

TROPICULTURA

2013 Vol. 31 N°2

Trimestriel (avril- mai- juin)

Driemaandelijks (april- mei- juni)

Se publica por año (abril- mayor- junio)



Larvae and adults of *Calidea paneathiopica* Kirkaldy on a capsule of *Jatropha curcas* L.

Crédit: M.Terren, 2012

Editeur responsable/Verantwoordelijke uitgever: J. Vercruyse
Avenue Louise 231 Louizalaan
1050 Bruxelles/ Brussel

Avec le soutien
de l'Académie Royale des Sciences d'Outre-Mer ARSOM, www.kaowarsom.be
et de la Région Bruxelles Capitale

Met de steun van
de Koninklijke Academie voor Overzeese Wetenschappen www.kaowarsom.be
en van het Brusselse Gewest



SOMMAIRE / INHOUD/ SUMARIO

EDITORIAL/EDITORIAAL/EDITORIAL

Some news from the front, Quelques nouvelles du front, Wat nieuws van het front, Algunas noticias desde el frente
G. Mergeai

89

ARTICLES ORIGINAUX/ OORSPROKENLIJKE ARTIKELS/ ARTICULOS ORIGINALES EDITORIAAL/EDITORIAL

Impact of African Cassava Mosaic Disease on the Production of Fourteen Cultivars of Cassava in Yangambi, Democratic Republic of Congo
Impact de la mosaïque africaine du manioc sur la production de quatorze cultivars de manioc à Yangambi (République Démocratique du Congo)
Impact van de Afrikaanse maniok mozaïek op de productie van veertien cultivars van Yangambi maniok (Democratische Republiek Congo)
Impacto del mosaico africano de la mandioca en la producción de catorce variedades de mandioca en Yagambi (República Democrática del Congo)
G. Monde, P. Bolonge, F. Bolamba, J. Walangululu, S. Winter & C. Bragard

91

Honey Production for Assessing the Impact of Climatic Changes on Vegetation
Estimation de l'impact des changements climatiques sur la végétation à travers la production apicole
Het inschatten van de impact van klimaatverandering op de vegetatie door middel van de bijenteelt
Estimación del impacto de los cambios climáticos en la vegetación a través de la producción apícola
P. Schweitzer, I. Nombré & J.I. Boussim

98

Adoption of the Tenera Hybrid of Oil Palm (*Elaeis guineensis* Jacquin.) among Smallholder Farmers in Cameroon
Adoption de l'hybride Tenera de palmier à huile (*Elaeis guineensis* Jacquin) chez les exploitants familiaux du Cameroun
Adoptie van hybride Tenera olepalmboom (*Elaeis guineensis* Jacquin) bij kleine boeren uit Kameroen
Adopción del híbrido Tenera de palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacquin) por los pequeños agricultores de Camerún
M.R. Assoumou Mezui, I.R. Tchouamo & M. Baudouin

103

Acclimatation de vitroplants de bananier *Musa* sp. en culture hydroponique: impact de différentes concentrations en cuivre sur la croissance des vitroplants
Acclimatatisering van vitroplanten van de bananenboom *Musa* sp. in een hydroponische cultuur: effecten van verschillende koper concentraties op de groei van de vitroplanten
Aclimatación de vitroplantas de plátano *Musa* sp. en cultura hidropónica: impacto de diferentes concentraciones de cobre sobre el crecimiento del vitroplantas
M.K. Mazinga, M. Van Koninckxloo, M. Godoy Jara, L. Baboy Longanza & J. Louvieux

110

Resources Management for Income Optimization on Smallholder Food Crop Farms in South-Western Nigeria
Gestion des ressources pour l'optimisation du revenu des exploitations agricoles vivrières du sud-ouest du Nigeria
Beheer van de hulpmiddelen voor de optimalisatie van het inkomen van voedselproducerende kleinhouders in het zuidwesten van Nigeria
Manejo de los recursos para optimización de los ingresos en pequeñas granjas del sudoeste de Nigeria
O.R. Adeniyi & T.G. Oyewole

121

Efficiency of Traditional Maize Storage and Control Methods in Rural Grain Granaries: a Case Study from Senegal
Efficacité de méthodes traditionnelles de stockage et de traitement du maïs en greniers paysans- Etude de cas au Sénégal
Doeltreffendheid van de traditionele methoden voor opslag en verwerking van maïs in landelijke graanschuren: een case-study in Senegal
Eficacia de métodos tradicionales de almacenamiento y de tratamiento del maíz en graneros campesinos - Estudio de caso en Senegal
M.T. Gueye, G. Goergen, S. Ndiaye, E.A. Asiedu, J.-P. Wathélet, G. Lognay & D. Seck

129

Déterminants socio-économiques et institutionnels de l'adoption d'innovations techniques concernant la production de maïs à l'ouest du Cameroun
Socialeconomische en institutionele variabelen van de adoptie van technische innovaties in maïs in West- Kameroen
Determinantes socioeconómicos e institucionales de la adopción de innovaciones técnicas para el cultivo de maíz al oeste del Camerún
G. L. M. Tene, M. Havard & L. Temple

137

Diversité floristique, ethnobotanique et taxonomie locale des mauvaises herbes de l'oignon au Nord-est du Bénin
Floristieke diversiteit, etnobotantkunde en lokale taxonomie van het onkruid van de ui in het noordoosten van Benin
Diversidad florística, etnobotánica y taxonomía local de las malezas de la cebolla en el Nordeste de Benín
S. Bello, A. Ahanchédé, G. Gbélounou, G. Amadji & N. Aho

143

BIBLIOGRAPHIE/BOEKBESPREKING/BIBLIOGRAFIA

153

The opinions expressed, and the form adopted are the sole responsibility of the author(s) concerned
Les opinions émises et la forme utilisée sont sous la seule responsabilité des auteurs
De geformuleerde stellingen en de gebruikte vorm zijn op verantwoordelijkheid van de betrokken auteur(s)
Las opiniones emitidas y la forma utilizada son de la exclusiva responsabilidad de sus autores

EDITORIAL

EDITORIAAL

EDITORIALES

Some news from the front,

More than a year has passed since the last time I addressed you. The abrupt discontinuation of the financial support we received from the Belgian cooperation during over thirty years has forced us to seek solutions to ensure the continuation of the activities of Tropicatura. Seeing no other alternative, we had to make the difficult decision to request a financial contribution to authors who wish to publish results of their work in the journal. It is now required at the time of submission of a new manuscript a payment commitment of EUR 200 if it is accepted for publication. Many of you have expressed their regrets regarding this decision. We understand them perfectly, but it is unfortunately not possible at this stage to do otherwise. They have to know that we are always looking for alternatives that would ensure a sustainable financing of Tropicatura, and that any proposal that would help achieve this goal in a sustainable manner will be considered.

With the support of the Royal Academy of Overseas Sciences, a solution was found to accommodate our editorial staff in offices of the Belgian Federal Science Policy administration. This is a very good news for the sustainability of our activities and we warmly thank the Director General of Belspo for his generosity.

