils vaquent à d'autres activités génératrices de revenus au moment où les collecteurs vont à la rencontre des producteurs. Cependant, des producteurs peuvent leur faire appel directement si leur production atteint un tonnage plus ou moins important.

Les semi-grossistes : Occupant 16% des acheteurs, ils sont des intermédiaires d'un niveau plus élevé que les deux précédents, qui vont se ravitailler auprès de ces derniers pour constituer des stocks.

Les grossistes : Ils représentent 8% des acheteurs de noix de cajou. Ils sont à un niveau supérieur aux précédents. Ils ne vivent pas dans la zone de production, mais viennent sporadiquement dans les villages pour récupérer les noix commandées à l'avance ou achetées aussitôt. Ce sont des sociétés qui sont directement en contact avec l'exportateur dont ils sont les mandataires.

Unités de mesure : Le marché de noix de cajou connaît l'utilisation des instruments de mesure dont l'unité est le kilogramme (kg) ou la tonne (t). Les différents types de balances utilisées selon les types d'acteurs sont:

- collecteurs : balance de portée 20kg

- courtiers collecteurs : balance de portée 20kg, 50kg ou 100kg selon les circonstances
- Semi-grossistes : balance de portée 50kg, 100kg et 150kg
- grossistes : balance de portée 150kg.

Cependant les producteurs se plaignent du fait qu'ils sont escroqués par les acheteurs au niveau de la bascule. En effet, les acheteurs sont capables de diminuer la sensibilité des balances et paient moins qu'ils n'achètent de noix de cajou. Ces inquiétudes sont similaires à celles de Lutz (1994) qui remarque que la manipulation des unités de mesure constitue un savoir faire de certains acheteurs dans le processus de négociation de prix. Dans ce cas, le producteur est le gros perdant avec une marge bénéficiaire plus faible. Pour contourner ces difficultés, les producteurs utilisent des objets (généralement des pierres) dont ils connaissent préalablement le poids pour jauger les balances. Ceci leur permet de prendre les décisions qui s'imposent ; refuser ou accepter de vendre le produit aux acheteurs. Il faudrait donc veiller au contrôle des unités de mesure avant toute opération d'achat et de vente des noix de cajou.

Circuit de commercialisation : Deux principaux circuits sont empruntés par les noix de cajou dans les communes de Glazoué, Savalou, Bassila et Kouandé (figure 1). Il s'agit de circuit long et celui court.

Le circuit long concerne tous les acteurs du système de commercialisation (producteurs, collecteurs, courtiers collecteurs ; semi-grossistes et grossistes, exportateur et consommateurs).

Dans le circuit court, les noix de cajou passent directement des producteurs aux semi-grossistes et grossistes, à l'exportateur puis aux consommateurs.

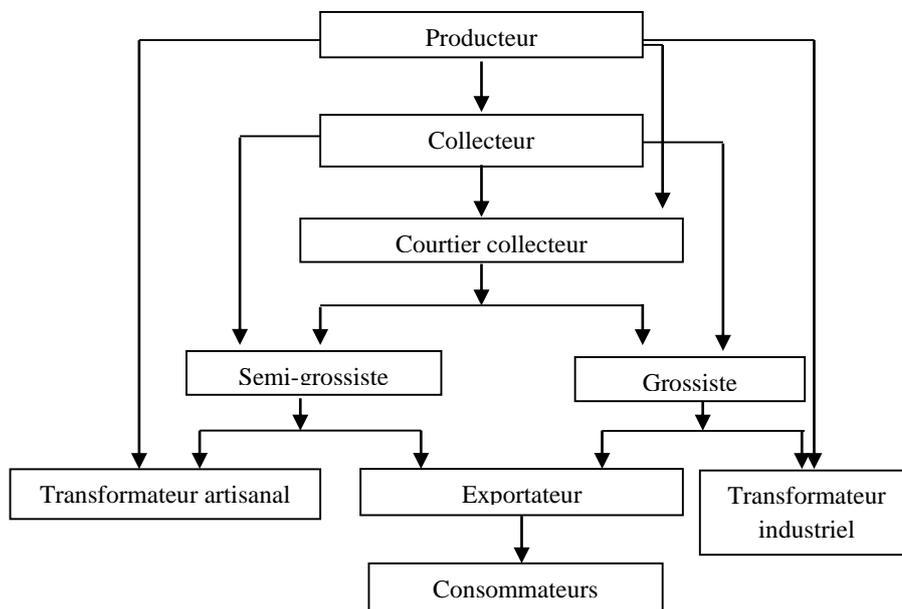


Figure N°1 : Circuit de commercialisation des noix de cajou

La filière anacarde connaît une multitude d'acteurs qui confirment ceux révélés par Adégbola et Zinsou (2010). Il s'agit des courtiers, des collecteurs, des grossistes, des collecteurs-courtiers et des exportateurs. On note donc une coexistence de deux circuits de commercialisation des noix d'anacarde contrairement à la commercialisation de riz local caractérisée par trois grands circuits (cycles court, moyen et long) (Koffi et N'dri, 2006).

Conduite des acteurs du système de commercialisation des noix de cajou

Modes de vente par les producteurs

Deux types de vente ont été observés. Il s'agit de la vente individuelle et celle collective.

La vente individuelle est pratiquée par 46,70% des producteurs enquêtés. Elle se fait en cas de besoins financiers pressants chez le producteur. Les commerçants passent de maison en maison pour acheter les noix.

La vente collective ou groupée passe par le regroupement des produits par les producteurs. Après négociation de prix avec les commerçants par les responsables des groupements dans chaque village, la vente est faite au niveau village ou commune. Cette expérience de commercialisation collective de noix de cajou a eu donc un impact réel sur le prix d'achat au producteur selon 54% des enquêtés. Les producteurs ont vendu à un prix supérieur au prix proposé par les collecteurs (240 - 250 F cfa/Kg au lieu de 200) par la réduction de la chaîne commerciale (vente directe sans intermédiaire).

Performance des marchés des noix de cajou

Analyse des marges de commercialisation

Toutes les marges du système de commercialisation des noix de cajou ont été estimées par kilogramme de noix vendue. Elles ont été déterminées pour chaque catégorie d'acteurs.

Les marges de commercialisations ont été déterminées entre les divers acteurs intervenant dans le système de commercialisation. Les résultats obtenus sont consignés dans le tableau N°4.

Tableau 4 : Marges de commercialisation entre les diverses catégories d'acheteurs des noix de cajou

Source de variation	Somme des carrés	Degré de liberté (ddl)	Carrés moyens	F de Fisher	Signification
Inter - groupe	2754,471	3	918,157	3,934	0,019**
Intra - groupe	10969,46	47	233,392		
Total	13723,931	49			

Légende : ** significatif à 5%

Il y a une différence significative entre la marge de commercialisation des diverses catégories d'acheteurs intervenant dans le système de commercialisation au seuil de 5%. Qu'en est-il de la différence de moyenne entre les marges de

commercialisation des divers acteurs pris deux à deux? Le tableau N°5 qui comporte les résultats de la plus petite différence significative nous permet de répondre à cette question.

Tableau 5 : Différence de moyenne des marges de commercialisation entre les différents acteurs

Catégorie A	Catégorie B	Différence de moyenne (A-B)	Erreur type	Signification
Collecteurs	Courtiers collecteurs	2,003	5,428	0,142
	Semi grossistes	-13,283	7,366	0,07*
	Grossistes	-29,267	10,856	0,002***
Courtiers collecteurs	Semi grossistes	-14,634	7,745	0,08*
	Grossistes	-31,270	10,113	0,02**
Semi grossistes	Grossistes	-15,826	11,174	0,134

Légende : * significatif à 10% ; ** significatif à 5% ; *** significatif à 1%

L'analyse de ce tableau révèle que :

- il n'y a pas une différence significative entre la moyenne de marge de commercialisation des collecteurs et des courtiers collecteurs. Cette absence de variabilité entre les marges s'explique par le fait que les collecteurs et des courtiers collecteurs vendent les noix de cajou à la même période qui est celle du ramassage. Il y a donc peu de spéculation sur le produit. Par conséquent, les prix de vente des noix ne varient pas et sont relativement faibles car les noix existent en abondance (loi de l'offre et de la demande).
- la différence de moyenne est très hautement significative (au seuil de $\alpha = 1\%$) entre les collecteurs et les grossistes, d'une part et significative (au seuil de $\alpha = 5\%$) entre les courtiers collecteurs et les grossistes d'autre part. La différence de moyenne est significative (au seuil de $\alpha = 10\%$) entre les collecteurs et les grossistes d'une part et entre les courtiers collecteurs et les semis grossistes d'autre part.

La période de vente des amandes explique la variabilité observée. En effet, les collecteurs et les courtiers collecteurs vendent la grande partie de leurs noix au cours de la période de fructification des pieds d'anacarde. Dans ce cas, les noix coûtent moins chères et les marges de ces acteurs diminuent comparativement à ceux qui les vendent en période de pénurie. Les noix sont vendues plus chères, parfois au double de leur prix de la période d'abondance.

Ces derniers ont des marges plus élevées. Il arrive aussi que certains collecteurs ne transportent pas les noix vers les villes, mais les gardent auprès des paysans. Dans cette situation, ils réduisent les frais de transport et leurs marges s'en trouvent augmentées.

En résumé, les collecteurs et les courtiers collecteurs font la plus grande partie du travail dans des conditions assez difficiles et pas très commodes (sous le soleil et sous la pluie, dans la brousse exposées aux intempéries, aux serpents, avec une prise de risque maximum, etc.) mais les bénéfices reviennent aux autres commerçants (semis grossistes et grossistes). Les marges obtenues par les grossistes sont en moyenne de 50,12 FCFA (écart-type = 29,32) par kilogramme, les semis grossistes 35,294 FCFA ($\pm 10,50$), les courtiers collecteurs 12,45 FCFA ($\pm 13,76$) et les collecteurs 14,453 FCFA ($\pm 15,432$).

De tout ce qui précède, il ressort que les acteurs du système de commercialisation des noix de cajou tirent profit de leur activité.

Efficacité de la commercialisation

L'objectif de cette partie est de comparer les coûts aux marges de commercialisation pour savoir si chaque segment du marché est efficace ou non. Les résultats sont consignés dans le tableau N°6.

Tableau 6 : Comparaison des coûts et des marges de commercialisation par catégorie d'acteurs

Catégories d'acheteurs	Marge brute moyenne (FCFA) (A)	Coût moyen de commercialisation (FCFA) (B)	A – B	ddl	Valeur de t Student
Collecteurs	14,453	2,956	11,497	21	4,255***
Courtiers collecteurs	12,45	8,712	3,738	15	5,293***
Semis grossistes	35,294	16,536	18,758	7	8,393**
Grossistes	50,12	39,349	10,771	3	4,481

Légende : * significatif à 10% ; ** significatif à 5% ; *** significatif à 1%

Il existe une différence significative entre les coûts et marges de commercialisation des collecteurs (au seuil de 1%), des courtiers collecteurs (au seuil de 1%) et des semis grossistes (au seuil de 5%) au niveau de qui les marges brutes sont supérieures aux coûts. Nous concluons donc que les différents acteurs du système de commercialisation ont donc la possibilité de réaliser des surprofits par kilogramme de noix de cajou. Ce résultat confirme l'assertion de Adegbola et Zinsou (2010) selon lesquels la filière anacarde génère ainsi des revenus aussi bien pour les planteurs que pour les autres acteurs de la filière (commerçants, transformateurs, exportateurs, etc.) et pour l'Etat. Cependant, la différence n'est pas significative au niveau des grossistes. Ceci serait dû à la taille de l'échantillon qui est très faible, ne permettant pas d'avoir un résultat fiable.

De ce qui précède, il ressort que le marché des noix de cajou est globalement inefficace, et on pourrait s'attendre à une entrée de nouveaux acteurs dans le système de commercialisation car les marges obtenues sont intéressantes. Ce qui s'assimile au marché du riz local qui est certes concurrentiel, mais caractérisé par des pratiques monopolistiques et oligopolistiques de certains intermédiaires commerciaux (Koffi et N'dri, 2006).

La marge brute réalisée par les producteurs est-elle inférieure à celle réalisée par les acheteurs comme évoqués dans la problématique de la présente étude ? Il serait intéressant dans cette partie de comparer les deux marges brutes par kilogramme de noix pour tirer les conclusions qui s'imposent. Les résultats de cette comparaison sont résumés dans le tableau N°7.

Tableau 7 : Comparaison des marges brutes des producteurs et des acheteurs de noix de cajou

Marge brute moyenne des producteurs (FCFA) (A)	Marge brute moyenne des acheteurs (FCFA) (B)	Différence moyenne (A – B)	Valeur de t Student
13,623	28,079	-14,456	3,668***

Légende : *** significatif à 1%

L'analyse du tableau montre qu'il y a une différence significative entre les marges brutes moyennes des producteurs et des acheteurs. Ainsi, les activités de production et de commercialisation des noix de cajou sont rentables. Mais cette rentabilité est beaucoup plus prononcée au niveau des acheteurs que les producteurs. La marge des acheteurs est le double de celle des producteurs. Cette divergence d'intérêt ne favorise guerre les producteurs qui sont les premiers dans la chaîne de valeur comparativement aux commerçants qui se retrouvent sur toute la ligne après la production (Adegbola et al., 2006). Cette distorsion est due à l'absence de coordination dans la vente et à l'absence d'informations fiable sur les opportunités au niveau des producteurs. Aussi, la rentabilité économique de la production dépend toutefois des rendements et du prix d'achat (Assiri et al., 2012).

CONCLUSION

Il ressort de cette étude que le système de commercialisation des noix de cajou dans les Communes de Glazoué, Savalou, Bassila et Kouandé regroupe plusieurs acteurs à savoir: les collecteurs, les courtiers collecteurs, les semis grossistes, les grossistes, les transformateurs et les exportateurs.

Dans ce système, les producteurs sont exploités ; ils travaillent beaucoup mais sont peu rémunérés car ils bradent leurs produits ne pouvant gérer convenablement les problèmes de conservation. Or, le système de commercialisation des noix de cajou est globalement inefficace parce que les coûts de commercialisation sont inférieurs aux marges brutes obtenues par chaque catégorie

d'acheteurs. Les acteurs peuvent alors tirer des profits plus élevés de leurs activités.

La commercialisation des noix de cajou est une activité assez lucrative pour les producteurs de la zone d'étude. Elle leur permet de gagner de l'argent pour la satisfaction de leurs besoins. Mais du fait de l'inorganisation de la filière au Bénin, la majeure partie des marges bénéficiaires se trouve au niveau des commerçants (collecteurs, grossistes et exportateurs d'amandes), privant ainsi les producteurs du fruit de leurs efforts, les prix étant fixés par la société exportatrice de façon arbitraire.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Adégbidi A. (1996). *Structure, conduite et performance du marché de porc local au Sud Bénin*. Série d'économie et de sociologie rurale. FSA/UNB, 20p.
- Adegbola P. Y. et Zinsou J. (2010). Analyse des déterminants des exportations béninoises de noix d'anacarde. Contributed Paper presented at the Joint 3rd
- African Association of Agricultural Economists (AAAE) and 48th Agricultural Economists Association of South Africa (AEASA) Conference, Cape Town, South Africa, September 19-23, 2010.
- Agaï G. (2004). *Analyse socio-économique de la commercialisation des noix de cajou dans les Communes de Banté et Savalou*, Thèse d'Ingénieur Agronome, FSA/UAC, Abomey-Calavi, Bénin, 93p.

- Aïna, M. (1996). *L'anacardier dans le système de production au niveau paysan : une étude de la rentabilité économique et de la gestion du terroir : commune rurale d'Agoua*. Thèse d'Ingénieur Agronome, FSA/UAC, Abomey-Calavi, Bénin.
- Assiri A. A., Kacou E. A., Assi F. A., Ekra K. S., Dji K. F., Couloud J. Y. et Yapo A. R. (2012). Rentabilité économique des techniques de réhabilitation et de replantation des vieux vergers de cacaoyers (*Theobroma cacao*L.) en Côte d'Ivoire ; *Journal of Animal & Plant Sciences* ; Vol. 14 (2) : 1939-1951.
- Charre, B. et Thomann, M. (1999). Accompagner l'introduction des plantes pérennes dans une exploitation agricole :
- Dossche, T. (1999). *La dynamique de plantation d'arbres et son intégration dans l'exploitation agricole au centre de Bénin (Savè) : quel rôle pour arboracle, une méthode d'aide à la décision de l'introduction des plantes pérennes dans une exploitation agricole*. Mémoire de DEAT, CNEARC, ESAT, 88p.
- Fanou K. L. (1996). *Cours de commercialisation-marketing (1^{ère} partie)* FSA/ Coopération Universitaire Bénino-Nerlandaise, Cotonou, 61p.
- Gagnon, B.M. (1998). *Etude sur la filière anacarde au Bénin : rapport définitif*. Programme Entrepreneuriat, Bénin.
- Grimaud, M. (1998). *Identification approfondie des organisations professionnelles de la filière anacarde au Bénin : fiche d'identification*. Programme Entrepreneuriat, Bénin.
- JITAP (2002a). *Offre nationale*. Sous ensemble 12/JITAP/CCI/CNUCED/OMC, pp 1-45.
- JITAP (2002b). *Stratégie sectorielle de développement et de promotion des exportations et plan d'action marketing expert*. Sous ensemble 12/JITAP/CCI/CNUCED/OMC, pp 1-5.
- Kaaria, K. S. (1998). *The Economic Potential of wild fruit Trees in Malawi*. Thesis, University of Minnesota, 186p.
- Koffi C. et N'Dri K. (2006). Marché et commercialisation du riz local au Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire. *Agronomie Africaine* ; Vol. 18 (3): 299-308.
- Lamien, N. et Traoré, S. (2002). *Commercialisation des produits non ligneux des arbres de la zone semi-aride du Burkina Faso : cas des feuilles sèches de baobab (Adansonia digitata L.)*. 2^{ème} Atelier Régional sur les Aspects Socio-économiques de l'Agroforesterie au Sahel, Bamako, Mali, 2002, 9p.
- Lutz, C. (1994). *The functioning of the maize market in Benin: spatial and temporel arbitrage on the market of a staple food crop*, University of Amsterdam, 219p
- RONGEAD (2004). *Projet anacarde : appui à la professionnalisation de la filière anacarde pour lutter contre la pauvreté et la diversification dans le nord-est de la Cote-d'Ivoire*.
- Tabué, N. (2009). *Analyse économique du système de commercialisation des produits issus de l'anacardier (Anacardium occidentale) dans les départements de l'Atacora des Collines et de la Donga au Bénin*. Mémoire pour l'obtention du diplôme de Master II. Institut International de Management, Cotonou, Bénin.
- Yao K. S. A., Kimse M., Soro D. et Fantodji A. (2013). Effet de l'incorporation de la noix de cajou dans les rations alimentaires sur les performances de croissance des porcs : phases post-sevrage et de croissance. *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 7 (2): 479-488.