The questioning of our functioning has led us to revise the handling procedure of the manuscripts submitted to us. I invite all those who wish to publish an article in Tropicatura to read the new version of the instructions to authors presented on our website (<http://www.tropicatura.org/eng/home/instruction.html>).

I take advantage of this editorial to reassure all the authors whose manuscript is being evaluated. Once this process has begun, we are committed to continue until publication of the text submitted, if it is accepted by the Editorial Board.

That being said, I hope you enjoy reading this issue.

Guy Mergeai
Editor-in-chief

Quelques nouvelles du front,

Plus d'une année a passé depuis la dernière fois que je m'adressais à vous. L'arrêt brutal du soutien financier que nous apportait la coopération belge depuis plus de trente ans nous a obligés à chercher des solutions pour assurer la continuation des activités de Tropicultura. Ne voyant pas d'autre alternative, nous avons dû prendre la difficile décision de demander une contribution financière aux auteurs qui souhaitent publier les résultats de leurs travaux dans notre revue. Il est à présent demandé au moment de la soumission de tout nouveau manuscrit un engagement de paiement de 200 EUR s'il est accepté pour publication. Beaucoup d'entre vous nous ont fait part de leur regret par rapport à cette décision. Nous les comprenons parfaitement, mais il ne nous est malheureusement pas possible pour l'instant de faire autrement. Il faut qu'ils sachent que nous sommes toujours à la recherche de solutions alternatives qui permettrait d'assurer durablement le financement de Tropicultura et que toute proposition qui permettrait d'atteindre ce but de manière durable sera prise en considération.

Grâce au soutien de l'Académie royale des Sciences d'outre-mer, une solution a été trouvée pour accueillir notre secrétariat de rédaction dans des bureaux de l'administration de la politique scientifique fédérale belge. Cela constitue une très bonne nouvelle pour la pérennisation de nos activités et nous remercions chaleureusement le directeur général de Belspo pour sa générosité.

La remise en cause de notre fonctionnement nous a amené à revoir la procédure de traitement des manuscrits qui nous sont soumis. J'invite tous ceux qui souhaitent publier un article dans Tropicultura à lire attentivement la nouvelle version des instructions aux auteurs qui figure sur notre site web (<http://www.tropicultura.org/home/instruction.html>).

Je profite de cet éditorial pour rassurer tous les auteurs dont un manuscrit est en cours d'évaluation. Une fois ce processus entamé, nous nous engageons à le mener à bien jusqu'à publication du texte soumis s'il est accepté par le comité de rédaction.

Ceci étant dit, je vous souhaite une excellente lecture du présent numéro.

Guy Mergeai
Rédacteur en chef

ARTICLES ORIGINAUX
ORIGINAL ARTICLES

OORSPRONKELIJKE ARTIKELS
ARTICULOS ORIGINALES

Impact of African Cassava Mosaic Disease on the Production of Fourteen Cassava Cultivars in Yangambi, Democratic Republic of Congo

G. Monde^{1*}, P. Bolonge², F. Bolamba^{1,3}, J. Walangululu⁴, S. Winter⁵ & C. Bragard⁶

Mots clés: Cassava Mosaic Disease- Resistance- Tolerance Cultivars- Production- Democratic Republic of Congo

Summary

The effects of cassava mosaic disease (CMD) on growth and yield components were systematically determined on 14 different cassava genotypes in Yangambi. The results show that the tested cultivars differed significantly in terms of severity of the virus, harvest index and tuber production ($P<0.05$). CMD had a variable depressive effect on vegetative development. Stem dimensions were hardly reduced, while the height of cultivars Ponjo (38%) and Mboloko (29%) and Ponjo, Lofiongi, Bangi as the leaf area of cultivar Mboloko were significantly lower. The impact of CMD on yield components was generally greater on local cultivars and insignificant on resistant varieties. The cultivars Mvuazi (TMS I 95/0528), Mahungu (TMS 92/297), 96/1089A and Disanka (TMS I 95/0211) were not affected by mosaic disease, which confirms their field immunity. Ponjo, Lofiongi and Mboloko cultivars were sensitive. This study underlines that Mvuazi (TMS I 95/0528), Mahungu (TMS 92/297), 96/1089A, Mvuama (TMS 83/138), Disanka (TMS I 95/0211), Lueki (TMS 91/377) and Zizila (MV 99/0038) and local cultivars, such as Timolo, Yauma, Ngonga and Bangi, showed resistance to CMD.

Résumé

Impact de la mosaïque africaine du manioc sur la production de quatorze cultivars de manioc à Yangambi (République Démocratique du Congo)

Les effets de la mosaïque sur la croissance et la production du manioc ont été systématiquement déterminés sur 14 génotypes différents à Yangambi. Les résultats obtenus montrent que les génotypes étudiés diffèrent significativement entre eux concernant la sévérité de la virose, l'indice de récolte et la production en tubercules ($P<0,05$). La maladie a eu un effet dépressif variable sur le développement végétatif. Les dimensions des tiges n'ont presque pas été réduites alors que la hauteur des plantes des cultivars Ponjo (38%) et Mboloko (29%) ainsi que la surface foliaire de Ponjo, Lofiongi, Bangi et Mboloko ont été sensiblement déprimées. L'impact sur la production a été globalement plus important sur les cultivars locaux et négligeable sur les variétés résistantes. Les variétés Mvuazi (TMS I 95/0528), Mahungu (TMS 92/297), 96/1089A et Disanka (TMS I 95/0211) n'ont subi aucun effet de la mosaïque, confirmant leur immunité. Les cultivars Ponjo, Lofiongi et Mboloko sont sensibles. Les variétés Mvuazi (TMS I 95/0528), Mahungu (TMS 92/297), 96/1089A, Mvuama (TMS 83/138), Disanka (TMS I 95/0211), Lueki (TMS 91/377), Zizila (MV 99/0038) ainsi que les variétés locales Timolo, Yauma, Ngonga, Bangi ont manifesté une résistance à la mosaïque.

1 Agriculture Institute of Yangambi, Plant Science and Crop Protection Unit, Kisangani, Democratic Republic of Congo.

2 Integrated Rural Development Program PIDR/CBFC. Kisangani, Democratic Republic of Congo

3 Food and Agriculture Organization, Roots and Tubers Program, Kisangani office, Democratic Republic of Congo

4 Faculty of Agronomic Sciences, Catholic University of Bukavu, Democratic Republic of Congo

5 Plant Virus Collection; DSMZ Deutsche Sammlung von Mikroorganismen und Zellkulturen GmbH, Braunschweig, Germany

6 Catholic University of Louvain, Earth & Life Institute Applied Microbiology-Phytopathology, Louvain-la-Neuve, Belgium

* Corresponding author : E-mail: mondekaz@yahoo.fr

Received on 19.09.11 and accepted for publication on 26.09.12.

Introduction

Cassava (*Manihot esculenta* Crantz, Euphorbiaceae), which is native to South America, is a major source of nutrition for over 700 million people in the tropical countries. It is cultivated on approx. 19.1 million hectares, which produce approx. 241 million tonnes, half of which come from Africa (3, 11). In the Democratic Republic of Congo (DRC), both the tubers and the leaves are eaten by population. Leafy vegetables are an important source of proteins, mineral elements and vitamins. Cassava cultivation can be adapted to variable environmental conditions, even during long drought periods (12). However, African cassava mosaic disease (CMD) represents nowadays one of the major biotic constraints affecting cassava cultivation in tropical and subtropical regions (5, 11). This disease is caused by single-stranded circular viruses of the *Begomovirus* genus; *Geminiviridae* family (1, 2). This virus is transmitted to the cassava by the insect vector *Bemisia tabaci Gennadius* (Hemiptera: Aleurodidae) (2, 7). Strategies for controlling the disease include the use of resistant varieties (4, 6, 10, 13). In fact, while the sensitivity of the cassava varieties cultivated in Africa is related to environmental conditions, it depends greatly on their genetic pool (8). That's why, the present study aimed to evaluate the behaviour of 14 cassava cultivars in their natural environment, together with the effects of CMD on their productive performances under the agro-

environmental conditions in Yangambi (DRC). The objective of our study was to establish a relationship between CMD infection level, whitefly pressure and tubers production (9), in order to quantify the resulting losses for each cultivar (11). The study focused on the 14 most common cassava cultivars in the Yangambi region (Table 1). In addition to varietal screening for resistance or tolerance to CMD in the DRC, our study enabled us to compile a database of epidemiological indices for African cassava mosaic disease in the DRC. The availability of these epidemiological data on the parasitic pressure caused by CMD and tuber yield is a major asset and facilitates the task of selecting cassava varieties.

Materials and methods

The trial focused on 14 cassava cultivars, seven of which were local, while the remaining seven were IITA accessions (Table 1). Trial was set up in a randomised blocks design using 3 replications. Each of the blocks included 15 cassava plants spaced 1x1 m, with 1.5 m tracks between the blocks. The Mbongo cultivar (cv.) highly contaminated by mosaic disease (severity 3) was planted in lines between the blocks as virus inoculation source. The stem diameter, plant height and leaf surface were measured after three months' growth using a sample of 10 plants per block. The growth index was calculated using the ratio between height and stem diameter.



Figure 1: Tuber production in some of the cultivars tested. The 96/1089A cultivar produced the longest tubers, followed by Disanka; whereas cv. Bangi, Ngonga, Mboloko and Mvuama produced slightly shorter and fatter tubers.

The severity, incidence and development of CMD, together with the number of whitefly observed on

the first 3 leaves, were weekly evaluated from 1-6 months after planting (MAP).

Table 1

Average values of pathological parameters and PCR amplification results recorded for the 14 cassava cultivars tested. Agro-technical characteristics were observed in the fields and additional information was obtained from the IITA technical bulletins.

Cultivars	Origin	Status	Harvest period (month)	Taste	Plants	Onset of symptoms (MAP)	PCR results (6 MAP)	Severity index	Incidence (%)	Whitefly (%)
Ponjo	INERA	Local	10-déc. bitter	44	1	AE	3.00 ^a	93.26 ^a	7.66 ^a	
Lofiongi	INERA	Local	12 bitter	33	1	AE	3.00 ^a	33.01 ^b	5.66 ^b	
Yauma	INERA	Local	10-déc. bitter	46	2	E	2.00 ^b	6.60 ^{cd}	7.00 ^a	
Timolo	INERA	Local	12 bitter	47	1	E	1.70 ^{cb}	8.41 ^{cd}	3.33 ^{cd}	
Ngonga	INERA	Local	12 sweet	41	1	AE	3.00 ^a	94.00 ^a	3.33 ^{cd}	
Bangi	INERA	Local	10-déc. bitter	48	1	E	2.00 ^b	20.83 ^{cb}	2.33 ^e	
Mboloko	INERA	Local	12 sweet	45	1	AE	3.00 ^a	88.52 ^a	5.00 ^b	
Mvuazi (TMS I 95/0528)	ITA	Improved	12 bitter	34	-	-	1.00 ^d	0.00 ^d	3.33 ^{cd}	
Mahungu (TMS 92/297)	ITA	Improved	sept.-15 bitter	37	-	E	1.00 ^d	0.00 ^d	4.33 ^c	
96/1089A	ITA	Improved	10-déc. bitter	42	-	-	1.00 ^d	0.00 ^d	5.33 ^b	
Mvuama (TMS 83/138)	ITA	Improved	déc.-24 sweet	34	2	E	1.30 ^{cd}	2.31 ^{cd}	3.00 ^{cd}	
Disanka (TMS I 95/0211)	ITA	Improved	oct.-18 bitter	44	-	-	1.00 ^d	0.00 ^d	5.33 ^b	
Lueki (TMS 91/377)	ITA	Improved	sept.-15 bitter	34	2	E	2.00 ^b	7.40 ^{cd}	3.66 ^{cd}	
Zizila (MV 99/0038)	ITA	Improved	sept.-15 bitter	40	2	E	2.00 ^b	6.25 ^{cd}	5.33 ^b	
Average							1.93	25.75	4.62	
Standard deviation							0.22	6.40	0.57	
Coef. Variation (%)							11.39	24.85	12.49	
R ²							0.95	0.97	0.91	
P<0.05							***	***	***	

MAP: month after planting A: ACMV E: EACMV-UG A+E: ACMV and EACMV-UG (mixed infection)

Table 2

Measured parameters for vegetative growth in cassava, yield components and tuberous roots yields produced by 14 cassava cultivars experienced under the agro-environmental conditions in the Yangambi region.