QUANTIFICATION ET ESSAI DE DECOMPOSITION EXPERIMENTAL DES DECHETS ORGANIQUES DANS LA VILLE DE PARAKOU (NORD-BENIN)

I. YOLOU*, R. AKIYO*, M. BATAMOSSI**, E. OGOUWALE***, F. AFOUDA***, C. OUINSAVI**, N. SOULEMANE**, N. SOKPON**

isidorkary@yahoo.fr;

RESUME

L'appauvrissement des sols fait que les agriculteurs urbains se retrouvent souvent contraints d'utiliser les engrais chimiques qui pourraient avoir des impacts négatifs sur les végétaux et sur l'environnement. La valorisation des déchets solides biodégradables peut contribuer à la résolution des problèmes de baisse de fertilité des sols. La quantification et l'essai de décomposition expérimental des déchets organiques de la ville de Parakou ont été étudiés sur la base de collecte et de pesée des déchets organiques pendant 91 jours après passage à l'étuve jusqu'à poids constant (60° C pendant 72 heures). A cet effet, 45 points de collecte d'ordures organiques (dont 15 dans les marchés, 15 aux abords des restaurants-gargoteries et 15 dans les ménages) ont été installés et suivis. Cette étude est faite par perte pondérale de 150 g de chaque type de fragments de déchets organiques. Ces déchets sont disposés dans les sachets cousus 20 cm x 20 cm, en toile moustiquaire à mailles fines, dans un dispositif de bloc aléatoire complet à un traitement répété 12 fois. Environ 490 t de déchets organiques en poids sec sont produits annuellement dans la ville de Parakou constitués à 84 % de végétaux, 12 % d'aliments cuits et 4 % d'ordures animales. Les ordures végétales se décomposent plus vite (81,8 %) que les ordures d'aliments cuits (78,4 %) qui se décomposent plus vite que les ordures animales (32,5 %) après 12 semaines d'essai expérimental. Les deux premières catégories d'ordures peuvent contribuer mieux dans le compostage au regard de leur forte capacité de libération en quantité d'éléments nutritifs rapidement disponibles. Ainsi, les éléments nutritifs contenus dans ces déchets peuvent être recyclés comme fertilisants dans l'agriculture urbaine et périurbaine par les producteurs.

Mots clés : Parakou, ordures organiques, perte pondérale, valorisation, agriculture urbaine et périurbaine.

ABSTRACT

The impoverishment of soils leads urban farmers to be often obliged to use chemical fertilizers which could have negative impacts on vegetables and on the environment. The valorization of biodegradable solid waste can contribute to the resolution of problems related to the fall in soil fertility. The quantification and the test of experimental decomposition of the organic waste of the city of Parakou have been studied on the basis of the collecting and weighing of organic waste for 91 days after passage in the steam-room up to constant weight (60° C for 72 hours). To that effect, 45 places of collection of organic waste (including 15 in markets, 15 alongside cheap restaurants and 15 in households) have been installed and followed. That study is carried out through weight loss of 150 g of each type of fragments of organic waste. Those wastes are arranged in sachets sewn 20 cm x 20 cm, in mosquito-net cloth with tiny stitches, in an apparatus of a complete aleatory block to a treatment repeated 12 times. 490 t of organic waste in dry weight are approximately produced annually in the city of Parakou made up of 84 % of vegetables, 12 % of cooked food and 4 % of animal waste. Vegetable garbage decompose more quickly (81.8 %) than the garbage of cooked food (78.4 %) which decompose more quickly than animal garbage (32.5 %) after 12 weeks of experimental test. The first two categories of garbage can better contribute in the composting in regard of their high capacity of liberation in quantity of nutritive elements quickly available. Thus, the nutritive elements contained in those wastes can be recycled as fertilizers in urban and suburban agriculture by producers.

Key words: Parakou, organic wastes, weight loss, valorization, urban and suburban agriculture.

INTRODUCTION

La population urbaine de l'Afrique de l'Ouest est estimée en 2010 à environ 134 millions d'habitants soit un taux d'urbanisation de l'ordre de 45 % (PNUD, 2011). Mais, la plupart des villes ont un taux de collecte des ordures qui se situe aux environs de 70% - 90 % (Müller et al., 2012).

L'ensemble des centres urbains du Bénin produit 1 317 t de déchets par jour, soit 480 589 t par an (CREPA, 2011). Les villes de plus de 100 000 habitants produisent 220 638 t, soit 45,90 %, les villes de 50 000 à 100 000 habitants, 48 120 t, soit 9,87 % et les petites villes 202 849 t, soit 42,6 % (CREPA, 2011).

A Parakou, en 2010, un total de 87 203 m³, soit 34 000 t de déchets sont produits et déversés dans la nature. Environ 40 % des déchets solides sont actuellement collectés et déversés sans traitement dans les zones périphériques et 61 % sont déversés dans les parcelles vides, voies et caniveaux (Gan, 2010). La quantité totale des déchets solides produits dans le centre urbain est de 86 t, soit 220 m³ ou 0,43 kg par jour et

par habitant (Gan, 2010). Ces déchets solides produits dans les quartiers du centre urbain présentent les caractéristiques suivantes : fraction fermentescible (débris de cuisine, fleurs, fruits) représentant 46,7 % ; fraction combustible (plastiques, textiles, cartons, papiers, bois) soit 12,4 % et fraction inerte [fines, verre, métaux (fer, aluminium), os, pile] estimée à 40,9 %. Et, dans le cadre de la gestion de ces déchets solides, la Mairie de Parakou a successivement dépensé 96 117 681 FCFA en 2007, 182 278 912 FCFA en 2008 soit respectivement 8 % et 12,6 % du budget communal (Gan, 2010).

Malgré cet effort, la gestion des déchets constitue un problème majeur dans l'assainissement de la ville de Parakou. D'ailleurs, on retrouve des dépotoirs sauvages qui la ceinturent, des bacs à ordures remplis qui séjournent longtemps sans être vidés, des eaux qui stagnent du fait de l'absence d'ouvrages de drainage et auxquelles se mélangent des résidus, des caniveaux d'évacuation des eaux de pluie obstrués par les déchets de toute nature (Fall et al., 2004). Or, lorsqu'en ville, les ordures ne sont pas régulièrement enlevées, elles encombrant les trottoirs et les

chaussées. L'obstruction des caniveaux et ouvrages d'évacuation des eaux usées sont source d'inondations fréquentes en saison de pluie (Bemb, 2009). Ce problème se pose avec acuité et les conséquences fâcheuses se répercutent sur la vie quotidienne des populations. La mauvaise gestion des déchets entraîne la résurgence de certaines maladies telles que le choléra, la dysenterie bacillaire, la fièvre typhoïde et autres troubles liés aux vers intestinaux. (Ngongo et al., 2003). Dans le même temps, les sols destinés à l'agriculture urbaine s'appauvrissent rapidement faute d'apport suffisant de matière organique, ou de nutriments (engrais minéraux revenant cher) (Amadji, 2004).

En effet, l'appauvrissement de ces sols fait que les maraîchers se retrouvent souvent contraints d'utiliser les engrais chimiques qui pourraient avoir des impacts négatifs sur l'environnement et, de fait sur les végétaux. Or, la qualité du sol est le premier atout pour avoir des cultures saines plus résistantes aux maladies et aux invasions des insectes nuisibles (Sèdagban et al., 2010). En vue d'accroître les rendements agricoles appropriés à l'accroissement continu de la population, le système de gestion de la fertilité des sols dans les différents agro-écosystèmes urbains et périurbains favorise un fort taux d'utilisation d'engrais chimiques dont les difficultés d'approvisionnement sont énormes (Kessler, 2001). Pourtant, la gestion efficace des déchets solides biodégradables offre d'énormes potentialités à la résolution des problèmes de baisse de fertilité des sols urbains et périurbains (Sèdagban et al., 2010).

Malheureusement, une bonne partie de la population ignore l'utilité agronomique des ordures organiques. Elle semble ne rien savoir du devenir de ces ordures. La majorité pense qu'elles sont destinées à boucher les bas-fonds. Certains (de la population) envisagent l'incinération et la mise en charge des ordures (Amadji, 2004). Par ailleurs, la faible utilisation des engrais organiques explique que les populations ne sont pas suffisamment impliquées dans le processus de gestion des ordures. Or la présence de matière organique dans le sol est essentielle pour maintenir sa fertilité (Schöll, 2005). De plus, cette présence de matière organique garantit une utilisation plus efficace de l'engrais chimique par les cultures, en l'empêchant d'être lessivé. Pour une meilleure efficacité des engrais chimiques, (Schöll, 2005) suggère la combinaison avec de la matière organique. En effet, la matière organique influence de manière indirecte la santé des plantes grâce à l'apport de complexes humiques stables de la structure du sol (Kessler, 2004). Cette amélioration de la structure du sol permet aussi une réduction de l'érosion des sols, qu'elle soit due à l'eau ou au vent (Kessler, 2004). Dans ce contexte, les ordures constituent des ressources fertilisantes pour les sols urbains et péri-urbains déjà pauvres, en même temps que leur gestion efficace permettra de résoudre un problème de santé publique majeur. La quantification des déchets organiques et la détermination de la vitesse de décomposition des différents types de ces déchets permettront de mieux analyser, comprendre et vulgariser les meilleures formes de fertilisation des sols. La présente étude a pour objectif principal d'estimer les productions annuelles en déchet organiques dans la ville de Parakou ainsi que le processus de décomposition de ces ordures. L'objectif ultime est de contribuer à la valorisation des déchets biodégradables dans l'agriculture urbaine et périurbaine.

MILIEU D'ETUDE

Située entre 9°15' et 9°25' de latitude nord et entre 2°30' et 2°45' de longitude est, la ville de Parakou s'étend sur une superficie d'environ 441 km². Elle est limitée au nord par la commune de N'dali, au sud, à l'est et à l'ouest par la commune de Tchaourou (figure 1). Chef-lieu du département du Borgou, et ville à statut particulier, Parakou est subdivisée en trois arrondissements regroupant 41 quartiers de ville. Cette ville est représentative du nord du pays en raison de ses diverses fonctions (administrative, industrielle et économique). Selon les résultats provisoires du recensement général de la population et de l'habitat de 2013, la population de Parakou est passée de 149 819 habitants en 2002 à 254 254 habitants en 2013, soit un taux d'accroissement inter-censitaire de 4,81 %. Les trois quarts de cette population sont installés dans la zone véritablement urbanisée et le reste dans les périphéries (Abdoulaye et al., 2012).

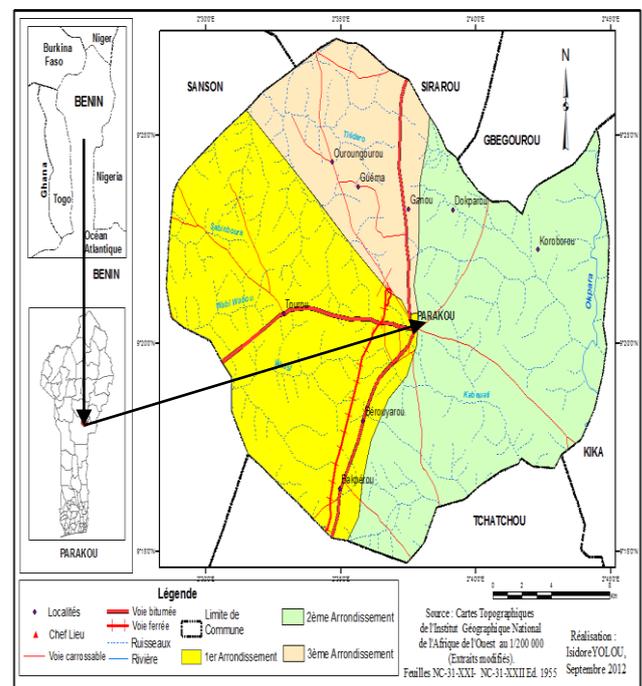


Figure 1 : Situation géographique de la ville de Parakou

METHODES

Echantillonnage et technique de collecte des ordures organiques

La notion d'ordures biodégradables est appréhendée comme étant les constituants organiques d'origine végétale, animale et fongique venant des ménages et dégradés par une succession de communautés microbiennes (Albrecht, 2007). Ainsi défini, les déchets ont été collectés auprès de trois unités de production de déchets de tailles différentes à savoir (1) marchés, (2) restaurants et gargotes et (3) les ménages et particuliers. Au total, 45 points de collecte ont été disséminés suivant la taille de la population, dans toute la ville de Parakou à raison de 15 points par type d'unité de quantification de déchets produits. Au niveau de chaque site de collecte, un bidon vide de 25 L ouvert à la partie supérieure a été installé pour la collecte des bio-déchets. Pour

la quantification, le tri des ordures dégradables est fait en fonction des différentes catégories dont :

- les ordures végétales avariées composées de végétaux (verts, non verts) et fruits;
- les restes d'aliments cuits (igname pilée, pâte de maïs, mélange de haricot et du riz) ;
- les ordures animales (coquilles d'œufs, crottes de mouton, déchets obtenus des intestins des bêtes après abattage).

Les ordures biodégradables ont été collectées dans la soirée complète pendant 91 jours. Cela a permis de quantifier toute la production journalière des déchets puisque les structures de collecte viennent en chercher tôt les matins. Les différents acteurs (ménages, restaurateurs, marchands) de tri et de collecte ont été préalablement formés. La poubelle-collecteur de chaque type spécifique d'ordure a été marquée et facilement reconnaissable. Les poubelles-collecteurs ont été déposées sous hangars et à côté des maisons protégées par les auvents de 0,60 m. Les échantillons prélevés ont été mis à l'étuve jusqu'à poids constant (60° C pendant 72 heures). Toutes ces précautions ont permis d'éviter les perturbations d'aléas climatiques.

Décomposition des ordures organiques

Origine et composition des déchets

Les déchets utilisés lors de l'étude sont des déchets organiques frais collectés dans les ménages, marchés et restaurants-gargoteries. Environ 48,6 kg en poids humide de déchets ont été collectés et ont subi une caractérisation complète. Une fois collectés, les déchets sont séparés en fonction de la taille des constituants. Ceci a permis de déterminer la répartition granulométrique. Les différents constituants sont répartis en : gros (taille > 100 mm) ; moyens (taille comprise entre 20 mm et 100 mm) et « fines » (taille < 20 mm). Plus un déchet est vieux, plus le pourcentage d'éléments fins augmente et plus le pourcentage de « gros » constituants diminue (François, 2004). Donc, pour harmoniser la granulométrie des ordures, les grosses ont été réduites pour l'observation. La composition des déchets a été déterminée grâce à la technique d'échantillonnage de collecte permettant d'identifier les différentes catégories de déchets entrants sur le site de décomposition.

Dispositif expérimental

Chaque catégorie d'ordures organiques (végétale, animale, aliment cuit) est collectée séparément et mis dans les sachets de 20 cm x 20 cm en toile de moustiquaire à mailles fines (précise la taille des mailles) ceci, pour faciliter les activités microbiologiques par une oxygénation continue. L'ensemble est mis en essai de décomposition dans un milieu contrôlé (Ferme d'application de la Faculté d'Agronomie de l'Université de Parakou) suivant le dispositif du Bloc Aléatoire Complet (BAC). Au total, 324 sachets ont été remplis de déchets organiques à 150 g chacun à raison de 108 sachets par catégorie. Chaque parcelle d'un bloc a comporté un traitement répété 12 fois. Un traitement a occupé une parcelle élémentaire de 0,9 m² séparé par des allées de 0,5 m. Les répétitions ont été distantes l'une de l'autre d'au moins

10 m. Les sachets ont été tarés avant d'y mettre la matière organique. Ces sachets remplis de déchets organiques ont été cousus et déposés à même le sol dont les conditions de température et d'humidité du site expérimental sont respectivement 18,5 °C et 20 %.

Mesure de perte pondérale

La perte de poids est mesurée chaque fin de semaine pendant 3 mois. A chaque séance de pesée de poids humide, un sachet par catégorie d'ordures est sacrifié. Le contenu est ensuite séché à l'étuve à 60° C pendant 72 heures jusqu'à poids constant puis repesé après avoir taré pour la détermination de la teneur en eau des déchets organiques. Ceci nous a permis de corriger les mesures. La pesée des sachets est poursuivie jusqu'à la fin de l'essai à l'aide d'une balance électronique de marque Sartorius. A toutes les opérations, trois pesées différentes ont été rendues afin de réduire les erreurs liées à la sensibilité de l'instrument.

Méthode d'analyse

Le logiciel d'analyses statistiques R 2.15.0 (R Development Core Team, 2012) a été utilisé pour le traitement des données. Ce logiciel n'admet pas des espaces dans la saisie des données. C'est pour cela que des espaces dans les différentes figures sont remplacés par des points. Une analyse de la variance non paramétrique sur mesures répétées à un facteur a été nécessaire pour l'analyse des données liées à la quantification et à la décomposition des déchets. Les tests de Kruskal-Wallis et de Wilcoxon ont permis respectivement à déterminer les différences de quantités et de vitesses de décomposition de déchets tant au niveau de l'ensemble qu'au niveau de la comparaison deux à deux. En considérant les données du recensement général de la population et de l'habitat (RGPH) effectué en 2002 actualisées au taux d'accroissement inter censitaire de 3,76 %, la ville de Parakou compte 208835 habitants dont 36006 ménages avec une taille moyenne de 5,8 personnes par ménage. Avec ces données, la quantité totale d'ordures organiques produite dans la ville de Parakou annuellement est estimée à partir de celle obtenue au niveau des ménages. L'extraction des moyennes ajustées a permis de tracer des courbes de décomposition en perte pondérale des ordures biodégradables suivant la formule : $C = C_0 \cdot e^{-kt}$ avec C : quantité de déchets dégradables au temps t et C₀ : quantité de déchets organique au temps t₀ et la relation entre k et t_{1/2} ($k = \ln(2)/t_{1/2}$ avec k la constante de réaction ; t_{1/2} le temps auquel C₀ est réduite de moitié (Pipatti et al., 2006). Cette formule a permis également, la construction des courbes de tendance de décomposition et la détermination de la demi-vie de chaque type d'ordure.

RESULTATS

Evaluation des quantités d'ordures organiques produites dans la ville de Parakou

La figure 2 montre que la quantité d'ordures est significativement différente d'une unité de production à une autre au cours de 91 jours de collecte ($\chi^2 = 10,26$; ddl = 2 ; p = 0,005). La quantité de déchets au niveau des ménages (8. 10⁻² kg/jr) est significativement plus faible (soit 3 fois) que celle obtenue au niveau des marchés (21. 10⁻² kg/jr) ou des restaurants-gargoteries (21. 10⁻² kg/jr).