Cultivars	Total plants	Stem diameter (mm)	Plant height (cm)	Leaf surface (cm ²)	Growth index	No tubers/ plant	Tuber length (cm)	Tuber diameter (cm)	Weight of one tuber (g)	Weight tubers/plan t (g)	Harvest index	index for tubers	Yield obtained t/ha	Health plant yield (g)	Diseased plant yield (g)	Prod. Loss/ plant (%)
Ponjo	44	10.43 ^d	122.00 ^d	89.64 ^{cd}	11.66 ^b	5.68 ^{ba}	18.80 ^{ed}	3.98 ^e	95.00 ^c	540.00 ^e	0.51 ^{ba}	4.75 ^a	2.69 ^c	216.67 ^b	114.33 ^c	47.00 ^a
Lofiongi	33	14.87 ^{de}	195.67 ^c	161.47 ^c	13.33 ^b	2.33 ^b	17.17 ^e	5.57 ^{de}	233.33 ^{bc}	516.70 ^e	0.30 ^c	3.08 ^{bc}	3.30 ^c	250.00 ^b	165.00 ^c	37.33 ^{ba}
Yauma	46	19.36 ^d	165.00 ^d	204.48 ^b	8.33 ^c	6.00 ^c	25.33 ^{bcd}	9.76 ^a	821.53 ^a	4168.70 ^{bc}	0.66 ^a	2.60 ^c	27.58 ^{ba}	4162.00 ^a	2805 ^{bac}	31.33 ^{ba}
Timolo	47	22.00 ^c	273.33 ^b	252.58 ^b	12.66 ^b	11.00 ^a	24.47 ^{bcd}	5.64 ^{de}	325.48 ^{bac}	3333.00 ^d	0.58 ^{ba}	4.41 ^{ba}	25.28 ^{ba}	3066.33 ^{ba}	2433.33 ^{bc}	19.00 ^{bc}
Ngonga	41	24.30 ^c	361.33 ^a	143.28 ^c	14.66 ^a	11.00 ^a	22.53 ^{bcd}	6.37 ^{dc}	339.43 ^{bac}	3727.30 ^d	0.50 ^{ba}	3.58 ^{ba}	27.32 ^{ba}	3727.33 ^{ba}	3232.67 ^{bac}	13.67 ^{bc}
Bangi	48	23.60 ^c	276.00 ^b	192.15 ^b	12.00 ^b	6.33 ^{ba}	26.40 ^{bc}	5.50 ^{de}	555.01 ^{bac}	3089.70 ^d	0.47 ^{bac}	4.79 ^a	19.16 ^{ba}	2911.00 ^{ba}	1996.67 ^{bc}	33.00 ^{ba}
Mboloko	45	24.30 ^c	220.66 ^b	220.04 ^b	9.00 ^{cd}	6.67 ^{ba}	26.20 ^{bc}	6.06 ^{dc}	765.15 ^{bac}	5018.70 ^{ba}	0.57 ^{ba}	4.35 ^{ba}	28.00 ^{ba}	3708.67 ^{ba}	1969.67 ^{bc}	46.33 ^{ba}
Mvuazi (TMS I 95/0528)	34	24.73 ^c	272.66 ^b	98.38 ^{cd}	11.00 ^b	8.33 ^{ba}	18.23 ^{ed}	5.15 ^{dc}	524.08 ^{bac}	4270.00 ^{bc}	0.48 ^{bac}	3.53 ^{ba}	30.65 ^{ba}	4238.67 ^a	4238.67 ^{ba}	0.00 ^c
Mahungu (TMS 92/297)	37	23.67 ^c	195.00 ^d	197.67 ^b	8.33 ^c	8.33 ^{ba}	28.83 ^{bac}	7.44 ^{dc}	596.25 ^{bac}	4953.30 ^{ba}	0.66 ^a	3.91 ^{ba}	33.55 ^a	4603.33 ^a	4603.33 ^{ba}	0.00 ^c
96/1089A	42	24.47 ^c	201.67 ^c	164.73 ^c	7.66 ^c	10.67 ^a	34.90 ^a	9.43 ^a	620.54 ^{ba}	6544.30 ^a	0.59 ^{ba}	3.69 ^{ba}	27.59 ^{ba}	5711.00 ^a	5711 ^a	0.00 ^c
Mvuama (TMS 83/138)	34	30.13 ^b	248.33 ^c	156.09 ^c	8.33 ^c	7.67 ^{ba}	23.33 ^{bcd}	9.93 ^a	614.17 ^{bc}	4548.30 ^{dc}	0.44 ^{dc}	2.36 ^c	26.91 ^{ba}	3961.67 ^a	2896.67 ^{bac}	26.43 ^{ba}
Disanka(TMS I 95/0211)	44	25.03 ^c	205.00 ^c	118.83 ^c	8.00 ^c	7.67 ^{ba}	25.13 ^{bcd}	8.85 ^{ba}	364.58 ^{bac}	2683.30 ^{dc}	0.52 ^{ba}	2.84 ^{bc}	16.20 ^c	2343.33 ^{ba}	2343.33 ^{bc}	0.00 ^c
Lueki (TMS91/377)	34	32.93 ^a	325.66 ^b	276.71 ^a	10.00 ^{dc}	8.33 ^{dc}	28.20 ^{bac}	10.22 ^a	663.33 ^{ba}	5416.70 ^{ba}	0.50 ^{ba}	2.76 ^c	33.50 ^a	5091.67 ^a	4266.67 ^b	18.33 ^{bc}
Zizila (MV 99/0038)	40	29.53 ^b	309.66 ^b	179.72 ^b	10.33 ^{dc}	7.00 ^{ba}	30.37 ^{ba}	10.33 ^a	773.60 ^a	4688.70 ^{bcd}	0.45 ^{dc}	2.94 ^{bc}	28.52 ^{ba}	3455.33 ^{ba}	3055.33 ^{bac}	16.00 ^{bc}
Moyenne		23.74	240.85	175.41	10.38	7.64	24.98	7.44	520.82	3821.33	0.51	3.54	23.59	3389.07	2845.12	20.6
Standard deviation		0.95	22.37	29.26	0.96	2.16	2.43	0.67	175.51	561.31	0.06	0.52	5.19	1203.64	1054.17	8.58
CV (%)		4.02	9.29	16.68	9.28	28.26	9.75	8.55	33.7	14.69	12.77	14.83	22.02	35.51	37.05	41.67
R ²		0.98	0.92	0.82	0.88	0.61	0.84	0.94	0.68	0.92	0.73	0.76	0.83	0.7	0.75	0.84
P<0.05		***	***	***	***	NS	***	***	NS	***	***	***	***	***	***	***

NS : Non-significant *** : Very significant

Table 3
Impact of CMD on the vegetative development and on the components of tubers production.

Cultivars	Total plants	Stem diameter (%)	Plant height (%)	Leaf surface (%)	Number of tubers (%)	Tuber length (%)	Tuber diameter (%)	Tuber weight (%)	Tuber weight/roots (%)	Total biomass (%)	Prod/ plant (%)
Ponjo	44	2.97	37.70	40.51	17	17.02	24.37	13.05	27.54	28.56	47
Lofiongi	33	0.47	13.28	46.32	0	21.37	10.77	15.74	15.74	17.77	34
Yauma	46	0.83	5.25	23.53	0	6.59	10.25	16.13	16.13	19.71	33
Timolo	47	0.00	13.17	23.50	9	8.37	13.12	30.72	37.02	25.17	21
Ngonga	41	0.00	17.34	39.51	18	11.23	21.51	21.04	35.40	24.93	13
Bangi	48	0.00	10.14	51.02	0	6.82	9.09	29.91	29.91	20.83	31
Mboloko	45	0.41	29.00	42.59	0	9.92	4.29	19.62	19.62	20.52	47
Mvuazi (TMS I 95/0528)	34	0.00	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0
Mahungu (TMS 92/297)	37	0.00	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0
96/1089A	42	0.00	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0
Mv uama (TMS 83/138)	34	0.43	7.18	28.04	11	5.19	8.16	8.11	18.32	13.02	27
Disanka (TMS I 95/0211)	44	0.00	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0
Lueki (TMS 91/377)	34	0.09	7.06	22.78	0	3.69	9.80	15.08	15.08	9.48	16
Zizila (MV 99/0038)	40	1.52	3.09	26.55	0	5.50	12.88	11.63	11.63	8.73	12
Total	6.72	143.21	344.35	55	95.70	124.23	181.04	226.40	188.70	281	
Average	0.48	10.23	24.59	3.93	6.84	8.87	12.93	16.17	13.48	20.07	

The depressive effects of CMD were evaluated by comparing measurements for healthy manioc plants and diseased plants affected by mosaic disease. The losses caused by mosaic disease within the various parameters measured are expressed in %.

Diagnosis by PCR amplification was conducted 6 MAP in order to determine the nature of the virus in the cassava genotypes tested. The specific primers used were those developed by Zhou *et al.* (15). PCR amplification was conducted according to the cycle described by Deng *et al.* and Were *et al.* (2, 14).

The severity of the disease was evaluated using the IITA rating scale, which ranges from 1-5, in which 1= No symptoms visible on the leaves and 5= Severe mosaic disease. Incidence of the CMD was determined using the following ratio:

$$\text{Incidence (x 100)} = \frac{\text{Number of diseased cultivar x 100}}{\text{Total number of cultivar plants under consideration}}$$

Parasitic pressure in the environment was evaluated according to the number of whitefly on the first three cassava leaves.

The parameters in relation to the relevant yield components were the number and the weight of tubers for each cassava plant, tuber length and diameter, number of tubers produced by each plot and the harvest index. The harvest index was calculated using the following formula:

$$\text{Harvest index} = \frac{\text{Total tuber weight per plant}}{\text{Total biomass weight per plant}}$$

The effect of CMD was evaluated using the following formula:

$$\text{Loss (x100)} = \frac{\text{Healthy cassava yield} - \text{Virusinfected cassava yield} \times 100}{\text{Healthy cassava yield}}$$

The averages were compared after ANOVA, using SAS Enterprise Guide®4. The DUCAN's test was used to determine the significance of differences observed between the averages.

Results and discussion

Pathological parameters

The severity and incidence of CMD, together with the number of whitefly, varied depending on the individual cassava cultivar (Table 1). Symptoms of mosaic disease appeared early on the local cultivars at 1 MAP compared to 'resistant' cultivars, on which the disease could be observed in the 2nd month after planting (MAP).

It was noted that the cultivars Mahungu (TMS 92/297), 96/1089A, Disanka (TMS I 95/0211) and Mvuazi (TMS I 95/0528) apparently presented no signs of the CMD during their growth cycle. This field immunity was confirmed by the viral diagnostic using PCR amplification (Table 1). The cultivars Bangi, Timolo, Mvuama (TMS 83/138), Lueki (TMS91/377), Zizila (MV99/0038) and Yahuma were characterised by a slight infection (severity level 2) while the cultivars Ponjo, Lofiongi, Mboloko and Ngonga were moderately contaminated by the virus (severity level 3). These results demonstrate that the tendency to present symptoms is linked to the individual nature of each cultivar (8) and the

symptoms were generally moderate. Incidence of CMD was higher on the local cultivars, ranging from 6.6%-94%, with a symptom severity of 2-3; compared to improved cultivars from IITA, which presented a very low incidence (0-7.4%), combined with a very low severity level of 1-2. We noted, however, low incidence of the CMD on Lueki (TMS 91/377) of 7.4%, followed by 6.25% for Zizila (MV 99/0038) and 2.31% for Mvuama (TMS 83/138). The abundance of whiteflies on the first three leaf positions ranged from 3-8, depending on the variety (4.42 ± 0.57). The preference shown by whiteflies for some cultivars as a food source ($R^2=0.91$) has been observed in other studies (1, 7). In fact, the degree of attractiveness of cultivars to whitefly varies according to their morphological characteristics, such as leaf colour, pilosity or no pilosity, cyanide content and plant size (1, 13). The cassava cultivars tested differed very significantly ($P<0.05$) in terms of whitefly abundance. This indicates that, in the Yangambi environment, the pressure created by whitefly on the cassava varies according to the cassava genotype. This low pressure from whitefly could affect the overall severity and incidence of CMD recorded for the cassava cultivars tested.

Three cultivars of cassava [Mvuazi (TMS I 95/0528), 96/1089A, Disanka (TMS I 95/0211)] were found to be virus-free at 6 MAP. All the resistant cultivars, as well as Bangi, Timolo and Yauma, were found to be EACMV-UG-positive, while most local cultivars presented mixed infections with ACMV and EACMV-UG. Our results show that the cultivars Mvuazi (TMS I 95/0528), Mahungu (TMS 92/297), 96/1089A and Disanka (TMS I 95/0211) did not suffer of any CMD depressive impact to their production. Otherwise, the cultivars Ponjo, Mboloko, Lofiongi, and Ngonga were moderately attacked by CMD severity of level 3, while the cultivars Yahuma, Bangi, Timolo, Mvuama (TMS83/138), Zizila (MV99/0038) and Lueki (TMS91/377) suffered less of CMD (severity index 2).

Vegetative growth and yield components

a. Vegetative development

Overall, the local varieties presented a higher average growth index 10.38 compared to accessions from IITA, which showed a relatively low growth index (on average 9). The local cassava cultivars had small stems, were globally short height and had wider leaves. However, the varieties from IITA were far more vigorous.

In general, the tubers yield and the yield

components varied according to the cultivar, within a range of 2.69 - 33.55 t/ha (Table 2). The difference in genetic potential and the sensitivity degree to mosaic disease between the genotypes tested would explain this general tendency.

b. Number of tuberous roots per plant

On average, the genotypes 96/1089A, Timolo and Ngonga (Figure 1) produced the most tuberous roots (11 tuberous roots/plant) compared to the Lofiongi cultivar (2.33 tuberous roots/plant).

However, the differences observed between the number of tuberous roots were not significant at $P<0.05$. The significance of the differences observed between the cultivars, using the DUCAN test (Table 2) shows that the cultivars Timolo, Ngonga and 96/1089A perform better in terms of number of tubers. This superior category is followed by an intermediate group, which consists of Ponjo, Yauma, Bangi, Mboloko, Mahungu, Mvuama, Mvuazi, Disanka, Lueki and Zizila cultivars. The least productive cultivar was Lofiongi.

c. Length and diameter of tuberous roots

The average length of the tuberous roots (17.17-34.9 cm) differed significantly depending on the cultivar ($P<0.05$). The cultivars tested were completely different ($P<0.05$). The cv. Lofiongi produced the shortest tuberous roots (17.17 cm), while cv. 96/1089A produced the longest tuberous roots (34.90 cm).