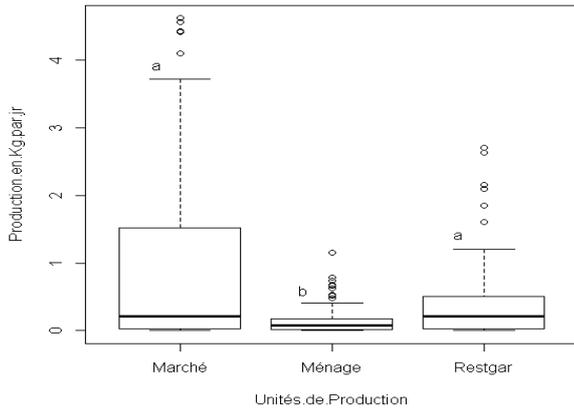


Figure 2: Quantification des ordures en fonction des unités de quantification (Restgar = Restaurant-Gargoterie)

Les quantités des déchets organiques durant la période d'étude diffèrent significativement d'une catégorie de déchets à l'autre ($\chi^2 = 52,99$; ddl = 2 ; $p < 0,001$). La plus grande quantité de déchets organiques est obtenue au niveau des ordures végétales (42. 10-2 kg/jr) et la plus faible est au niveau des ordures animales (2. 10-2 kg/jr). Elle fait 4,45 fois la quantité observée au niveau des ordures d'aliments cuits et 26,17 fois celle obtenue des ordures animales (figure 3).

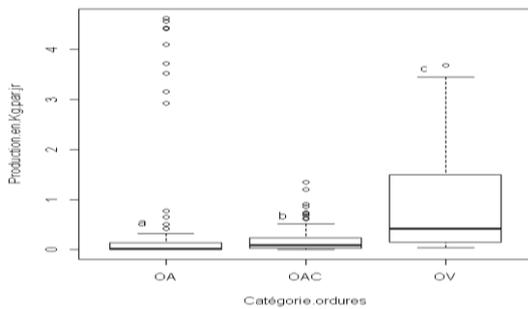


Figure 3: Quantification des ordures en fonction des catégories (OA= Ordures Animales ; OAC= Ordures d'Aliments Cuits ; OV= Ordures Végétales)

La quantité de déchets au niveau des marchés diffère significativement d'une catégorie d'ordure à l'autre ($\chi^2 = 19,28$; ddl = 2 ; $p < 0,001$). La quantité de déchets d'origine végétale (123. 10-2 kg/jr) est significativement plus élevée que celle issue d'aliments cuits ($p < 0,001$) soit 33,4 fois (figure 4A). La figure 4B présente les quantités de déchets produits au niveau des ménages. Ici aussi, on note une différence significative entre les quantités des différentes catégories de déchets ($\chi^2 = 42,32$; ddl = 2 ; $p < 0,001$). Les ordures d'origine végétale (18. 10-2 kg/jr) font le double de celles constituées d'aliments cuits (9. 10-2 kg/jr) qui est 13 fois quantitativement importante que celles d'origines animales (7. 10-3 kg/jr). La distribution des catégories d'ordures organiques, produits par les ménages, ne diffère pas de l'ensemble du groupe (figure 3). L'étude révèle également une différence significative ($\chi^2 = 17,2$; ddl = 2 ; $p < 0,001$) entre les quantités de déchets suivant les catégories. La quantité des ordures d'origine animale est de 9,97 % plus faible que celle obtenue des ordures constituées d'aliments

cuits ou des ordures d'origine végétales (24. 10-2 kg/jr) (figure 4C).

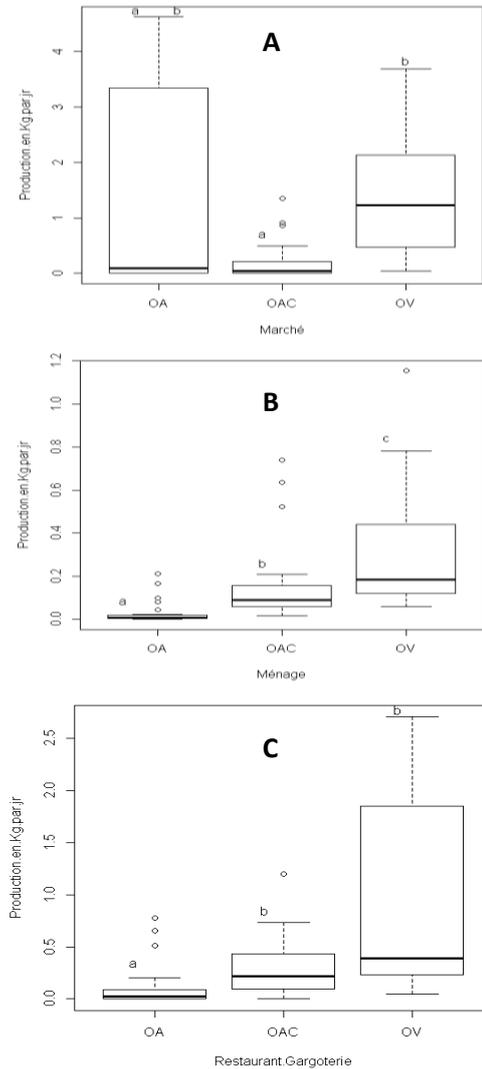
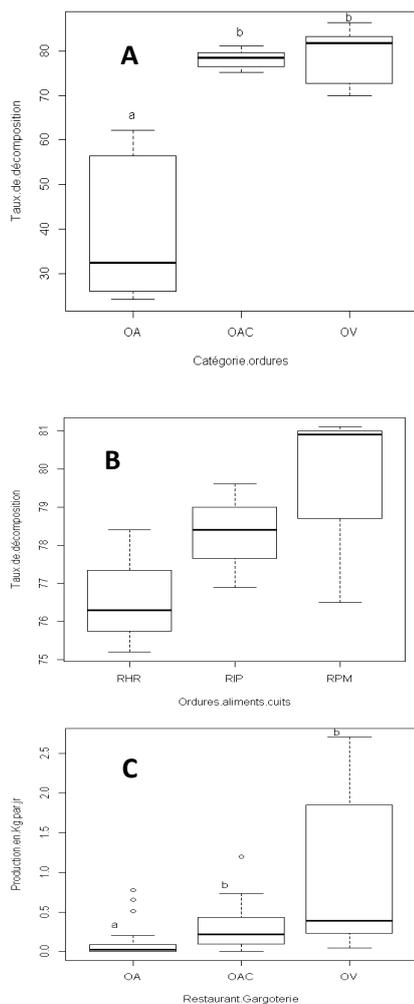


Figure 4 : Quantification des catégories d'ordures dans les marchés (A), dans les ménages (B), dans les restaurants-gargoteries (C). OA= Ordures Animales ; OAC= Ordures d'Aliments Cuits et OV= ordures Végétales

Décomposition et demi-vies des ordures organiques

Décomposition des ordures organiques

Les figures 5A, B, C et D donnent les taux de décomposition des différentes catégories d'ordures étudiées.



OA= Ordures Animales ; OAC= Ordures d'Aliments Cuits et OV= ordures Végétales

Figure 4 : Quantification des catégories d'ordures dans les marchés (A), dans les ménages (B), dans les restaurants-gargoteries (C).

Décomposition et demi-vies des ordures organiques
Décomposition des ordures organiques

Les figures 5A, B, C et D donnent les taux de décomposition des différentes catégories d'ordures étudiées.

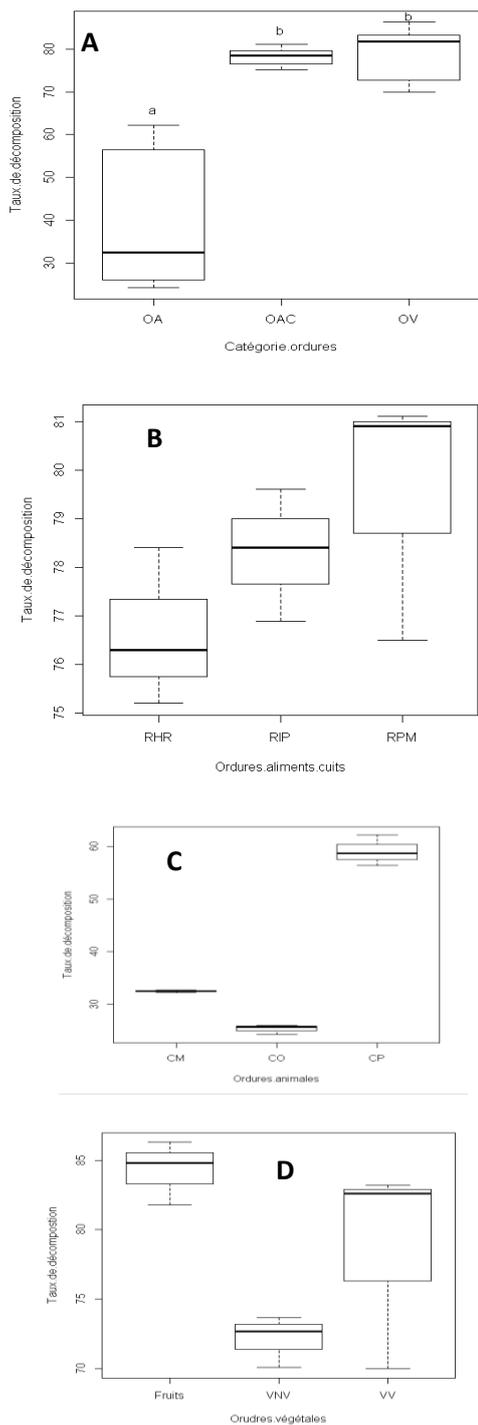


Figure 5 : Taux de décomposition des catégories d'ordures (A); des Ordures d'aliments cuits (B) : (RHR = Reste de mélange de Haricot et de Riz ; RIP = Reste d'Igname Pilée ; RPM = Reste de Pâte de Maïs) ; des ordures animales (C) : (CM = Crotte de Mouton ; CO = Coquille d'œuf ; CP = Contenu de Panse) et des Ordures végétales (D) : (VNV = Végétaux non Verts ; VV = Végétaux Verts). Les Box plots montrent les interquartiles et les extrema

Le taux de décomposition des ordures organiques varie significativement d'une catégorie de déchet à une autre ($\chi^2 = 17,43$; ddl = 2 ; $p < 0,001$). Avec un taux de décomposition

de 81,8%, les ordures d'origine végétale se décomposent plus vite que les ordures constitués d'aliments cuits (78,4 %) qui à leur tour se décomposent plus vite que les ordures d'origine animales (32,5 %) (figure 5 A). Cependant, l'étude ne révèle aucune différence significative de décomposition entre les ordures végétales et les aliments cuits. De la même façon, aucune différences significative entre les taux de décomposition des différents types d'ordures d'aliments cuits n'a été notée ($\chi^2 = 3,11$; ddl = 2 ; p = 0,21). Après 12 semaines de décomposition, il est constaté que 76,3 % de déchets constitués de mélange de haricot et riz (RHR), 78,4 % d'ordures d'igname pilée (RIP) et 80,9 % d'ordure faites de pâte de maïs (RPM) ont disparu (figure 5B). Par contre, des différences significatives ($\chi^2 = 7,2$; ddl = 2 ; p = 0,03) ont été observées en ce qui concerne la décomposition des différents types d'ordures animales. Au niveau des coquilles d'œufs et des crottes de mouton, 25,7 % et 32,5 % ont respectivement disparu après 12 semaines. Quant au contenu de panse, il est constaté un taux de décomposition de 58,7 % (figure 4C). La figure 4D, illustre les taux de décomposition des différents types d'ordures végétales. Ces taux sont similaires pour les différents types d'ordures végétales ($\chi^2 = 3,82$; ddl = 2 ; p = 0,15). Après 12 semaines, il est constaté que 84,8 % de fruits ; 72,7 % de végétaux non verts (VNV) et 82,6 % de végétaux verts (VV) ont disparu.

Demi-vie des ordures organiques

Le meilleur ajustement des courbes de tendance de décomposition des ordures ayant permis la détermination de la demi-vie est une fonction exponentielle d'équation : $C = C_0 \cdot e^{-kt}$; r^2 allant de 0,63 à 0,86 avec C : quantité de déchets dégradables au temps t et C_0 : quantité de déchets organiques au temps t_0 . Les figures 6a, 6b et 6c illustrent les courbes de tendance de décomposition et les demi-vies des différentes ordures végétales.

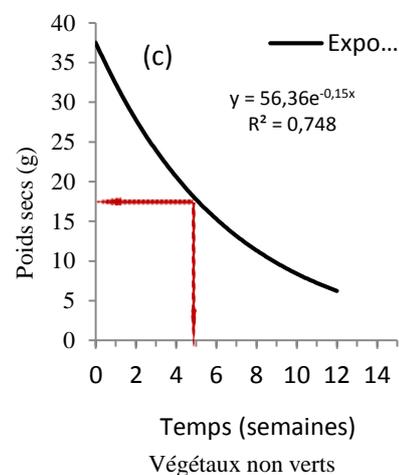
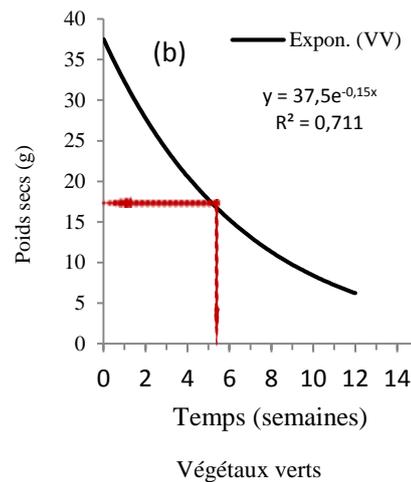
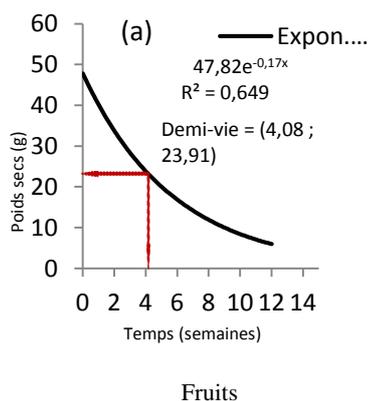
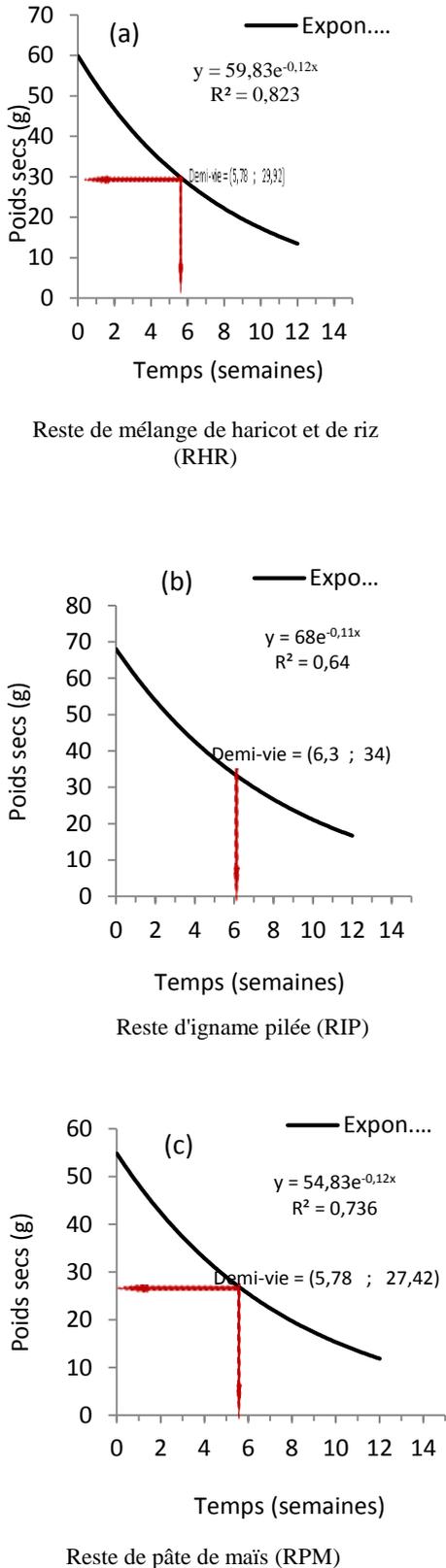


Figure 6: Courbes de tendance de décomposition des ordures et demi-vie pour : (a) fruits, (b) végétaux verts, (c) végétaux non verts

Le temps nécessaire pour une décomposition de 50 % des fruits est de 4 semaines tandis qu'il est de 5 semaines pour 50 % des végétaux verts et 50 % des végétaux non verts. Le temps de 95 % de décomposition pour les fruits est de 18 semaines tandis qu'il faut 56 semaines pour en obtenir une décomposition complète. Le temps nécessaire pour que 95% des végétaux verts soient décomposés est de 20 semaines tandis qu'il faut espérer une décomposition complète seulement après 60 semaines. Quant aux végétaux non verts, 95 % de la quantité totale est décomposée après 23 semaines tandis qu'il faut 72 semaines pour espérer leur décomposition complète.

Les figures 7a, 7b et 7c donnent les courbes de tendance de décomposition et les demi-vies des différentes ordures d'aliments cuits.



Le temps nécessaire à une décomposition de 50 % du reste de mélange du haricot et du riz ou du reste de pâte de maïs est de 6 semaines, celui de 95 % est de 24 semaines tandis qu'il faut attendre 76 semaines pour obtenir une décomposition complète de ces ordures. Concernant le reste d'igname pilée, il faut également 6 semaines pour que 50 % des quantités produites se décompose alors qu'il faudra attendre 28 semaines pour une décomposition à 95 % et 84 semaines pour une décomposition complète.

Les courbes de tendances de décomposition et les demi-vies des différentes ordures d'origine animale sont représentées par les figures 8a ; 8b et 8c.

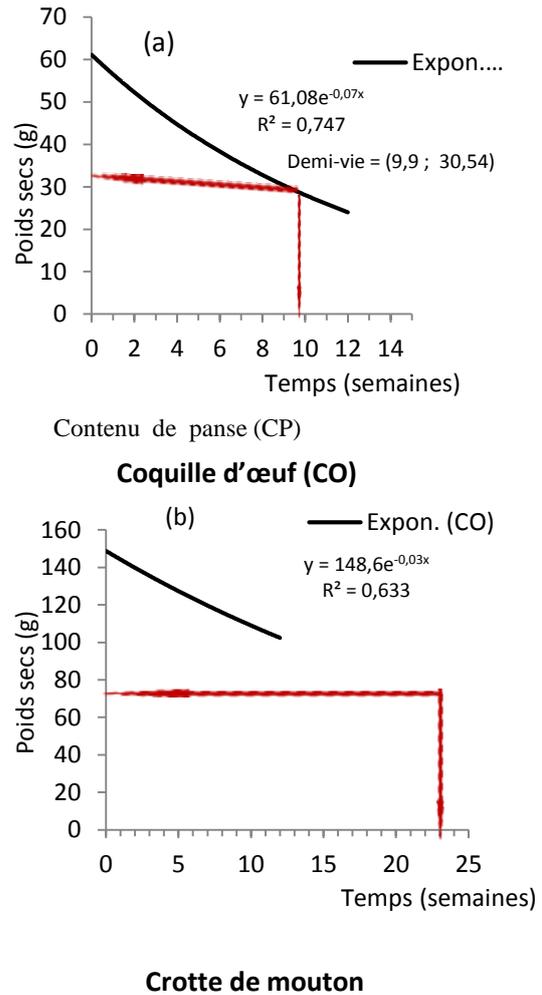


Figure 7: Courbes de tendance de décomposition des ordures et demi-vie pour : (a) reste de mélange du haricot et du riz, (b) reste d'igname pilée, (c) reste de pâte de maïs

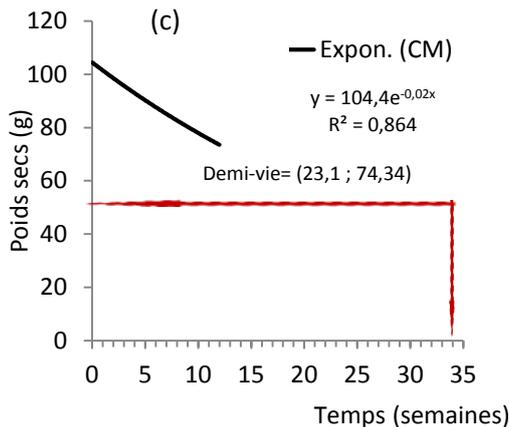


Figure 8: Courbes de tendance de décomposition des ordures et demi-vie pour : (a) contenu de panse, (b) coquille d'œufs, (c) crotte de mouton

Le temps nécessaire à une décomposition de 50 % du contenu de panse est de 10 semaines, celui de 95 % de décomposition est de 11 mois. Il faut cependant 132 semaines pour la décomposition complète du contenu de panse. La demi-vie au niveau des coquilles d'œufs est de 23 semaines alors que pour 95 % de décomposition, le temps est de 100 semaines. Les coquilles d'œufs ne se décomposeront complètement qu'après 308 semaines de l'essai. Quant aux crottes de moutons, il faut environ 35 semaines pour qu'elles se décomposent à 50 %. Les crottes de moutons sont décomposées à 95 % après un temps de 148 semaines. Leur disparition complète s'opère après un temps de 460 semaines. Au total, parmi les catégories d'ordures organiques étudiées, les demi-vies les plus courtes sont obtenues au niveau des ordures végétales alors que celles les plus longues sont trouvées avec les ordures animales. Le même phénomène s'observe pour la décomposition complète au niveau de ces deux catégories d'ordures. Au sein des ordures végétales, le temps le plus court pour une décomposition de 50 % s'observe au niveau des fruits et est de 4 semaines, celui de la décomposition complète est de 72 semaines. Tandis que les crottes de mouton, considérées en l'état naturel dont la température et l'humidité sont celles du milieu ambiant, ont le temps le plus long à une décomposition de 50 % (35 semaines). Elles ont également le temps le plus long pour la décomposition complète 460 semaines.

DISCUSSION

La faible production des ordures organiques dans les ménages par rapport à celle dans les marchés ou dans les restaurants-gargoteries s'explique par le fait qu'elle est liée aux activités socio-professionnelles, à la quantité des produits consommables et de déjections produites. Les quantités d'ordures organiques obtenues dans les ménages par Gan (2010) à Parakou sont de 245 kg ; 177 kg et 353 kg

par an, respectivement dans les bas-standing, moyen-standing et haut-standing. Ces valeurs considérées ensemble sont différentes à celles que nous avons obtenues annuellement dans les ménages (70 t). Néanmoins, dans tous les cas, la forte proportion de matières biodégradables dans ces types d'unités de production serait due surtout à la période où les fruits sont abondants et à la période des pluies. Au Sénégal, malgré que les fractions fermentescibles des ordures varient d'une ville à une autre (Rouyat et al., 2006), les quantités obtenues dans cette étude au niveau des différentes unités de production sont très faibles par rapport à celles collectées dans les principales villes. En effet, à Kolda et à Kaolack, la quantification des déchets organiques est de $15 \cdot 10^{-2}$ kg par habitant et par jour. Cette quantification varie entre $5 \cdot 10^{-1}$ et $54 \cdot 10^{-2}$ kg par habitant et par jour à Ziguinchor. A Rufisque comme à Cotonou, elle est $28 \cdot 10^{-2}$ kg par habitant et par jour (Adégnika, 2004 ; Rouyat et al., 2006).

Paradoxalement, à Paris, la part fermentescible représente 29 % du poids humide des ordures ménagères soit $9 \cdot 10^{-2}$ kg par habitant et par jour (Balet, 2008). Cette valeur est encore largement plus faible que celles obtenues à Cotonou (Adégnika, 2004) et les villes du Sénégal (Rouyat et al., 2006) pourtant la ville de Paris est plus peuplée. La composition des déchets organiques est variable selon les pays, le site, la période de l'année, le type d'habitat, voire même d'un jour à l'autre sur un même site (Berthe, 2006). Cette composition varie non seulement selon les pays, mais il semble également difficile, d'établir une corrélation précise entre la composition des ordures et le niveau de richesse. Nous constatons néanmoins que la part des déchets fermentescibles est surtout importante dans les pays à faible revenus. En France par exemple, ils ne représentent qu'environ 30 % des ordures ménagères (Rouyat et al., 2006). Les ménages ($53 \cdot 10^{-2}$ kg/jr) et les restaurants-gargoteries ($213 \cdot 10^{-2}$ kg/jr) produisent plus de végétaux non verts tandis que les marchés produisent plus de contenu de panse ($352 \cdot 10^{-2}$ kg/jr). Par contre, les ménages, les restaurants-gargoteries et les marchés produisent respectivement moins de contenu de panse ($2 \cdot 10^{-3}$ kg/jr) ; de crottes de mouton (0 kg/jr) et de reste mélange de haricot et de riz (10^{-3} kg/jr).

A l'instar des résultats de l'étude faite sur la décomposition de la litière par Anderson et al. (1983) cités par Sokpon (1995), la décomposition des déchets organiques et le cycle des éléments biogènes impliquent des processus compliqués qui ne peuvent être appréhendés sur la base de courtes expériences réalisées dans le cadre de ce travail. Néanmoins, les résultats obtenus peuvent constituer une base d'appréciation et de comparaison avec des études dans d'autres pays. La valeur de demi-vie applicable à tout SEDS (Site d'Élimination de Déchets Solides) individuel est déterminée par une série de facteurs liés à la composition du déchet et aux conditions prévalant sur le site. Des études récentes ont permis de dégager davantage de données sur les demi-vies (données expérimentales ou obtenues par

modélisation), mais les résultats obtenus sont basés sur les caractéristiques de pays développés situés dans des zones tempérées. Rares sont les résultats qui reflètent les caractéristiques de pays en développement. Des mesures prises sur des SEDS en Argentine, en Nouvelle-Zélande, aux Etats-Unis, au Royaume-Uni et aux Pays-Bas confirment des valeurs pour le $t_{1/2}$ de l'ordre de 3 à 35 ans (Oonk & Boom, 1995; Scharff et al., 2003;). Dans le cadre de cette étude, les fruits et les végétaux verts ont leurs taux plus faibles et plus rapides ($k = 0,2$). Ces valeurs sont de même grandeur que celles obtenues par Pipatti et al. (2006) dans les zones tempérées pour les déchets alimentaires ($k = 0,2$). Dans ces zones, les taux de désintégration sont associés à des conditions d'humidité élevée et à des matériaux qui se dégradent rapidement. Par contre, dans les mêmes milieux géographiques, les taux faibles de désintégration ($k = 0,02$, ou une demi-vie d'environ 35 ans), identiques à notre cas (coquille d'œuf ou crotte de mouton), sont rattachés à des conditions sèches sur le site et à des déchets qui se dégradent plus lentement (exemple : le bois ou le papier). Pour notre étude, la demi-vie la plus longue n'a excédé 1 an. Une demi-vie de moins de 3 ans, pourrait être adéquate pour les Sites d'Élimination de Déchets Solides (SEDS) situés sous un climat humide et tempéré ou des déchets qui se dégradent rapidement sous des conditions tropicales humides (Pipatti et al., 2006). Mais, une demi-vie plus longue, de 70 ans ou plus, pourrait être justifiée dans le cas de (SEDS) secs et peu profonds dans des conditions climatiques tempérées ou pour les déchets de bois sous un climat tempéré et sec.

La biodégradabilité des substances organiques nouvellement incorporées au sol affecte le flux des éléments nutritifs, la séquestration du carbone et la qualité de l'eau (Gregorich et al., 2003). La demi-vie de la matière organique (MO) labile est de 2 à 5 jours, alors que celle de la matière organique stable varie de 0,2 à 8,6 ans selon le degré d'humification (Kalbitz et al., 2003). En outre, les substances organiques dont la fraction soluble est supérieure à 30% (par rapport à la matière sèche) sont considérées comme des engrais organiques à cause de leur potentiel élevé de minéralisation rapide et celles dont la teneur en cellulose et en lignine, dépassent 39 % de la matière sèche ont un potentiel élevé de former de l'humus stable (Robin et al., 1997). En comparant nos résultats sur la base de la théorie de Robin et al. (1997), nous constatons que les ordures végétales, celles d'aliments cuits et le contenu de panse (ordure animale) pourraient, à 50 %, être considérées comme des engrais organiques en temps relativement court (4 à 10 semaines) du fait que la fraction soluble est supérieure à 30 % (par rapport à la matière sèche). Leur potentiel de minéralisation rapide est élevé. Par contre, pour que 50 % des coquilles d'œufs et 50% des crottes de mouton se transforment pour donner de l'engrais organique, il faut attendre respectivement 24 semaines et 35 semaines. Les conditions météorologiques et la teneur en eau initiale des ordures jouent un rôle important pour la vitesse de décomposition microbienne car les activités microbiennes sont favorisées à la fois par l'humidité et la chaleur (Bloor et al., 2012). En conditions sèches, comme c'est le cas pour notre expérimentation avec une température de 18,5 °C et 20

% d'humidité, une croûte se forme à la surface des déjections, ce qui réduit l'impact des précipitations et par conséquent, ralentit la vitesse de décomposition au niveau des crottes de mouton.

CONCLUSION

Les recherches effectuées sur les déchets organiques dans la ville de Parakou au Nord du Bénin, s'inscrivent dans la vision du Programme d'Appui à la Gestion Intégrée et décentralisée des Déchets par Filière en République du Bénin (PAGIDF). En effet, le traitement conséquent et durable des différentes catégories de déchets organiques produits par les marchés, les ménages et aux abords des restaurants-gargoteries, met un accent particulier sur la valorisation. A travers les résultats de nos travaux, les déchets ne sont plus considérés comme un coût, mais comme une ressource à exploiter dans l'agriculture (compost). L'application des fertilisants organiques dans l'agriculture urbaine et périurbaine contribuera à réduire les effets négatifs des changements climatiques liés aux émissions des gaz à effet de serre et à la dégradation des milieux physiques tant au niveau national que local. Elle peut également contribuer à faciliter l'atteinte de la souveraineté alimentaire et la réduction du taux de malnutrition. Les impacts économiques seront les économies réalisées par les petits exploitants agricoles et la municipalité. Les petits exploitants agricoles verront le coût de production baissé dû à l'utilisation efficiente des déchets urbains pour produire. Le revenu de ces petits exploitants agricoles se trouvera ainsi accru. La municipalité verra le coût de l'élimination des déchets baissé.

Remerciements : Ces travaux ont été réalisés grâce à une bourse du Centre de Recherches pour le Développement International, Ottawa, Canada. Pour obtenir des informations sur le Centre, consulter son site Web à <http://www.crdi.ca>.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Abdoulaye, A. R. ; Aboudou, R.Y. M. A. et Oyédé, L. M. 2012. Gestion durable des eaux de ruissellement en milieu urbain tropical : cas de la ville de Parakou (République du Bénin). *Annales de l'Université de Parakou, Série : Sciences Naturelles-Agronomie*. Vol.2, N°2. pp :130-160.
- Adégnika, F. ; Chalot, F. ; Désille, D. ; Duchemin, J.P ; Etienne, J. ; Le Bris, E. ; Le Jallé, C. ; Mathys, A. ; Thuy, T.T. et Valfrey, B. 2004. Gestion durable des déchets et de l'assainissement urbain. Programme de recherche, PDM, pS-Eau. Paris (France). 176 p.
- Albrecht, R. 2007. Co-compostage de boues de station d'épuration et de déchets verts : nouvelle méthodologie du suivi des transformations de la matière organique. Thèse de doctorat. L'Université Paul Cezanne Aix-Marseille III (France). 189 p.

- Amadji, G. L. 2004. Valorisation des ordures ménagères par la quantification du chou pommé sur sol sableux du littoral. UAC/FSA. <http://www.agricultures-urbaines.com/IMG/Amadji.pdf>. Consulté le 19 août 2011.
- Andersson, S., Nilsson, S. I. et Saetre, P. 2000. Leaching of dissolved organic carbon (DOC) and dissolved organic nitrogen (DON) in mor humus as affected by temperature and pH. *Soil Biol. Biochem.* 32: 1-10.
- Balet, J.-M. 2008. Gestion des déchets, aide-mémoire de l'ingénieur, 2^{ème} édition, Paris (France), 246 p.
- Bemb, C. G. 2009. Le traitement des ordures ménagères et l'agriculture urbaine et périurbaine dans la ville de Bertoua. Mémoire de fin de formation. INJS. Cameroun. 70 p.
- Berthe, C. 2006. Etude de la Matière Organique contenue dans des lixiviats issus de différentes filières de traitement des déchets ménagers et assimilés. Thèse doctorat. Université de Limoges. 196 p.
- Bloor, J.M.G. ; Jay-Robert, P. ; Le Morvan, A. ; Fleurance G. 2012. Déjections des herbivores domestiques au pâturage : caractéristiques et rôle dans le fonctionnement des prairies. *INRA Prod. Anim.* 25 (1), 45-56.
- CREPA (Centre Africain pour l'Eau Potable et l'Assainissement) au Bénin, 2011. Etude sur la gestion des déchets plastiques dans l'espace UEMOA : Cas du Bénin. Rapport final. 59 p.
- Fall, S. T.; Cissé, I.; Sow, F. D.; Khouma, M.; Thomas, I.; Diouf, A.; Diop, Y. ; Ndiaye, N.S. ; Thiam, M .B.; Ndiaye, R. et Badiane M. 2004. Enjeux environnementaux des espaces agricoles et naturels urbains ou périurbain. Rapport scientifique annuel. Groupe de Recherche et d'Echanges Technologiques (GRET) www.ecocite.org. Sénégal. 19 p.
- François, V. 2004. Détermination d'indicateurs d'accélération et de stabilisation de déchets ménagers enfouis. Etude de la recirculation de lixiviats sur colonnes de déchets. Thèse de doctorat, Université de Limoges. 197 p.
- Gan Tanhoun, B.S. 2010. Gestion des déchets solides ménagers à Parakou au Bénin: analyse et proposition de stratégies d'amélioration. Mémoire de Master, ZIE (Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement). Ouagadougou (Burkina-Faso). 97 p.
- Kalbitz, K., Schmerwitz, D., Schwesig, D. et Matzner, E. 2003. Biodégradation of soil-derived dissolved organic matter as related to its properties. *Geoderma* 113: 273-291.
- Kessler, A. 2004 : Aspects socio-économiques d'un compost phytosanitaire issu des ordures appliqué dans l'agriculture périurbaine en Afrique de l'Ouest Une analyse comparative dans 5 villes. Thèse de doctorat. Université de Berlin (Allemagne). 257 p.
- Müller, E. ; Böni, H. et Wittmann A. L. 2012. Les déchets solides municipaux en Afrique de l'Ouest : entre pratiques informelles, privatisation et amélioration du service public. Programme IWWA (Gestion Intégrée des Déchets Solides en Afrique de l'Ouest - www.iwwa.eu). 6 p.
- Ngongo, M. ; Bitijula, M. et Mapatano, M. 2003. La gestion des déchets : Une opportunité pour la fertilisation dans l'agriculture urbaine à Bukavu: Potentialités et limitation. Plate forme DIOBASS AU KIVU. 23 p.
- Oonk, H. and Boom, T. 1995. 'Landfill gas formation, recovery and emissions', Methodology for Estimating CH₄ Emissions from Landfills. TNO-report R95-203, TNO.Appeldoorn, The Netherlands. Inventory of U.S. Greenhouse Gas Emissions and Sinks: 1990-2004. Annex 3.14. U.S. Environmental Protection Agency (U.S. EPA).
- Pipatti, R. ; Svardal, P. ; Alves, J. W. S. ; Gao, Q. ; Cabrera, C.L. ; Mareckova, K. ; Oonk, H. ; Scheehle, E. ; Sharma, C. ; Smith, A. et Yamada, M. 2006. Elimination des déchets solides. Lignes directrices du GIEC pour les inventaires nationaux de gaz à effet de serre. Volume 5: Déchets. 44 p.
- PNUD (Programme des Nations Unies pour le Développement), 2011. Human Development Report, New York. www.undp.org.
- Robin, D., Baliteau, J. Y. et Faedy, L. 1997. Caractérisation et valeur agronomique de la partie organique des déchets. *Eau Ind. Nuisances* 198: 27-30.
- Rouyat, J. ; Broutin, C. ; Rachmuhl, V. ; Gueye, A. ; Torrasani, V. et Ka, I. 2006. La gestion des ordures ménagères dans les villes secondaires du Sénégal. Vers des politiques municipales incluant les quartiers périphériques. Études et Travaux, série en ligne n°8, Éditions du Gret. www.gret.org. 91 p.
- Scharff, H.; Martha, A.; van Rijn, D.M.M.; Hensen, A.; v.d. Bulk, W.C.M.; Flechard, C.; Oonk, H.; Vroon, R.; de Visscher, A. and Boeckx, P. 2003. A comparison of measurement methods to determine landfill methane emissions, report by Afvalzorg/Deponie B.V., Haarlem, the Netherlands. 103 p.

PHYTOREMEDIATION : VALORISATION DU POUVOIR EPURATOIRE DE THALIA GENICULATA

F. YOVO¹, B. DIMON^{1*}, C. AZANDEGBE ENI¹, E. SAGBO², D. MAMA³, M. AINA⁴

fideldimon@yahoo.fr

RÉSUMÉ

L'étude du pouvoir épuratoire des plantes permet de connaître leur potentiel épuratoire en vue de mieux les exploiter dans les stations de traitement et d'épuration des eaux (STEP) pour un meilleur traitement des eaux usées domestiques dont la quantité augmente tous les jours. La capacité de réduction des charges polluantes des macrophytes est d'une importance capitale dans ce processus. Or, malgré que *Thalia geniculata* se développe dans les marécages, aucun document n'a fait état de son pouvoir épuratoire. C'est pour cela que cette plante nous a intéressés. L'objectif de ce travail est de mettre en évidence la capacité épuratoire du *Thalia geniculata* afin de le valoriser pour la lutte contre la pollution environnementale. Pour atteindre ce but, les paramètres physico-chimiques des eaux abritant les macrophytes objet de cette étude ainsi que les éléments nutritifs comme les nitrates (NO_3^-), les orthophosphates (PO_4^{3-}) et l'azote total de kjeldahl (NTK) ont été déterminés et suivis au cours des essais de traitement.

Les résultats obtenus révèlent que les différentes pousses de *Thalia geniculata* ont un pouvoir épuratoire intéressant, comparable à ceux de la *Jacinthe d'eau* par rapport au taux d'éléments nutritifs, notamment en nitrates (Moyenne pousse-93,33%), en orthophosphates (Jeune pousse-75,38%) et en azote total kjeldahl (Jeune pousse -100%).