When the average size of tuberous roots is compared, a significant variability can be observed between the cassava cultivars ($P<0.05$). The conformation index for the tuberous roots produced by each cultivar reflects the same tendency between the cultivars studied. It can be seen from Table 2 that the cassava cultivars tested can be grouped into four categories, according to the conformation index for their tubers.

d. Production of tuberous roots

The tuberous root produced by the cultivar Yauma was heavier (821.53 g) than that of Ponjo (95.00 g), which can be considered as non-marketable, based on the minimum threshold of 100g suggested by (10).

In terms of production per plant, it can be seen that one plant of the 96/1089A cultivar was highly productive in terms of tuberous roots (6544.3 g), compared to a Ponjo plant (540 g). The differences in weight obtained from different cultivars are statistically significant at $P<0.05$.

e. The harvest index

The harvest index varied according to the cultivar and appeared higher for the least productive cultivars (Ponjo and Lofiongi). The Lofiongi cultivar produced a low harvest index (0.30) compared to the Yauma and Mahungu (0.66) cultivar. This suggests that the Ponjo and Lofiongi cultivars produce more stems than tuberous roots under the agro-environmental conditions of Yangambi.

f. Tuberous root yield

The yields obtained from IITA accessions, which were introduced in the Yangambi region, are generally greater than those recorded for local varieties. These results demonstrate that the yields recorded during this trial were influenced by the average number of tubers per plant, as well as tuberous root length and diameter. No clear relationship could be established between the harvest index and tuberous root yield, although the general tendency shows that the least productive cultivars produced a low harvest index.

Impact of CMD on growth and production

The disease hardly affected stem dimensions for cassava (Table 3). It has a profound effect on plant height and significantly reduces the leaf surface for local varieties. Accessions from IITA that were attacked by CMD became slightly smaller in size, while the presence of symptoms on the leaves reduced their surface by approx. 25%.

The negative impact of CMD was greater on local cultivars and caused a reduction in plant height of approx. 5-38%. The disease had the greatest impact on the height of cv. Ponjo and Mboloko, which it reduced respectively by 38% and 29%. The leaf surface of all local cultivars infected by CMD was reduced significantly by 23-51% components for local cassava cultivars than on improved cultivars from IITA (Table 3). The highest product losses (approx. 47%) were recorded for the Ponjo and Mboloko cultivars, which reflects their sensitivity to mosaic disease. CMD had no negative impact on production for some resistant varieties, such as Mvuazi, Mahungu, 96/1089A and Disanka (TMS I 95/0211). Its impact was, however, moderate on Zizila (12%), Lueki (16%)

CMD had a greater negative impact on yield and Mvuama (27%). It should be noted that the various varieties tested differed significantly in terms of severity of the virus, harvest index and tuber production per plant ($P<0.05$).

Conclusion

Our results show that improved cultivars are generally more resistant and productive than local cultivars. However, despite the effect of CMD on local cultivars, some of them, such as Yauma, Timolo, Ngonga and Mboloko, produce similar yields to resistant cultivars from IITA, such as Mvuazi (TMS I 95/0528), 96/1089A, Mvuama (TMS 83/138) and Zizila (MV 99/0038). Even if these preliminary results still need to be confirmed by multi-location trials, our evaluation of 14 cassava cultivars for resistance to CMD in Yangambi in the DRC made it possible to identify high yield cultivars. The latter also present resistance levels to CMD, which could be used in future strategies for controlling this disease.

Acknowledgements

This article has been published in memory of our valued colleague Ir Mokula Bosco. The authors would like to thank the Belgian Cooperation for funding this study and the Phytopathology Unit of UCL for conducting molecular analyses. They also wish to thank INERA Yangambi for its cassava collection and the IITA & FAO Kisangani offices for providing cassava accessions and the PIDR Kisangani, which allowed us to set up the trial in its CAPSA.

Contributing authors

- G. Monde: organisation of field trials;
- P. Bolonge: agromorphological description of local varieties of cassava and preparations for the trial in the CAPSA;
- F. Bolamba: agromorphological description of improved varieties;
- S. Winter: contributed the 98/1089A used as a negative control and support with ELISA during this study;
- J. Walangululu & C. Bragard: study supervisors and critical reading.

Literature

1. Ariyo O.A., Koerbler M., Dixon A.G.O., Atiri G.I. & Winter S., 2005, Molecular variability and distribution of cassava begomoviruses in Nigeria. *J. Phytopathol.*, **153**, 226-231.
2. Deng D., McGrath D.F., Robinson D.J. & Harrison B.D., 1994, Detection and differentiation of Whitefly-transmitted geminiviruses in plants and vector insects by the polymerase

- 125, 327-336.
3. FAOSTAT, 2009, FAO database. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy. <http://faostat.fao.org/site/567/DesktopDefault.aspx?PageID=567>
 4. Legg J.P., 1999, Emergence spread and strategies for controlling the pandemic of cassava mosaic virus disease in east and central Africa. *Crop Prot.*, **18**, 627-637.
 5. Legg J.P., Owor B., Sseruwagi P. & Ndunguru J., 2006, cassava mosaic viruses disease in East and Central Africa: epidemiology and management of a regional pandemic. *Adv. Virus Res.*, **67**, 355-418.
 6. Mahungu N.M., Dixon A.G.O. & Kumbira J.M., 1994, Breeding cassava for multiple pest resistance in Africa. *African Crop Sci. J.*, **2**, 539-552.
 7. Maruthi M.N., Colvin J., Seal S., Gibson G. & Cooper J., 2002, Co-adaptation between cassava mosaic geminivirus and their local vector populations. *Virus Res.*, **86**, 71-85.
 8. Ngeve J.M., Nukeneine E.N. & Dixon A.G.O., 2003, Reaction of genotypes to the cassava mosaic disease in three district agroecologies in Nigeria. *J. Phytopathol.*, **151**, 101-107.
 9. Owor B., Legg J.P., Okao-Okuja G., Obonyo R. & Ogenga-Latigo M.W., 2004a, The effect of cassava mosaic geminiviruses on symptom severity, growth and root yield of Uganda. *Ann. Appl. Biol.*, **145**, 331-337.
 10. Owor B., Legg J.P., Okao-Okuja G., Obonyo R., Kyamanywa S. & Ogenga-Latigo M.W., 2004b, Field studies and cross protection with cassava mosaic geminiviruses in Uganda. *J. Phytopathol.*, **152**, 243-249.
 11. Tresh J.M., Fargette D. & Otim-Nape G.W., 1994, Effects of African cassava mosaic virus on the yield of cassava. *Trop. Sci.*, **26**, 34-37.
 12. Thresh J.M. & Cooter R.J., 2005, Strategies for controlling cassava mosaic virus disease in Africa. *Plant Pathol.*, **54**, 587-614.
 13. Turwesigye S.K., Baguma Y., Kyamuhangira W. & Mpango G., 2006, Association between accumulation of total cyanogens and progression of cassava mosaic disease in cassava (*Manihot esculenta* Crantz). *Uganda J. Agric.Sci.*, **12**(1), 13-21.
 14. Were H.K., Winter S. & Maiss E., 2003, Distribution of begomovirus infecting cassava in Africa. *Can. J. Plant. Pathol.*, **85**(3), 145-151.
 15. Zhou X., Liu Y., Calvert L., Munoz C., Otim-Nape G.W., Robinson D. & Harrison B.D., 1997, Evidence that DNA-A of a geminivirus associated with severe cassava mosaic disease in Uganda has arisen by interspecific recombination. *J. Gen. Virol.*, **78**, 2101-2111.