Les Jeunes pousses de *Thalia geniculata* sont plus efficaces dans l'épuration des eaux usées grises. Les résultats de cette étude permettent de conclure que les plants de *Thalia geniculata* peuvent jouer un rôle important dans la réduction des éléments nutritifs des eaux usées domestiques.

Mots clés : *Thalia geniculata* ; *Jacinthe d'eau* ; eaux usées ; phytoremédiation ; charges polluantes.

ABSTRACT

The study of purification capacity of plants helps to know the purification power of some plants in order to better use them in the treatment of domestic waste waters which are increasing everyday. The capacity of the macrophytes to reduce the polluting components is very important in this process. For despite the fact that *Thalia geniculata* is widely spread in marshes, there is no document which has given information about the purification capacity of this plant. That is the reason why this study has been carried out to show the purification capacity of this plant and also to fight against environmental pollution.

To reach this goal, the chemical and physical parameters of waters containing the macrophytes, purpose of the study and the nutritive elements like the nitrates (NO_3^-), the orthophosphates (PO_4^{3-}) and the Kjeldahl (NTK) were determined and studied during experiments.

The findings obtained reveal that the different *Thalia geniculata* plants have an interesting purification capacity like *water hyacinth*. When we consider the rate of the nutritious elements namely the nitrates (average plants-93,33%), the orthophosphates (young plants-75,38%) and kjeldahl (young plants-100%).

Thalia geniculata is more efficient in the purification capacity of grey waste water. The finding of the study allow to conclude that the *Thalia geniculata* plants can play an important role for the reduction of some nutritious elements of grey dirty domestic waters.

Keywords: *Thalia geniculata*; *water hyacinth*; dirty waters; phytoremediation; polluting components.

INTRODUCTION

Le Bénin, à l'instar des autres pays tropicaux de l'Afrique, dispose d'une flore riche et diversifiée, évaluée à 65% par la FAO (2001).

Les politiques de développement privilégient l'aménagement en AEP (Adduction d'Eau Potable) et relèguent au second plan le traitement des eaux usées domestiques dont la quantité augmente chaque jour avec la poussée démographique (PNE, 2009).

Au plan national, seulement 54,4% de la population a accès à l'eau potable et 35,4% à l'assainissement¹. Dans un

contexte de pauvreté généralisée, du taux élevé de mortalité infantile et infanto-juvénile causée principalement par le paludisme, de la prolifération des maladies hydriques et diarrhéiques, du manque d'hygiène et de moyens pour le traitement adéquat des eaux usées, la phytoremédiation apparaît comme un recours indispensable pour le traitement des eaux usées domestiques dans les pays les moins avancés. La phytoremédiation est un ensemble de technologies utilisant les plantes pour réduire, dégrader ou immobiliser des [composés organiques polluants](#) (naturels ou de synthèse) du [sol](#), de l'[eau](#) ou de l'[air](#) provenant d'activités humaines². Le Bénin regorge pour cela de plusieurs plantes aquatiques

¹ <http://www.carefrance.org/care-actions/programmes-monde/benin-projet-amelioration-acces-eau-potable.htm>

² <http://fr.wikipedia.org/wiki/Phytorem%C3%A9diation> consulté le 14/03/13

peu valorisées du fait du déficit en connaissance de leur pouvoir épuratoire.

C'est dans ce contexte que nous nous sommes intéressés aux plants de *Thalia geniculata* pour réduire les charges polluantes des eaux usées grises domestiques. *Thalia geniculata* est une plante de la famille des *Marantacées* originaire d'Amérique et d'Afrique tropicale qui a servi à lutter contre la souche k_1 du plasmodium falciparum à travers la geranyfarnésol extraite des feuilles (Lagnika, 2005). En médecine traditionnelle béninoise sa décoction aqueuse avec le *Nauclea latifolia* sert à traiter le paludisme (Adjanooun et al., 1989). Les feuilles de *Thalia geniculata* qui ont un potentiel producteur de provitamine A utile pour les enfants de 6 à 36 mois (Nana et al., 2003) sont utilisées dans la ville de Cotonou pour protéger des boules de mets préparés à base de maïs communément appelés au Bénin 'boules d'akassa'. La littérature ne nous renseigne pas sur le pouvoir épuratoire de cette plante, malgré qu'elle se développe essentiellement dans les marécages. L'étude de ce pouvoir épuratoire nous donne l'occasion d'approfondir nos connaissances à ce sujet. Ce travail a permis d'identifier la pousse de *Thalia geniculata* qui a la meilleure capacité d'épuration et ses rendements épuratoires sont aussi intéressants, sinon plus, comparés à ceux des plants de la *Jacinthe d'eau*.

MATERIEL ET METHODES

Le matériel végétal est constitué des macrophytes de *Thalia geniculata* récoltées au Bénin dans le littoral plus précisément dans la zone d'Agongbomey et celles de *Jacinthe d'eau* récoltées dans le quartier Fidjrossè kpotà. Les macrophytes sont automatiquement cultivées dans les mini-bassins contenant l'eau de robinet après récolte.



Photo 1 : Macrophyte de *Thalia geniculata*

Photo 2 : Macrophytes de *Jacinthe d'eau*

Photo 3 : Jeunes pousses de *Thalia geniculata*

Les différentes pousses ont été caractérisées en tenant compte des mesures de leurs diamètres situés à 10 cm de leurs extrémités inférieures. Ainsi, on a :

- les JP (Jeunes Pousses) pour un diamètre inférieur à 2,5 cm,
- les MP (Moyennes Pousses) pour un diamètre compris entre 2,5 cm et 3,5 cm,
- les VP (Vieilles Pousses) pour un diamètre supérieur à 3,5 cm.

Les plants de *Jacinthe d'eau* n'ont pas été caractérisés compte tenu de leurs diamètres qui sont presque identiques. L'expérience est réalisée dans la ville de Cotonou caractérisée par un climat subéquatorial avec deux saisons pluvieuses (Avril-Juillet, Octobre-Novembre) et deux saisons sèches (Août-Septembre, Décembre-Mars) avec une pluviométrie moyenne de 1200mm/an. La température moyenne varie entre 24°C et 32°C (PNLP, 2010).

Le pilote expérimental est constitué de quatre mini-bassins d'environ 10L de capacité chacun

(Photo 4). Trois mini-bassins contiennent chacun 5 plants de différentes pousses de *Thalia geniculata* et un seul contenant 5 plants de *Jacinthe d'eau* est pris comme témoin. L'alimentation des mini-bassins est faite seulement au début de l'expérience avec les eaux usées grises provenant d'un égout de collecte des eaux de douche, de vaisselle et de lessive. L'eau usée analysée est prélevée chaque matin entre 8H30 et 9H30 avec une seringue de 60mL (préalablement lavée et rincée) dans des flacons de 100mL.

Photo 4 : Dispositif expérimental



Le matériel végétal étudié est un héliophyte de la famille des marantacées, il s'agit du *Thalia geniculata*. C'est une plante à rhizome horizontal et vertical qui pousse de façon spontanée dans le milieu naturel (marécages) et forme des champs mono spécifiques³. C'est une espèce très productive qui se développe dans des zones précises et qui fait partie d'un circuit commercial d'exploitation locale. Les différentes pousses utilisées ont été prélevées dans le milieu naturel. La *Jacinthe d'eau* utilisée pour faire l'étude comparative des résultats est de la famille des pontederiaceae et a pour nom scientifique *Eichhornia crassipes* (Akowanou, 2012).

Les EUV et EUG (Eaux Usées Vannes et Eaux Usées Grises) domestiques qui ont servi lors des essais de traitement proviennent d'un égout qui se trouve dans un quartier de la ville de Cotonou qui est située au-dessous du niveau de la mer (Océan Atlantique) et qui subit régulièrement les phénomènes d'inondations toute l'année et présente un ensemble écologique constitué de marécages et de retenues d'eau (PNLP, 2010). Dans cette ville, les eaux usées sont déversées dans le milieu naturel sans aucun traitement préalable.

Paramètres de suivi de fonctionnement

L'expérience a été menée durant seize jours successifs s'étalant du 25 février au 12 mars 2013. Tout au long de cette période d'étude, le fonctionnement du pilote expérimental a été contrôlé par la mesure des paramètres physico-chimiques. Les échantillons des végétaux ont été prélevés dans le marécage d'Agongbomey situé dans le 13^{ème} arrondissement de la ville de Cotonou. Le suivi de fonctionnement des différents mini-bassins est basé essentiellement sur la détermination de la température, de la conductivité, des TDS grâce à un conductimètre pH /EC/TDS Combo Hanna waterproof selon la norme NF EN 27888 (janvier 1994). Le pH a été mesuré par la méthode électrochimique avec le pH-mètre portatif Combo Hanna waterproof (NF T 90-008). La mesure de la turbidité est effectuée par un colorimètre HACH DR/890 selon la norme NF EN 27027. L'oxygène dissous a été déterminé par la méthode potentiométrique NF EN 25814 à l'aide d'un multi paramètre WTW pH /O₂ 340i.

Paramètres d'évaluation de pollution

Pour les MES (Matières En Suspension), la méthode colorimétrique a été utilisée suivant la norme NF EN 872 (janvier 1997) avec le colorimètre HACH DR/890. Les Orthophosphates (PO₄³⁻) sont déterminés par une mesure colorimétrique du complexe phosphomolybdique formé avec le spectrophotomètre à absorption moléculaire DR/2800 selon la norme (AFNOR, T90-023). L'azote total kjeldahl (NTK) est dosé par la méthode AFNOR NPT90-110. C'est une minéralisation de l'azote organique en azote ammoniacal par l'acide sulfurique. L'ammonium obtenu est dosé par acidimétrie après distillation avec le distillateur Büchi Auto kjeldahl k370. Les nitrates (NO₃⁻) sont dosés selon la méthode colorimétrique par diazotation selon la norme NF EN ISO 13395, (1994) après réduction suite au passage à travers une colonne de cadmium avec un spectrophotomètre HACH DR/800 (Rodier, 1984).

RESULTATS ET DISCUSSIONS

Quelques caractéristiques de l'eau de pompe (EP) utilisée

Tableau I. Quelques caractéristiques de l'eau de pompe (EP) utilisée

pH	χ (μ S/cm)	MES (mg/L)	NO ₃ ⁻ (mg/L)	NTK (mg/L)	PO ₄ ³⁻ (mg/L)	Turb (NTU)	O ₂ dissous (mg/L)
7,08	72	0	0,9	ND4	1,5	3	1,59

A travers ce tableau, on constate que l'oxygène dissous vaut 1,59 mg/L. Ceci permet de dire que l'EP offre un milieu aérobie pouvant faciliter le développement de certaines espèces aquatiques qui utilisent l'oxygène pour leur respiration. La conductivité est faible et est égale 72 μ S/cm à cause de la présence en faible quantité des particules chargées. La turbidité de 3 NTU correspond aux normes OMS (4 NTU) (Beuffler et al.; 1989) et montre que l'eau de

4 Non Déterminé

pompe de SONEB répond à certaines dispositions de cette norme.

Quelques caractéristiques des eaux EUV (Eaux Usées Vannes) et EUG (Eaux Usées Grises)

Les caractéristiques des eaux usées utilisées sont présentées dans le tableau II ci-dessous.

Tableau II : Caractéristiques des EUV et EUG

Caractéristiques	Eaux Usées Vannes (EUV)	Eaux Usées Grises (EUG)	Normes d'EUR
Teneur en nitrates NO ₃ ⁻ (mg/L)	25	0,3	< 45 ^a
Teneur en Orthophosphates PO ₄ ³⁻ (mg/L)	72,5	152,5	5 ^b
Conductivité (χ) (μ S/cm)	6515	1596	250 ^b
Potentiel d'Hydrogène (pH)	7,93	8,12	6 - 9 ^a
Température (°C)	27,8	30,0	> 1 ^a
Turbidité (Turb) (NTU)	2300	170	< 4 ^b
Oxygène dissous (O ₂) (mg/L)	0,09	0,45	NI5
Matière en suspension (MES) (mg/L)	1520	137	35 ^a
Azote Total Kjeldahl (NTK) (mg/L)	43,4	7,7	10-15 ^a

a : Décret 2001-109 du 04 Avril 2001(Bénin)

b : Beuffler et al., 1989

La valeur du pH est égale 8,12 pour l'EUG. Elle montre que la majeure partie de l'ammonium de l'EUG est sous forme non ionisée (azote ammoniacal). Ce qui est préjudiciable au milieu aquatique (Chaïb et al.; 2002). Le pouvoir d'oxydoréduction des EUV et EUG ont une valeur comprise entre 15 et 23. A

partir de ces valeurs, on peut dire que le milieu est favorable à l'oxydation des composés organiques et que les deux milieux sont anoxiques (Akowanou, 2012). Les valeurs de la conductivité montrent que l'eau usée vanne est très chargée en ions comparativement à l'eau usée grise. Par ailleurs, l'eau vanne est plus chargée en matière en suspension (1520 mg/L) que l'eau usée grise (137mg/L). Ceci permet de justifier la forte valeur de la turbidité (2300 NTU) pour l'eau usée vanne contre 170 NTU pour celle grise.

La teneur en nitrate est importante au niveau de l'eau usée vanne et vaut 25 mg/L. Ceci se justifie par la forte teneur en azote apporté par Les urines et les matières fécales. Les résultats similaires ont été rapportés par Mouchalin et al. (2000). La charge en orthophosphates est élevée pour l'eau usée grise (152,5mg/L). Elle peut être due à la présence des détergents dans l'EUG (Mama, 1998).

Ces résultats nous ont permis de porter notre choix sur l'EUG pour la suite des travaux. En effet, il a été constaté que les macrophytes ne se sont pas développées dans les eaux vannes comparativement aux eaux grises lors des essais de traitement. On pense que cela est dû à la concentration élevée

5 Non Identifié

de cet effluent en azote. Des expériences menées au CINARA en Colombie et rapportées par Seidl et al. (2003), il a été noté une faible résistance des lemnaées à des teneurs en ammonium de plus de 30mg/L.

Les résultats obtenus lors des essais de traitement en vue du calcul des rendements épuratoire des différentes pousses ont été consignés dans le tableau III.

Rendements épuratoires des différentes pousses de *Thalia geniculata*

Tableau III : Rendements épuratoires des différentes pousses de *Thalia geniculata*

Caractéristiques	Jeunes Pousses (JP)			Moyennes Pousses (MP)			Vieilles Pousses (VP)		
	Entrée	Sortie	Abt %	Entrée	Sortie	Abt %	Entrée	Sortie	Abt %
χ ($\mu\text{s/cm}$)	1851	1282	30,74	1909	1464	23,32	1812	1665	8,11
pH	8,19	7,79	4,83	8,14	8,05	1,16	8,17	7,92	3,04
Température °C	28,9	27,8	3,80	29	27,8	4,13	28,9	27,8	3,80
Turb (NTU)	1434	24	83,21	1354	39	70,89	142	60	57,74
O ₂ dissous (mg/L)	0,47	3,6	-86,94	0,49	2,4	-79,58	0,53	4,3	-87,67
NO ₃ ⁻ (mg/L)	2	0,2	90	3	0,2	93,33	2,2	0,2	90,90
PO ₄ ³⁻ (mg/L)	31,47	7,5	76,16	35,05	12	5,76	34,31	14,5	57,73
MES (mg/L)	110	15	86,36	104	30	91,15	109	46	57,79
NTK (mg/L)	81,9	0	100	73,5	0	100	110,6	9,8	97,13

Les différents résultats des rendements épuratoires obtenus ont milité en faveur

du choix de la pousse de *Thalia geniculata* la plus efficace pour le traitement des eaux usées. De cette étude, on constate que les JP (Jeune Pousse) de *Thalia geniculata* ont un meilleur rendement épuratoire au niveau de plusieurs paramètres à savoir: les paramètres de suivi et de fonctionnement (conductivité, turbidité, pH), les matières organiques (MES) et les éléments nutritifs (nitrates, orthophosphates et l'azote total kjeldahl). De même, il a été observé une augmentation de la concentration en oxygène dissous. Ce résultat pourrait être interprété par le fait que les hydrophytes (*Thalia geniculata*) absorbent les nutriments en excès à travers les parois cellulaires de leurs tiges et racines très ramifiées et produisent de l'oxygène nécessaire à la décomposition des matières organiques, et, à l'oxydation de

l'azote ammoniacal (Chaïb et al.; 2000). De plus, les températures évoluent de la même manière dans les mini bassins et varient entre 27,8°C et 29°C au cours de l'expérience. Cette gamme de variation de la température est propice aux activités nitrifiantes (Akowanou, 2012).

Evolution temporelle de la conductivité et de la turbidité au niveau des mini-bassins

3.4.1. Evolution temporelle de la conductivité et de la turbidité au niveau des mini-bassins BJP (Bassin à Jeune Pousse), BMP (Bassin à Moyenne Pousse) et BVP (Bassin à Vieille Pousse)

Les courbes montrant l'évolution temporelle des conductivités et des turbidités des BJP, BMP et des BVP sont indiquées au niveau de la figure N°01.

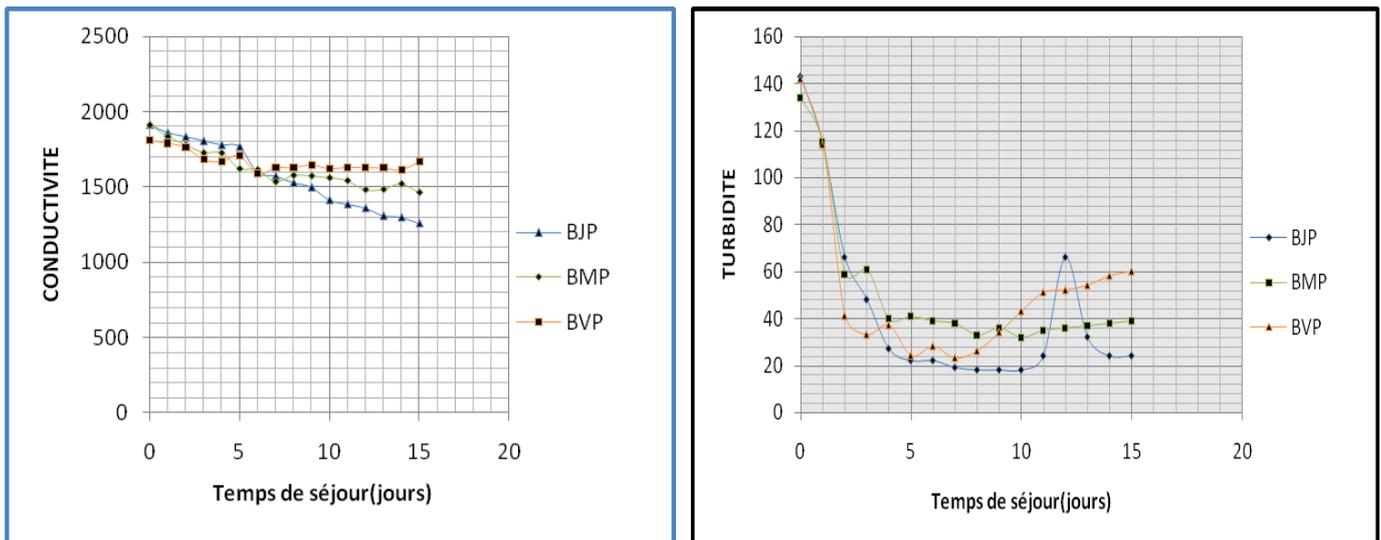


Figure 01 : Evolution temporelle de la conductivité et de la turbidité au niveau des mini bassins BJP, BMP et BVP

A travers la courbe de la conductivité, on constate que du 1^{er} au 8^{ème} jour, les macrophytes consomment presque les mêmes quantités de particules chargées. A partir du 8^{ème} jour, les jeunes pousses fixent deux à quatre fois plus d'ions chargés que les pousses moyennes et les vieilles pousses. De ce résultat, on peut dire que les JP sont plus efficaces dans l'assimilation des particules chargées que les autres pousses. Et ceci se justifie avec la courbe de la turbidité qui chute jusqu'à 22 NTU pour les JP. On peut déduire de ce résultat

que les JP sont alors des hélophytes qui contribuent à un meilleur abattement des particules chargées et des particules en suspension dans l'eau usée grise.

Evolution temporelle de la conductivité et de la turbidité au niveau des mini bassins BJP (Bassin à Jeune Pousse) et BJ (Bassin à Jacinthe)

L'évolution temporelle des conductivités et des turbidités des BJP et des BJ sont indiquées au niveau de la figure N°02.

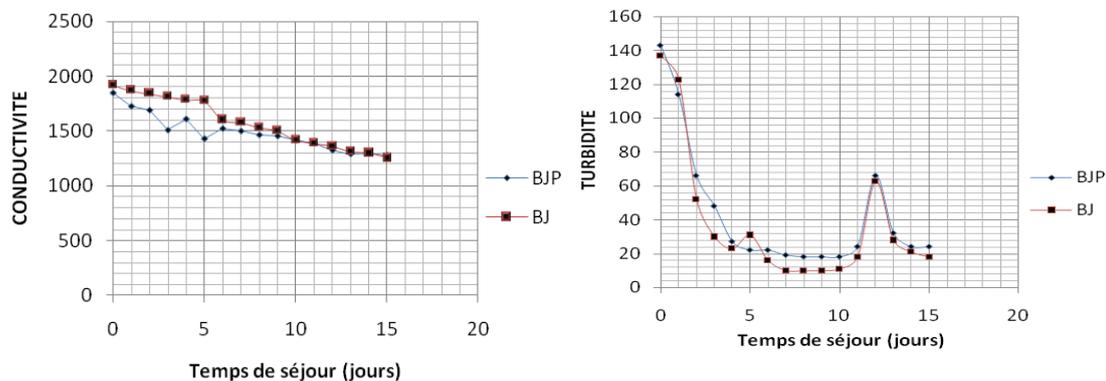


Figure 02 : Evolution temporelle de la conductivité et de la turbidité au niveau des mini bassins BJP et BJ

Cette figure permet de faire remarquer que les conductivités varient différemment les 6 premiers jours. Donc du 1^{er} au 6^{ème} jour, la jeune pousse de *Thalia geniculata* fixe beaucoup plus les particules chargées comparativement au jacinthe d'eau. La quantité consommée au 6^{ème} jour par la jeune pousse est trois fois supérieure à celle consommée par la jacinthe d'eau. La vitesse de consommation de la jeune pousse est trois fois supérieure à celle de la jacinthe dès les premiers jours. On peut en déduire que les JP réduisent les ions des eaux usées mieux que la jacinthe d'eau au début des expériences. En revanche, au-delà du 6^{ème} jour, les valeurs de la conductivité varient de la même manière. Donc à partir du 6^{ème} jour la vitesse de consommation diminue sérieusement chez la jeune pousse alors que la jacinthe d'eau continue d'en fixer.

Du 10^{ème} au 15^{ème} jour, les efficacités des deux macrophytes dans l'abattement des ions chargés sont comparables. Les valeurs des conductivités sont respectivement égales à 1282 et 1257 $\mu\text{S}/\text{cm}$ pour les BJP et les BJ au 15^{ème} jour puis sont proches de la valeur moyenne (1150,46 $\mu\text{S}/\text{cm}$) obtenue par Abissy *et al*, (1999) pour un lit planté de roseaux et montrent que la présence des macrophytes intervient dans cette diminution.

Les turbidités ont chuté considérablement jusqu'à environ 20 NTU au niveau des deux systèmes au cinquième jour puis fluctuent autour de cette valeur jusqu'au quinzième jour après avoir montré un pic au douzième jour. Les valeurs finales des turbidités obtenues permettent de dire que le phénomène d'eutrophisation pourrait être ralenti au niveau de cette eau traitée. Ce constat a été observé par Dèdjiho en

2011 lors de l'évaluation de la chaîne trophique d'une aire marine protégée en relation avec sa physico-chimie : cas de Gbèzoumè dans la commune de Ouidah.

Evolution temporelle du pH et de l'oxygène dissous au niveau des mini-bassins

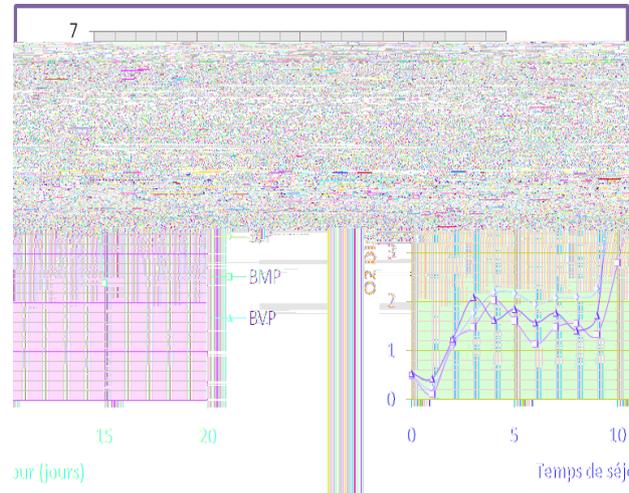
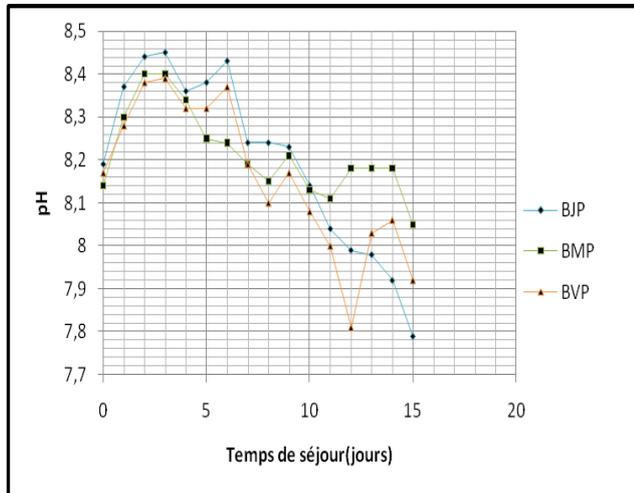


Figure 3 : Evolution temporelle du pH et de l'oxygène dissous au niveau des mini bassins BJP, BMP et BVP

Les courbes du pH évoluent de la même manière pour les trois types de *Thalia geniculata* puis sont en hausse les quatre premiers jours. Cette élévation du pH montre que l'eau grise des mini bassins est basique au début de l'expérience.

Le phénomène observé pourrait être lié aux activités microbiennes. Du 5^{ème} au 15^{ème} jour, les valeurs du pH chutent considérablement pour le BJP jusqu'à une valeur égale à 7,8 qui diffère d'une unité et de deux unités en moins respectivement pour les BVP et les BMP. Cependant, les trois mini bassins présentent à la fin de l'expérience des pH inférieurs à 8,2 qui est une valeur limite pour des eaux de piscine selon la réglementation française (Beuffe et al.;1984).

L'oxygène dissous croît lentement au niveau des trois mini bassins, les trois premiers jours pour atteindre environs

2mg/L puis fluctue autour de cette valeur jusqu'au 9^{ème} jour. Ce constat pourrait être lié aux réactions de dégradation et de minéralisations des nutriments qui utilisent au fur et à mesure l'oxygène dissous apporté par l'air et les racines des macrophytes. Une augmentation brutale de la teneur en oxygène dissous est observée entre le 10^{ème} et le 14^{ème} jour dans tous les mini bassins avec une valeur maximale égale à 6,2mg/L pour le BVP. Cette augmentation pourrait se traduire par une diminution des matières oxydables de l'eau.

Evolution temporelle du pH et de l'oxygène dissous au niveau des mini bassins BJP et BJ

L'allure de l'évolution du pH et de l'oxygène dissous au niveau des mini bassins BJP et BJ est montrée par la figure N°04.

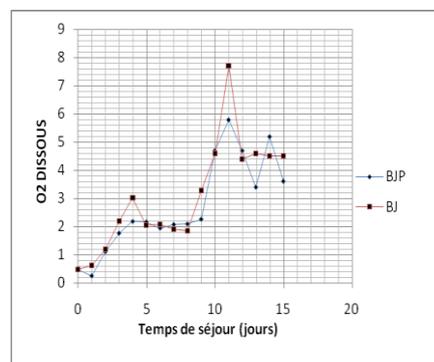
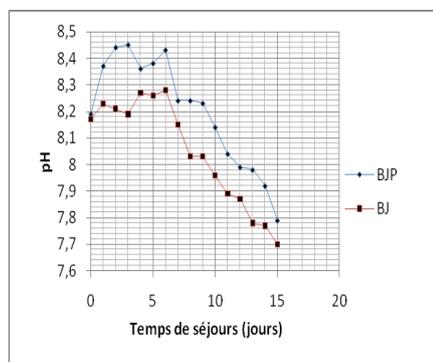


Figure 4 Evolution temporelle de l'oxygène dissous et du pH au niveau des mini bassins BJP et BJ

Le pH augmente du 1^{er} au 5^{ème} jour. Cette augmentation est liée aux activités microbiennes qui dégradent des nutriments en produisant de l'ammoniac. Au-delà du 5^{ème} jour, cette activité ralentie à cause la diminution des matières organiques qui sont transformées en nutriments.

Les courbes de l'oxygène dissous évoluent de façon identique au niveau des deux mini bassins jusqu'au 15^{ème} jour. Les plus fortes teneurs en oxygène dissous 5,4mg/L et 7,8 mg/L obtenues ont été enregistrées respectivement au niveau du mini-bassin BJP et le mini-bassin BJ le onzième jour des expériences. Ceci permet de faire remarquer que le BJ produit plus d'oxygène dissous que le BJP. Néanmoins, les deux mini-bassins donnent les mêmes concentrations en oxygène dissous entre le 5^{ème} et le 10^{ème} jour. Ces constats permettent de déduire que le système hydroponique que constitue le BJP offre un milieu favorable au développement

de certaines espèces aquatiques. L'oxygène diffusé par les jeunes pousses de *Thalia geniculata* à travers les racines peut stimuler la croissance des bactéries nitrifiantes au niveau de la rhizosphère. Un résultat similaire a été rapporté par Armstrong et al en 1990.

Etude comparative des rendements épuratoires des macrophytes

Etude comparative des rendements épuratoires par rapport aux paramètres de pollution au niveau des mini bassins BJP, BMP et BVP

Les rendements épuratoires déterminés au niveau du tableau III pour les différents types de macrophytes de *Thalia geniculata* ont permis de construire l'histogramme de la figure N°05 ci-dessous.

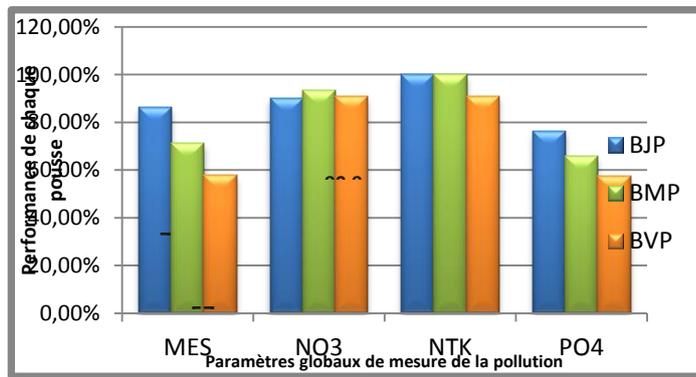


Figure 5 : Rendements épuratoires des mini bassins BJP, BMP et BVP par rapport aux paramètres de pollution

L'analyse de cette figure montre que les performances épuratoires de toutes les pousses par rapport aux paramètres de pollution dépassent 50% avec un pourcentage minimal avoisinant les 58% pour les vieilles pousses par rapport aux MES et aux orthophosphates. Ce résultat pourrait se justifier par la diminution de la vitesse d'assimilation des ions orthophosphates par les vieilles pousses vers la fin de l'expérience. Le BJP détient les meilleurs pourcentages (86,36% pour les MES et 76,16% pour les PO_4^{3-}) de réduction des paramètres ci-dessus cités. Par ailleurs, les jeunes pousses abattent considérablement le NTK (100%) au même titre que le BMP. Par contre, elles sont légèrement moins efficaces que les pousses moyennes dans la diminution des nitrates (93,33% pour les BMP). De cette analyse, on

constate que les matières en suspension, l'azote total Kjeldahl et les orthophosphates sont éliminés par les jeunes pousses de *Thalia geniculata*. Mais son efficacité n'est que de 90% dans l'abattement des nitrates.

Etude comparative des rendements épuratoires par rapport aux paramètres de pollution au niveau des mini bassins BJP et BJ

La figure 06 montre respectivement les rendements de la teneur en MES, en nitrates, en NTK et en orthophosphates au niveau des systèmes hydroponiques formé par le BJP et le BJ.

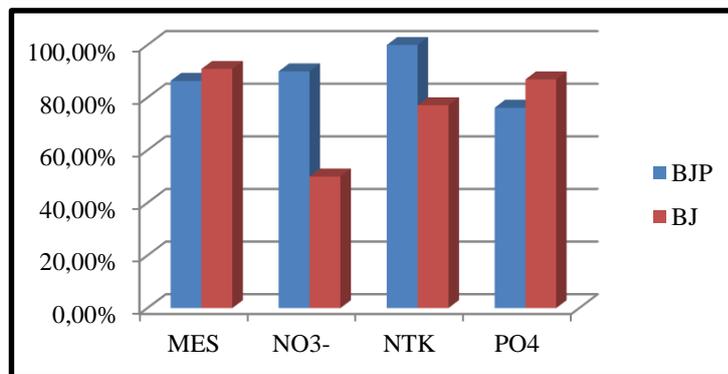


Figure 6 : Rendements épuratoires des mini bassins BJP et BJ par rapport aux paramètres de pollution

L'analyse de cet histogramme montre que la jacinthe d'eau élimine plus les MES (90,90%) et les PO_4^{3-} (86,92%) que les jeunes pousses de *Thalia geniculata*. Les MES évoluent respectivement de 104 mg/L à 15mg/L pour les BJP et de 110mg/L à 10mg/L pour les BJ. L'élimination de ces MES et des charges organiques qui troublent l'eau brute se fait par sédimentation et par dégradation microbienne (Akowanou, 2012). L'eau usée traitée devient limpide à la fin de l'expérience. Ce qui confirme les résultats de Aïna et al.(2012).

Les orthophosphates subissent globalement un abattement avec des rendements épuratoires en fonction du temps de séjour. L'abattement obtenu pour les orthophosphates ne dépasse pas 90% à la fin de l'expérience. Ce rendement est de 76,16% pour le BJP et 86,92% pour le BJ. Dans le système BJP, la concentration en orthophosphates est devenue 7,5mg/L à la fin de l'expérience et est sensiblement égale à celle obtenue par Aïna et al. (2012) (7,25mg/L).

En revanche, les jeunes pousses de *Thalia geniculata* éliminent plus la pollution azotée que les plants de jacinthe d'eau. Il y a une grande variation de la concentration en NTK et en NO_3^- dans les eaux usées entre le 1^{er} et le 5^{ème} jour. Cette concentration fluctue entre 82,6 mg/L et 0 mg/L pour NTK puis 6 et 0,2mg/L pour NO_3^- . La réduction des NTK est de l'ordre de 100% pour les BJP contre 77,11% pour les BJ puis celle des nitrates est de 90% pour les BJP et 50% pour les BJ. On peut en déduire que le système hydroponique de BJP est plus efficace dans l'élimination de la pollution azotée.

Enfin, les valeurs obtenues par rapport aux éléments nutritifs montrent que l'eau usée traitée respecte certaines normes de rejets d'eaux usées domestiques résiduaires au Bénin. A la fin des expériences, on retrouve uniquement dans les eaux usées traitées des mini bassins BJP une charge dite de néoformation (Abissy et al.,1999) liée à la présence des petites pousses de *Thalia geniculata*.

CONCLUSION

Le présent travail nous a permis de connaître davantage la plante *Thalia geniculata* en ce qui concerne son pouvoir épuratoire. Elle est efficace dans la réduction de certaines charges polluantes des eaux usées domestiques notamment les éléments nutritifs. Les résultats obtenus révèlent que les différentes pousses de *Thalia geniculata* ont un pouvoir épuratoire intéressant, comparable à ceux de la *Jacinthe d'eau* par rapport au taux d'éléments nutritifs, notamment en nitrates (Moyenne pousse-93,33%), en orthophosphates (Jeune pousse-75,38%) et en azote total kjeldahl (Jeune pousse -100%). Les Jeunes pousses ont la meilleure capacité d'abattement des charges polluantes. On peut introduire dans les systèmes d'épuration et de traitement des eaux usées pour améliorer leur performance. Il est nécessaire de poursuivre les investigations pour vérifier leur potentiel épuratoire par rapport aux paramètres microbiologiques.