G. Monde, Congolese DRC, Doctor of Agronomic Sciences and Biological Engineering, Agriculture Institute of Yangambi Professor of Plant pathology, Head of the Plant Science and Crop Protection Unit, Box 1232; Kisangani, Democratic Republic of Congo
E-mail: mondekaz@yahoo.fr Tel. +243 91471670.

P. Bolonge, Congolese DRC, Agricultural Engineer, Integrated Rural Development Program PIDR/CBFC, Kisangani, Democratic Republic of Congo, Agricultural Coordinator

F. Bolamba, Congolese DRC, Agricultural Engineer, Food and Agriculture Organization, Roots and Tubers program, Kisangani office, Democratic Republic of Congo, Head of Roots and Tubers Programme, Office FAO Kisangani

J. Walangulu, Congolese DRC, Doctor of Agronomic Sciences, Faculty of Agricultural Sciences, Catholic University of Bukavu, Democratic Republic of Congo, Professor of Phytopathology, Dean of the Faculty of Agricultural Sciences

S. Winter, German, Doctor of Agronomic Sciences, Plant Virus Collection, DSMZ Deutsche Sammlung von Mikroorganismen und Zellkulturen GmbH, Messeweg 11/12, 38104 Braunschweig, Germany. Head of Plant Viruses Department

C. Bragard, Belgian, Doctor of Agronomic Sciences and Biological Engineering, Earth & Life Institute Applied Microbiology-Phytopathology, Catholic University of Louvain, Croix du Sud 2, Bte 3, B-1348 Louvain-la-Neuve, Belgium. Professor of Phytopathology, Head of the Phytopathology Unit.

Honey Production for Assessing the Impact of Climatic Changes on Vegetation

P. Schweitzer¹, I. Nombré^{2,3*}, J.I. Boussim³

Keywords : Climatic changes- Melliferous plants- Honey production- Apiculture- Burkina Faso

Summary

Burkina Faso is experiencing the effects of climate change in all sectors of its agriculture, including honey production. This study assessed the impact of climatic factors on countries' vegetation through honey production. Honey production of nine apiaries consisting of 165 rectangular movable frames beehives was monitored over a seven year period starting from 2002 to 2008. Climatic data such as rainfall, temperature and wind speed were obtained from the nearest meteorological station. Linear regression analysis showed weak positive correlations between honey production and mean temperature (18.3%), rainfall (8.5%) and wind speed (2.6%). There were positive correlations between honey production and rainfall, mean temperature and wind speed. The optimum foraging temperature for local honeybees oscillated between 25°C to 35°C.

Résumé

Evaluation de l'impact des changements climatiques sur la végétation à travers la production de miel

Le Burkina Faso subit les effets des changements climatiques dans les secteurs de son agriculture y compris la production apicole. Cette étude évalue l'impact des facteurs climatiques sur la végétation à travers la production apicole. La production de miel de neuf ruchers constitués de 165 ruches rectangulaires à cadres mobiles a été suivie durant 7 années de 2002 à 2008. Les données climatiques telles la pluviométrie, la température et la vitesse du vent ont été obtenues de la station météorologique le plus proche. L'analyse des régressions linéaires a montré une corrélation positive entre la production de miel et la température moyenne (18,3%), la pluviométrie (8,5%) et la vitesse du vent (2,6%). Il y a une corrélation positive entre la production du miel et la pluviométrie, la température moyenne et la vitesse du vent. La température optimale de butinage de l'abeille locale oscille entre 25°C to 35°C.

Introduction

Burkina Faso, situated in the middle of West Africa, is experiencing the impact of climate changes as is the other countries situated in the South of Sahara region. The fauna, and flora and their relationships in the ecosystems show evidence of this phenomenon. With as far as honeybee activity is concerned, the impact of climatic changes becomes apparent in their ethology and in particular their foraging. At the plants species level, the impact affected the quality and quantity of the nutrients for honeybees, and the plants phenology is a tool to measure the effects of climatic changes.

The honeybee *Apis mellifera adansonii* Latreille is

important in providing pollination services to crops and other flowering plants in the ecosystem (2). The honeybees can also serve as a bio indicator for environment changes (1, 5, 11). Moreover, colony performance in general, and honey production in particular are affected by several factors; among these, the race of the honeybee, the materials and beekeeping practices (8) and climatic factors (11). Although, the first factors can be controlled by genetic selections and training in modern beekeeping techniques, the effect of climatic factors on the activities of honeybee and the availability of forage resources remain unpredictable. Climatic factors such as temperature, wind must allow honeybees to fly and forage nutrients for their brood (4). These factors can indeed influence honeybee

1 Centre d'Etudes Techniques Apicole de Moselle, Laboratoire d'Analyses et d'Ecologie Apicole. Lorraine Guenange, France.

2 Institut des sciences, Ouagadougou, Burkina Faso.

3 Université de Ouagadougou 03, Laboratoire de Biologie et Ecologie Végétales, Ouagadougou, Burkina Faso

* Corresponding author : Email: nombre_issa@yahoo.fr

Received on 02.05.12 and accepted for publication on 10.10.12.

colony development and the length of their life-cycle (6). Resources around the apiary (i.e. water, abundance and diversity of melliferous plants, distances between those and the beehives), morphology and accessibility of the flowers as well as nectar secretion (volume and sugar concentration) are dependent on the climatic and edaphic conditions. Moreover, the nectar production in any plant species depends on its age, maturity, flowering period, the hour of day and the position of flowers on the plant.

If a greater knowledge of flowers visited by honeybees constitutes an essential parameter for beekeeping (12), assessing the relationship between climatic factors and beekeeping through honey and nectar productions allows better apprehension of the various aspects of this production. Available data on the impact of climate changes and their influence on all aspects of honeybee development through foraging and reproduction remain largely unknown (3).

This study aimed to assess the impact of climatic changes on the vegetation nectar production through honey production by honeybee colonies in a Soudano-Sahelian zone.

Material and methods

Study area

The study area is characterized by Soudano-Sahelian climate with high temperature and irregular rainfall. The vegetation is mainly savannah, but protected plant species such as *Vitellaria paradoxa* C. F. Gaertn, *Parkia biglobosa* (Jacq.) Benth., *Adansonia digitata* L., *Faidherbia albida* (Del.) Chev. dominate. The agricultural landscape is characterized by trees such as *Mangifera indica* L. Principal crops being cultivated include *Pennisetum glaucum* Linn. R. Br., *Sorghum bicolor* (Linn.) Moench, *Zea mays* Linn., *Arachis hypogaea* L., *Oryza sativa* L., *Solanum nigrum* L., *Lycopersicum esculentus* Mill., *Lagenaria siceraria* (Molin.) Standl., *Allium cepa* L.