BIBLIOGRAPHIES

- Abissy.M.; Mandi,L. Utilisation des plantes aquatiques enracinées pour le traitement des eaux usées urbaines : Cas du roseau. Revue des sciences de l'eau, Rev.Sci.Eau (1999),pp.285-315.
- Adjanohoun E.J. ; Adjakidjè V. ; Ahyi M.R.A. ; Akeassi L. ; Akoegninou A. ; d'Almeida J. ; Apovo F. ; Boukef K. ; Chadare M. ; Dramane K. ; Eyme J. ; Gassita J.N. ; Gbaguidi N. ; Goudoté E. ; Guinko S. ; Hounnon P. ; Issa Lo. ; Keita A. ; Kiniffo,H.V. ; Koné-Bamba, D. ; Musampa Nseyya A. ; Saadou M. ; Sogodandji Th. ; de Souza S. ; Tchabi A. ; Zinsou Dossa C. ; Zohoun Th. ; 1989. Médecine traditionnelle et pharmacopée. Contribution aux études ethnobotaniques et floristiques en République du Bénin. Agence de Coopération.
- Aina,M.P.; Kpondjo,N.M.; Adoukpe, J.; Moudachirou, M. ; Study of the Purification Efficiencies of three Floating Macrophytes in Wastewater Treatment, Research Journal of Chemical Sciences.(2012)1(3),pp.37-43.ISSN 2319–1414.Faculté des Sciences et Techniques de l'Eau de l'Ecole Polytechnique d'Abomey Calavi, Université d'Abomey-Calavi.
- Akowanou A.V.O. ; Phytoépuration des eaux usées domestiques : Evaluation des paramètres de performances par combinaison de trois macrophytes flottants. 2012.
- Armstrong,J.;Armstrong,W.; Light-enhanced convective throughflow increases oxygenation in rhizomes and rhizosphere of phragmites australis (Cav.) Trin ex steudet. New phytol.(1990)114 ;pp.121-128.
- Beuffe H., Bournaud M.,Broutin.,Géoffray Ch.,Kovacsik G.,Laporte J.,Pattee E., Plissier M., Rodi L. ; Vial J.(1984) L'analyse de l'eau, eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer. 7^{ème} édition Dunod.
- CHAIB J.;Thorez J-P. ;(2002) L'épuration des eaux usées par les plantes. « Connaître pour agir »
- Dèdjiho .Evaluation de la chaîne trophique d'une aire marine protégée en relation avec sa physico-chimie : cas de Gbézoumè dans la commune de Ouidah. 2011.
- Esser, D. ; (1989).Contribution à la compréhension des mécanismes d'élimination des phosphates par des systèmes d'épuration rustiques à cultures fixées (lits à macrophytes, lits d'infiltration, percolation) (1989),81p.
- FAO. Le secteur forestier en 2020.2001.
- House,C.H. ;Broome,S.W. ;Hoover,M.T. ; Treatment of nitrogen and phosphorus by a constructed upland-wetland wastewater treatment system. Wat sci (1986).20(3),pp363-36
- Hutchinson S.L.; Schwab A.P.; Bank M.K.; Phytoremediation of aged petroleum sludge. Effect of irrigation techniques and scheduling.Journal of environmental quality (2001).30,1516-1522.
- Lagnika,L. ; Etude phytochimique et activité biologique de substances naturelles isolées de plantes béninoises. Thèse de doctorat, Université Louis Pasteur. (2005) ; 280.
- Mama,D. ; Eutrophisation des lacs de Yamoussoukro. Thèse de doctorat de 3^{ème} Cycle, spécialité : Génie de l'environnement. (1998), pp.1-175.
- Monchalain G. ; Aviron-Violet J.(2000) . Réutilisation des eaux usées après traitement.
- Nana ;Constance,P. ;Brouwer Inge,D. ; Troré,A.S. ; Consommation alimentaire des enfants de 6 à 36 mois en milieu rural en fonction de la disponibilité des aliments riches en vitamine A. 2^{ème} Atelier international Voies alimentaires d'amélioration des situations nutritionnelles :2003, Ouagadougou.
- Oueslati, M.A. ; Haddad,M. ; Blake,G. ; Elimination du phénol par deux plantes aquatiques :Juncus fontanesi (Gay) et Lemna minor L. Revue des Sciences de l'Eau. (1998)11(4),pp.555-568.

PNE. Livre bleu du Bénin « l'eau, l'assainissement, la vie et le développement humain durable ». (2009), 130.
Programme National de Lutte Contre le Paludisme (PNLCP) 2006-2010.
Rodier, J. ; L'analyse de l'eau. (Livre) Dunod, Paris. 1984.

Seidl, M.; Mouchel, J.M. ; Valorisation des eaux usées par lagunage dans les pays en voie de développement. Programme gestion durable des déchets et de l'assainissement urbain, rapport final. (2003), 40p.

PRODUCTION ET QUALITE DU LAFUN, UNE FARINE FERMENTEE A BASE DE MANIOC EN USAGE AU BENIN ET AU NIGERIA : INFLUENCE DU FACTEUR VARIETAL

HONGBETE FRANCK¹, NAGO C. MATHURIN² ET MESTRES CHRISTIAN³

Résumé

La présente étude a permis d'évaluer le procédé traditionnel de production du lafun et l'influence du facteur variétal sur la production et la qualité du lafun fabriqué à partir de cinq variétés de manioc du Bénin. Ainsi, la cinétique de réduction des cyanures du manioc et la modification de la couleur au cours de la transformation du lafun ont été étudiés. En parallèle, les phénols totaux, l'activité de la polyphénoloxydase (PPO) et de la peroxydase (POD) ont été évalués. Le procédé de transformation du lafun permet d'obtenir une farine très blanche (écart total de couleur $\Delta E = 9,2$), de qualité sanitaire satisfaisante (11.4 mg HCN/kg, bs de cyanures totaux) avec un taux de cyanures réduit de plus de 90%. La détoxification du manioc dépend non du facteur variétal mais plutôt du procédé de fabrication. Le rouissage est apparu très déterminant dans la réduction des cyanures du manioc. Il permet d'éliminer plus de la moitié des cyanures du manioc. L'activité de la PPO a significativement diminuée au cours du rouissage du manioc tandis que la POD a été totalement inhibée. Une corrélation positive ($r = 0,9$) a été établie entre la ΔE et la teneur en phénols totaux du produit. Il est apparu que les variétés douces (AGRIC et RB 89509) se prêtent mieux à la production du lafun que les variétés amères (TMS 93/0700, TMS 93/0517 et TMS 920326).

Mots clés : *Manihot esculenta* Crantz, manioc, fermentation, lafun, qualité, cyanures, phénols

Introduction

Le lafun est une farine fermentée de manioc produite en Afrique de l'Ouest notamment au Bénin dans le département du Plateau au Sud-est du pays et au Nigeria dans les Etats d'Oyo, Ogun et Ondo. Traditionnellement, le lafun est obtenu par rouissage (fermentation naturelle en milieu aqueux) des racines de manioc pendant 3 à 5 jours, suivi du séchage au soleil et de la mouture. La farine de lafun est utilisée pour la préparation d'une pâte cuite (appelée « oka ») qui est consommée comme plat de résistance accompagné de diverses sauces (sauce gombo, sauce légumes, sauce tomate, etc.). Malgré les nombreux avantages nutritionnels que procurent les produits alimentaires fermentés aux consommateurs, le lafun est peu connu au Bénin et sa consommation reste limitée dans les zones de production. Plusieurs contraintes dont notamment la grande variabilité de la qualité du produit freinent la distribution du lafun sur les marchés urbains. En effet, la qualité des dérivés de manioc varie énormément d'une région à une autre, d'une productrice à une autre et pour une même productrice, d'une production à une autre (Nago et Hounhouigan, 1998 ; Padonou *et al.*, 2010). Cette variation de la qualité peut être attribuée à plusieurs facteurs à savoir la diversité variétale de la matière première utilisée, les conditions agroclimatiques de sa culture, les conditions de récolte (âge et saison) et surtout les conditions de transformation.

Au Bénin, deux types de lafun sont produits dont le lafun ordinaire et le lafun tchigan qui se distingue du premier notamment par son plus faible taux de fibres et sa couleur plus blanche (Padonou *et al.*, 2009). La couleur est un critère important d'appréciation de la qualité du lafun. Les consommateurs ont une préférence marquée pour la couleur blanche éclatante du produit. Malheureusement, les déterminants de la couleur du lafun sont encore mal connus. De nombreux travaux ont été effectués sur l'amélioration de la qualité du lafun au Nigéria (Oyewole et Odunfa, 1995 ; Obadina *et al.*, 2009). Cependant, peu d'études ont été consacrées au lafun béninois. Padonou *et al.* (2010) ont identifié et caractérisé les microorganismes impliqués dans la

fermentation du lafun produit au Bénin. Leurs travaux ont également permis de développer un ferment microbien pour l'amélioration de la production du lafun.

Dans cette étude, nous envisageons d'approfondir les connaissances sur le lafun béninois, évaluer la technologie de sa production et étudier l'influence du procédé et de la variété sur la qualité du produit en vue de proposer des alternatives pour son amélioration.

Matériel et méthodes

Production du lafun et échantillonnage

Le lafun a été produit à partir de cinq variétés de manioc (*Manihot esculenta* Crantz) en usage au Bénin dont trois amères (TMS 93/0700, TMS 93/0517 et TMS 920326) et deux douces (AGRIC et RB 89509). Ces variétés, âgées de 15 mois, ont été fournies par l'Institut International d'Agriculture Tropicale (IITA, Station du Bénin à Agonkanmey). Le diagramme technologique suivi pour la production du lafun est présenté à la figure 1. Les racines de manioc de chaque variété ont été épluchées, lavées puis découpées en morceaux d'environ 5 cm d'épaisseur. Ces morceaux ont été fermentés par rouissage dans l'eau pendant 3 jours jusqu'à ramollissement. Ils sont ensuite pressés dans un sac de jute à l'aide d'une presse manuelle à vis (type IITA) puis émottés et tamisés avec un tamis traditionnel «sassado» dont les mailles ont un diamètre moyen de 2 mm. La pulpe ainsi obtenue a été séchée au soleil pendant environ 48 heures. La pulpe séchée a été réduite en farine à l'aide d'un moulin à disques (type LISTER 008-02101).

A chaque étape du processus de fabrication du lafun, environ 100 g d'échantillon sont prélevés et immédiatement utilisés pour les mesures des paramètres de couleur, du pH, de l'acidité titrable et de la teneur en matière sèche. Environ 200 g d'échantillon humide (racine épluchée, racine rouie, pulpe fermentée pressée) sont également prélevés, congelés à -18°C , déshydratés par lyophilisation puis moulus avant d'être utilisés pour le dosage des phénols totaux, des sucres, des acides organiques et la détermination de l'activité de la

polyphénoloxydase (PPO) et de la peroxydase (POD). Les échantillons lyophilisés ainsi que les échantillons de lafun ont été conservés à 5°C pendant la durée des analyses.

Analyses physico-chimiques

Les différentes analyses physico-chimiques ont été effectuées en deux répétitions. Les paramètres de couleur du lafun (clarté L* et écart total de couleur par rapport à la céramique blanche de référence ΔE) et des produits intermédiaires ont été mesurés dans le système L* a* b* (Mc Laren, 1976) avec un chromamètre Minolta CR-210b (Minolta Camera Co. Ltd, Osaka, Japon) en utilisant comme référence la céramique blanche ($D_{65} Y_{94,8} X_{3150} Y_{3324}$). Le pH et l'acidité titrable ont été mesurés sur une suspension faite de 10 g de farine dans 90 ml d'eau distillée suivant la méthode de Nout et al. (1989). L'acidité titration exprimée en pourcentage d'acide lactique a été dosée avec une solution de soude 0,1N. Le pH a été mesuré à l'aide d'un pH-mètre (Inolab pH 730, WTW D-82362 Weillheim Allemagne) préalablement calibré avec des standards pH 4,0 et pH 7,0. La teneur en matière sèche a été déterminée par pesée différentielle après séchage à l'étuve à 105°C pendant 48 heures (AACC, 1984). Les phénols totaux ont été dosés par mesure de la densité optique à 760 nm après addition du réactif de Folin suivant la méthode décrite par Akissoé et al. (2003). L'activité de la polyphénoloxydase (PPO) et celle de la peroxydase (POD) ont été déterminées respectivement, par évaluation de la cinétique de consommation d'oxygène et par enregistrement et mesure de la densité optique à 460 nm (Akissoé et al., 2003). Les cyanures totaux et les cyanures

libres ont été dosés par mesure de la densité optique à 605 nm après extraction dans de l'acide ortho-phosphorique 0,1 M et addition des tampons pH 6 et pH 4 respectivement suivant la méthode de Essers (1995) modifiée par remplacement de la linamarase par la β -glucosidase (Sigma # G 0395). Les sucres fermentescibles et les acides organiques ont été dosés par HPLC après extraction à l'acide sulfurique (H_2SO_4 , 5 mM), puis centrifugation à 7000 g pendant 10 min. Environ 20 μ L du surnageant sont injectés au moyen d'une seringue (Codan Medical APSDK – 4970 Rødbj) dans une colonne (Polymer LabHi – PLEX 300X 7,7 H) thermostatée à 60°C et préalablement étalonnée respectivement avec les solutions à 1 et 10 mg/ml de standards de sucre (maltose, saccharose, glucose, fructose) et d'acides organiques (acétique, citrique, formique, lactique, malique, oxalique, pyruvique et tartrique). L'éluant utilisé est la solution de H_2SO_4 , 5 mM à un débit de 0,6 ml/min. Un détecteur UV et un réfractomètre branchés en série à la sortie de la colonne ont permis la détection des différents acides et sucres (à 210 nm à l'aide d'un détecteur UV et d'un réfractomètre). La détermination quantitative et qualitative des sucres et des acides correspondants a été réalisée par comparaison des temps de rétention et des aires des pics obtenus avec ceux des standards.

Analyse statistique

Les données obtenues ont été analysées avec le logiciel STATISTICA 7.1 (StatSoft, Tulsa, USA). Une analyse de variance suivie du test de Newman et Keuls (avec $p < 0.05$) été faite pour faire la comparaison des caractéristiques physico-chimiques étudiées.

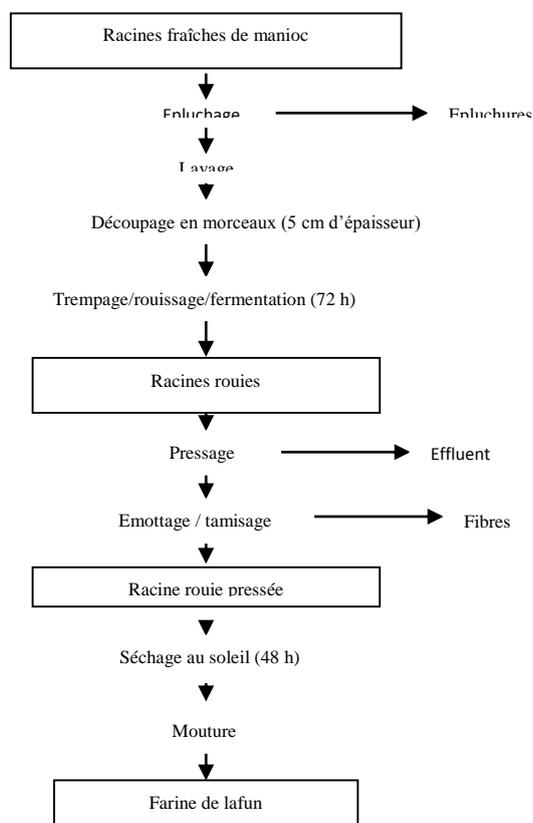


Figure 1 : Diagramme technologique de fabrication du lafun

Résultats et discussion

Evaluation du procédé de fabrication du lafun

Le bilan de matière et la durée des différentes opérations technologiques effectués au cours de production du lafun ont été résumés dans le tableau 1. La production du lafun comporte trois principales étapes à savoir l'épluchage, le rouissage et le séchage. L'épluchage des racines de manioc est une opération manuelle pénible qui nécessite beaucoup de temps et de main d'œuvre (le rendement horaire étant de 26,6 kg de racine fraîche/heure/personne). Il permet d'éliminer

l'écorce du manioc. Le rouissage ou fermentation par immersion dans l'eau des racines épluchées est une opération très déterminante pour la production du lafun. Elle a pour effet le ramollissement des tissus des racines de manioc (Padonou *et al.*, 2009) ; ce qui favorise la libération et l'hydrolyse des glucosides cyanogènes ainsi que l'élimination des cyanures du manioc (Oyewole et Afolami, 2001 ; Hongbété *et al.*, 2009). Le séchage au soleil des racines rouies de manioc est une opération qui peut durer plus de 48 heures selon l'hygrométrie et les conditions d'ensoleillement. Le séchage prend fin lorsque la teneur en eau du produit avoisine 12%.

Tableau 1 : Bilan de matière et durée des opérations du processus de production du lafun

Opérations	Durées (temps / personne / 100 kg de racines fraîches)	Bilan de matière (% , bs)	
		Pertes	Produits
Epluchage	3 h 45 min	24,7	75,3
Lavage	30 min	-	-
Découpage	45 min	-	-
Rouissage	72 h	1,1	74,2
Pressage	30 min	0,7	73,5
Emottage / tamisage	1 h 25 min	4,1	69,4
Séchage	48 h	1,7	66,7
Mouture	1h 25 min	1,9	65,8

Le procédé de fabrication du lafun permet une réduction significative de la teneur en eau de 73% (racines fraîches) à 11% (lafun). La faible teneur en eau du produit est un avantage pour sa bonne conservation. Le rendement en lafun est en moyenne de 65,8% (bs). Gbaguidi-Darboux *et al.* (2001) ont rapporté un rendement similaire de 62,5% pour le lafun traditionnel. Près de 75% des pertes de matière enregistrées au cours de la production du lafun sont dues à l'épluchage manuel du manioc. Cette opération constitue une contrainte majeure à la transformation du manioc. Il serait donc nécessaire d'envisager sa mécanisation afin de réduire sa pénibilité et les pertes importantes de matières qu'elle occasionne.

Effet du procédé sur la couleur

La couleur représente un important critère de qualité pour l'appréciation et le choix des dérivés de manioc (Nweke, 1996 ; Hongbété *et al.*, 2011). L'évaluation de ce paramètre montre que le lafun est une farine très blanche qui présente une clarté élevée ($L^* = 95,5$) et un faible écart total de couleur par rapport à la céramique blanche de référence ($\Delta E = 9,0$). L'écart de couleur ΔE du lafun est environ 2 fois plus petite que celui de la racine épluchée ($\Delta E = 16,3$). Le lafun apparaît donc plus blanc que la racine épluchée de manioc dont il est issu ainsi que le mawè et l'ogui (deux produits fermentés à base de maïs). En effet, des travaux antérieurs ont rapporté des valeurs de ΔE égale à 17,0 pour le mawè (Hounhouigan *et al.*, 1993) et 16,9 pour l'ogui (Nago *et al.*,

1998). Le lafun est cependant moins blanc que l'amidon de manioc ($\Delta E = 6,5$) (Hongbété, 2004).

Au cours de la production du lafun, on observe une légère augmentation de la ΔE lors du rouissage du manioc (16,3 à 18,8) suivi d'une baisse significativement ($p < 0,05$) au niveau du pressage ($\Delta E = 15,3$) et du séchage du lafun ($\Delta E = 9,0$). L'augmentation de la ΔE observée au niveau des racines rouies de manioc serait due au fait que ces racines, étant ramollies, ont absorbé de l'eau trouble d'immersion. La baisse de la ΔE observée après le pressage des racines rouies confirme cette hypothèse. L'évolution de la teneur en phénols totaux et de l'activité de la PPO est représentée à la figure 2. Au cours de la transformation du manioc en lafun, on note une baisse significative du taux de phénols totaux (1,7 à 0,2 $\mu\text{M/g}$, bs) ainsi qu'une réduction significative de l'activité de la PPO (14,6 à 4,3 $\mu\text{MO}_2\text{g}^{-1}\text{min}^{-1}$). Le rouissage entraîne 37% de réduction de l'activité de la PPO. Par ailleurs, plus de 45% de l'activité de la PPO et 25% du taux de phénols totaux sont éliminés lors du séchage du lafun. L'activité de la POD a été par contre totalement inhibée au niveau du lafun. Akissoé *et al.* (2003) sur la farine de cossettes d'igname ont mis en évidence l'effet du séchage sur la réduction de l'activité de la PPO. Dans notre cas, une corrélation forte positive ($r = 0,9$) a été établie entre la ΔE et l'activité de la PPO (figure 3). La baisse de la teneur en phénols totaux, la réduction de l'activité de la PPO et l'inhibition de l'activité de la POD au cours de la production du lafun pourraient justifier la couleur très blanche du produit. Par ailleurs, différents travaux ont montré que la couleur brune à sombre des produits

transformés est lié à la formation de phénols (Padmaja, 1985 ; Akissoé *et al.* 2003).

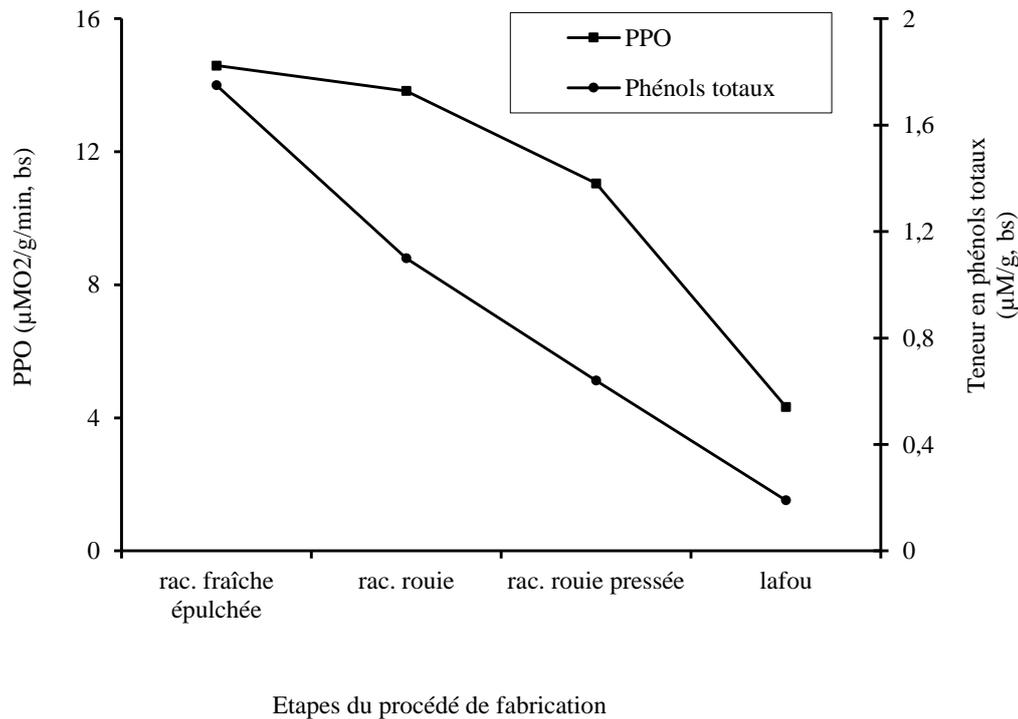


Figure 2: Evolution de la teneur en phénols totaux et de l'activité de la PPO

Effet du procédé sur l'acidité et la teneur en sucres

D'importantes modifications physiques et chimiques ont été observées lors du rouissage du manioc. La principale modification physique concerne le ramollissement des racines rouies. En effet, 72 heures après le début du rouissage, les racines de manioc deviennent si molles qu'elles peuvent être facilement écrasées au toucher. Le rouissage du manioc a entraîné une baisse significative du pH de 6,7 (racine fraîche) à 4,3 (lafun) et une augmentation de l'acidité titrable de 0,2 à 2,4 mg/g, bs. Ces modifications observées au niveau du pH et de l'acidité titrable indiquent une acidification spontanée du produit. Mathew *et al.* (1995) sont également parvenus à la conclusion que le rouissage induit l'acidification des racines. L'acidité du lafun est due à la production d'acides organiques résultant de l'assimilation des sucres par les micro-organismes fermentaires lors du rouissage du manioc (Padonou *et al.*, 2009). Les principaux sucres présents dans les racines fraîches de manioc sont le saccharose, le fructose et le glucose (tableau 2). Après 72 heures de rouissage, on note une hydrolyse totale du

saccharose et une baisse significative des taux de fructose et de glucose qui se traduit par la production d'acides lactique (11,11 mg/g, bs) et acétique (1,80 mg/g, bs). La formation dans le produit fermenté des acides lactique et acétique initialement absents dans les racines fraîches confirment l'effet d'acidification induit par le rouissage. La baisse des taux de sucres serait due d'une part à l'action des enzymes endogènes (α et β -amylases) contenues dans les racines de manioc et d'autre part à l'activité des micro-organismes fermentaires. Padonou *et al.* (2009) ont montré que les sucres contenus dans les racines de manioc sont métabolisés par les *Lactobacillus* pour produire des acides lactique, acétique et propionique. Brabet (1994) a également noté la production de ces acides au cours de la fabrication d'amidon aigre de manioc avec la prédominance de l'acide lactique. Malonga *et al.* (1996) ont rapporté la production d'acides lactique, acétique, propionique et butyrique et d'éthanol au cours du rouissage du manioc et ont mis en évidence la responsabilité des acides organiques dans le goût et la flaveur des racines rouies de manioc.

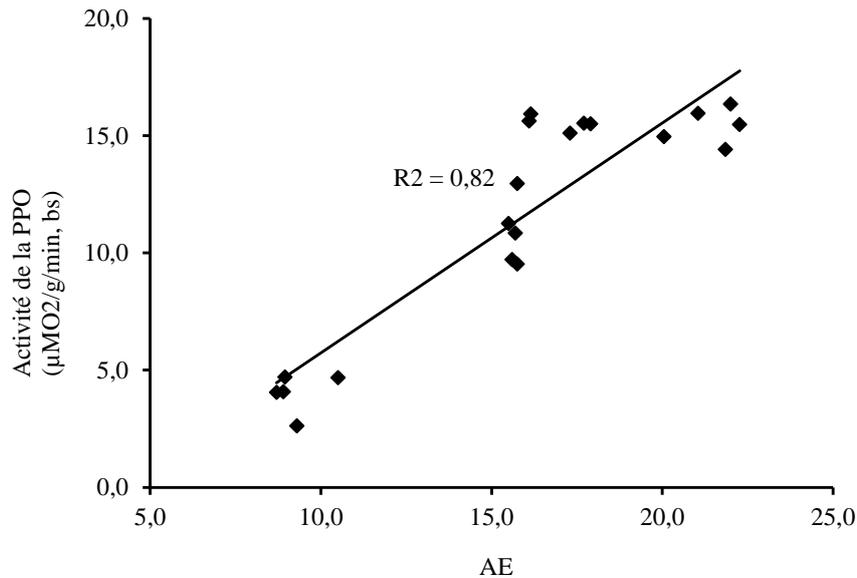


Figure 3. Corrélation entre la ΔE et la polyphénoloxydase (PPO)

Tableau 2. Evolution des teneurs en sucres et acides organiques

Opérations	Produits	Sucres (mg/g, bs)			Acides (mg/g, bs)	
		Saccharose	Glucose	Fructose	Lactique	Acétique
Epluchage	Rac. épluchée	50,3 ± 1,5	13,1 ± 1,3	8,4 ± 0,8	0	0
Rouissage	Rac. rouie	0	0,10 ± 0,0	3,5 ± 0,2	11,1 ± 0,2	1,8 ± 0,2
Pressage	Rac. Rouie pressée	0	0,03 ± 0,0	2,7 ± 0,2	6,1 ± 0,2	1,4 ± 0,1
Séchage	Lafun	0	0	0,15 ± 0,0	2,8 ± 0,2	0,9 ± 0,1

Réduction des cyanures du manioc

La toxicité du manioc (présence de cyanures) constitue une contrainte majeure qui limite sa consommation. L'évaluation de la teneur en cyanures montre que le lafun contient un faible taux de cyanures totaux (11,8 mg/kg, bs) qui est environ 12 fois plus petit que le taux initial dans la racine fraîche de manioc (140,0 mg/kg, bs). De plus, ce taux est constitué de plus de 45% de cyanures libres (soit 5,4 mg/kg, bs). En effet, les cyanures libres sont appelés à disparaître, soit pendant la conservation, soit lors de la cuisson du lafun en pâte, en raison de leur caractère très volatil et de leur température d'ébullition très faible (25°C) (Bokanga, 1995). Ainsi donc, le taux résiduel de cyanures totaux après départ des cyanures libres serait de l'ordre de 6,4 mg/kg, bs. Ce taux de cyanures est largement en dessous de la dose maximale résiduelle (10 mg/kg, bs) fixée par la Commission du Codex Alimentarius (1988). La réduction des cyanures au cours de la transformation du manioc en lafun est présentée à la figure 4. Le procédé de transformation du lafun permet une réduction de 91,6% des cyanures du manioc. Le rouissage pendant 72 heures contribue pour 58,5% à cette réduction tandis que le pressage et le séchage au soleil y contribuent respectivement pour 17,4% et 15,0%. Quelques expériences montrent l'efficacité du rouissage sur la détoxification du manioc. Ainsi, Ayernor (1985) et Ezeala et Okoro (1986) ont montré que le rouissage, suivi du séchage constitue la

meilleure voie de détoxification du manioc. Le ramollissement des racines de manioc au cours du rouissage aurait donc favorisé l'hydrolyse des composés cyanogènes par la β -glucosidase endogène et la libération des cyanures qui sont partiellement éliminés lors du pressage (avec l'effluent) et du séchage au soleil (par évaporation).

Influence du facteur variétal sur le rendement et la couleur du lafun

Le rendement en lafun varie de 63,7% (TMS 93/0700) à 67,7% (AGRIC) entre les variétés de manioc avec une moyenne de 65,8%. Ces résultats révèlent une différence significative ($p < 0,05$) entre les variétés étudiées pour ce paramètre. Les meilleurs rendements en lafun ont été observés au niveau des variétés douces AGRIC (67,7%) et RB 89509 (67,6%). Ces deux variétés de manioc semblent donc mieux se prêter à la production du lafun que les variétés amères (TMS 93/0700 et TMS 93/0517).

Concernant les caractéristiques de couleur du lafun, aucune variation significative entre les variétés étudiées pour ce qui concerne la clarté (94,7 à 95,8) et la ΔE (8,6 à 10,0) au niveau du lafun n'a été observée. Il en est de même pour les teneurs en phénols totaux et l'activité de la PPO du lafun. Aucune activité de la POD n'a été détectée au niveau du lafun quelle que soit la variété de manioc étudiée.

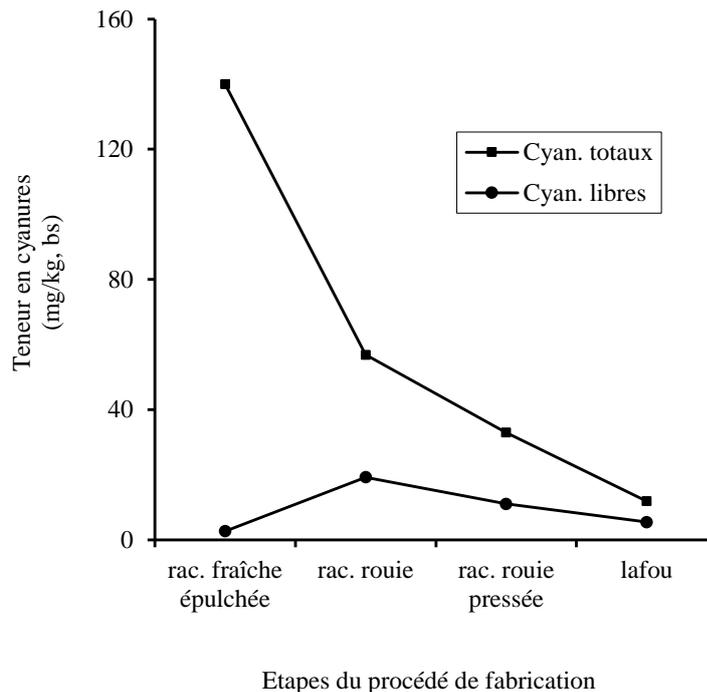


Figure 4 : Evolution des teneurs en cyanures au cours de la production du lafun

Influence de la variété sur l'acidité et la teneur en cyanures du lafun

Le pH du lafun varie très peu (4,2 à 4,9) entre les variétés de manioc étudiées. Il en est de même pour l'acidité titrable (1,9 à 2,5 mg/g, bs) et la teneur en cyanures libres (5,0 à 5,5 mg/kg, bs). Aucune différence significative entre les variétés de manioc étudiées n'a été observée pour ces paramètres. On note cependant, une différence significative ($p < 0,05$) entre les variétés pour la teneur en cyanures totaux du lafun. Toutefois, parmi les lafun étudiés, seul celui issu de la variété TMS 920326 présente une teneur en cyanures totaux (13,85 mg/kg, bs) statistiquement différente des autres (10,2 à 11,8 mg/kg, bs).

Conclusion

La présente étude apporte des éléments de réponse sur la compréhension de l'effet du procédé et de la variété de manioc sur la qualité (couleur et toxicité) du lafun. Le procédé de production du lafun permet d'obtenir une farine très blanche de qualité sanitaire satisfaisante avec un taux de cyanures en conformité avec les normes du Codex Alimentarius. Il permet une réduction de plus de 90% des cyanures totaux du manioc quelle que soit la variété de manioc étudiée. Toutefois, on note une variation significative du taux de cyanures totaux du lafun entre la variété TMS 920326 et les quatre autres variétés étudiées. La couleur du lafun semble être liée aux composés phénoliques. L'étude a permis d'établir une corrélation positive ($r = 0,9$) entre la couleur (ΔE) et l'activité de la polyphénoloxidase (PPO).

Références bibliographiques

- AACC (1984). Approved Methods of the American Association of Cereal Chemists, 8th Edition, St. Paul, M.N., USA.
- Akissoé, N., Hounhouigan, D.J., Mestres, C. and Nago, C.M. (2003). How blanching and drying affect the colour and functional characteristics of yam (*Discorea cayenensis-rotundata*) flour. Food Chemistry, 82, 257-264.
- Ayernor, G.S. (1985). Effects of the retting of cassava on product yield cyanide detoxification, J. Food Technology, 20, 89-96.
- Bokanga, M. (1995). Biotechnology and cassava processing in Africa. Food Technology, 49 (1) 86-90.
- Brabet, C. (1994). Etude des mécanismes physico-chimiques et biologiques responsable du pouvoir de panification de l'amidon fermenté de manioc. Thèse de doctorat, Université de Montpellier, France, 355 p.
- Codex Alimentarius Commission (1988). Report of the 8th Session of the Codex coordinating Committee for Africa, Cairo, Food and Agricultural Organization/World Health Organization.
- Essers, A.J.A., 1995. Removal of cyanogens from cassava roots: Studies on domestic sun-drying and solid-substrate fermentation in rural Africa. Thesis Landbouwniversiteit Wageningen. 131p.
- Ezeala, D.O. and Okoro, N. (1986). Processing techniques and hydrocyanic acid content of cassava based human foodstuffs in Nigeria. Journal of Food Biochemistry, 10, 125-132.
- Gbaguidi-Darboux, P., Kouazoundé, G., Chabi-china, A. L., Aruna W. et Mestres C. (2001). Caractéristiques de la production du lafun au Bénin. In : *Technologies post-récolte pour le développement*. Actes de l'atelier scientifique, juillet 2001, pp.175-182.

- Hongbété, F., Mestres, C., Akissoé, N., Pons, B., Hounhouigan, D.J., Cornet, D. and Nago, C.M. (2011). Effects of cultivar and harvesting conditions (age, season) on the texture and taste of boiled cassava roots. *Food Chemistry*, 126(1), 127-133.
- Hongbété, F., Mestres, C., Akissoé, N., & Nago, C.M. (2009). Effect of processing conditions on cyanide content and colour of cassava flours from West Africa. *African Journal of Food Science*, 3(1), 1-6.
- Hongbété, F. (2004). Effet de la variété et de la technologie sur la qualité de quelques farines à base de manioc. Mémoire de DEA en Biotechnologie Végétale, Ecole Doctorale Régionale de Biotechnologies, Université de Ouagadougou, Burkina-Faso, 75p.
- Hounhouigan, D.J., Nout, M.J.R., Nago, C.M., Houben, J.H. and Rombouts, F.M. (1993). Changes in the physico-chemical properties of maize during natural fermentation of mawè. *Journal of Cereal Science*, 17 (3), 291-300.
- Kemdirim, O.C., Chekwu, O.A. and Achinewhu, S.C. (1995). Effect of traditional processing of cassava on the cyanide content of gari and cassava flour. *Plant Food for Human Nutrition*, 48, 335-339.
- Malonga, M., Mavoungou, O., Keleke, S., Kobawila, S.C. and Louembe, D. (1996). Aspects microbiologiques et biochimiques du rouissage du manioc. *Microbiologie - Aliments - Nutrition*, 14, 73-81.
- Mathew, G., Moorthy, S.N., Padmaja, G. (1995). Biochemical changes in cassava tuber during fermentation and its effect on extracted starch and residue. *J. Sci. Food Agric.*, 69, 367-371.
- Nago, C.M., Hounhouigan D.J., Akissoé N., Zanou E. and Mestres C. (1998). Caractérisation of the Beninese traditional ogi, a fermented maize slurry : physicochemical and microbiological aspects. *Inter. J. Food Sci. Technol.*, 33, 307-315.
- Nago, C.M., Tétégan E., Matencio F. and Mestres C. (1998). Effects of maize type and fermentation conditions on the quality of Beninese traditional ogi, a fermented maize slurry. *J. of Cereal Sci.*, 28, 215-222.
- Nout, M.J.R., Rombouts, F.M. and Havelaar, A. (1989). Effect of accelerated natural lactic fermentation of infant food ingredients on some pathogenic microorganisms. *Intern. J. Food Microbiol.*, 8, 351-361.
- Nweke, F.I. (1996). Transformation du manioc en Afrique subsaharienne : Implication pour l'expansion de la production du manioc. *La Recherche à l'IITA*, 12, 17-37.
- Oyewole, O.B. (2001). Characteristics and significance of yeasts involved in cassava fermentation for 'fufu' production. *Int. J. Food Microbiol.* 65, 213-218.
- Padmaja, G. and Balagopal, C. (1985). Cellular and extracellular enzymes associated with the post harvest deterioration of cassava tubers. *J. Food Sci. Technol.*, 22, 82-87.
- Padonou, S.W., Hounhouigan, J.D. and Nago, M.C. (2009). Physical, chemical and microbiological characteristics of lafun produced in Benin. *African Journal of Biotechnology*, 8 (14), 3320-3325.
- Padonou, S.W., Nielsen, D.S., Akissoe N.H., Hounhouigan J.D., Nago M.C. and Jakobsen M., (2010). Development of starter culture for improved processing of Lafun, an African fermented cassava food product. *Journal of Applied Microbiology*, 109 (2010), 1402-1410.