Study Methods

Nine apiaries consisting of 165 rectangular movable frame beehives were set up for the study. The beehives were colonized naturally by wild swarms and collected in the apiaries. The honey productions of these apiaries were recorded over a period of seven years (2002-2008). Two honey crops were harvested per year; one during the major honey flow in March to April and the other

during the small honey flow in November. The climatic data as temperature, rainfall and wind speed were obtained from the National Meteorological Office located in Ouagadougou. The raining season covered four months (June to September) and the variation in soil water content has an effect on the volume and concentration of nectar secretion with a light time difference (14). For rainfall, the quantity of honey produced during the small honey flow (November) has been added to that produced during the major honey flow of the following year (April) to constitute the honey production for the last year. For the other climatic factors, the quantities of honey obtained during the high and the small honey flow periods from the same year have been added to constitute the annual honey production.

The data were analysed with software JMP 8.0; the linear regression and the coefficients of correlation were determined and applied on the quantity of honey produced per year, as well as annual rainfall, annual mean temperature, and the average wind speed. These analyses established a relationship between the different parameters and expressed the percentage of annual honey production based on the climatic factors.

Results

Annual honey production increased with a peak of production in 2007 (Table 1). The correlation with annual rainfall (Table 2) showed two production peaks in 2004 and 2007 where 1011.3 kg and 1167.1 kg of honey have been respectively harvested. In addition, the production varied according to honey flow type. It was generally high during the major honey flow and low during the small one.

Table 1 showed a high honey production during the major honey flow in 2005 (712.3 kg) and during the small honey flow in 2003 (322.64 kg) and 2007 (625.60 kg).

Table 2 showed that high honey production occurred at 889.30 ml and 756.70 ml of rains with 1011.30 kg and 1162 kg of honey produced.

The linear regression of honey quantity produced in relation to the different climatic factors showed positive slopes for the wind speed (Figure 1), the annual rainfall (Figure 2) and the mean temperature (Figure 3). The correlation between climatic factors and honey production showed that 18.3% of annual honey production was determined by the mean temperature. The correlation was 8.5% for annual

Table I
Annual honey production according to honey flow periods of apiaries settled up in Soudano-Sahelian zone.

Year	2002		2003		2004		2005		2006		2007		2008	
	MH	SH	MH	SH	MH	SH	MH	SH	MH	SH	MH	SH	SH	SH
Honey production (Kg)	192.9		123	337.4	322.64	515.3	299	712.3	163	471.5	281.1	636.9	625.6	536.6
Annual honey production (Kg)	315.9			660.04		814		712.3		752.6		1262.5		667.6

MH: Major honey flow

SH: Small honey flow

Table II
Annual honey production correlated to average rainfall of apiaries settled up in Soudano-Sahelian zone.

Year	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Annual production (Kg)	460.4	837.94	1011.3	634.5	918	1162.2	541.6
Average annual rainfall (mm)	658	1058.7	889.3	841	840	756.7	1072.9

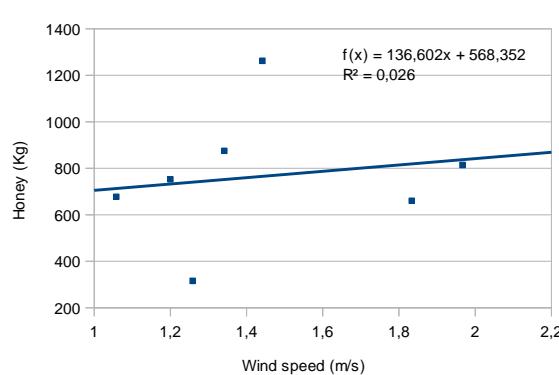


Figure 1: Variation of annual honey production according to wind speed.

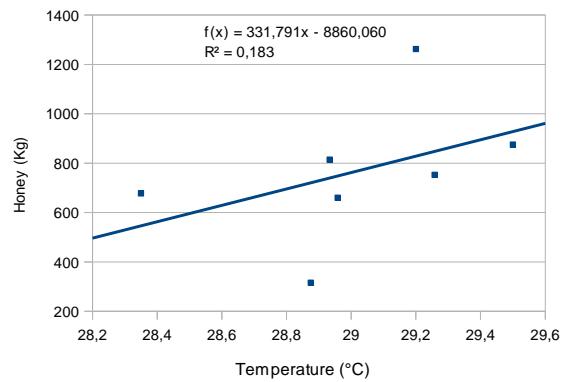


Figure 3: Variation of annual honey production according to annual average temperatures.

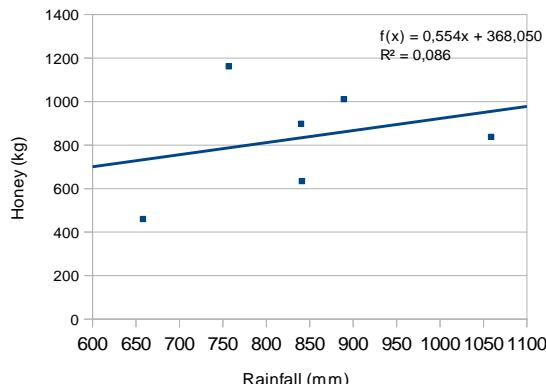


Figure 2: Variation of annual honey production according to annual rainfall.

rainfall and 2.3% for wind speed. The results showed that the mean temperature had a high correlation more than the two others climatic factors.

The annual mean temperature fluctuated between 28°C and 30°C. The monthly average during the eight years showed that the hottest month was April (33.54°C) and the coldest was January (25.74°C).

Annual rainfall fluctuated between 600 mm to 1100 mm. The highest rainfall occurred in August (251.76 mm).

The wind speed was higher in May (1.98 m/s) and lower in September (0.86 m/s) with the mean of 1.5 m/s. Wind speed varied from 1 to 2 m/s.

Discussion

To understand the relation between climate and beekeeping, it is useful to understand the two concepts linked to honeybees and their environment. There are nectar production and honey production. The nectar production is totally plant species function. Its production from a region depends to plant species present and the meteorological factors those affect these plants species. The climatic and edaphic factors

determine the flora of a region and then nectar potentiality.

There are two honey flows periods in Burkina Faso. The first one is the major honey flow period. It occurs in April. The second, called small honey flow period occurs in November (13).

The different climatic factors as annual rainfall, wind speed, temperature and also relative humidity, interact with the different melliferous plants towards nectar production and then have an effect on honey production as stated by Pesson and Louveaux (14). Indeed, they can prevent honeybees to forage (15). Moreover, honeybees foraging depend on several factors among these the quality, the quantity and the availability of nectar those are influenced by climatic factors. Indeed, honeybees visit plant species with some nectar sugar concentration (16, 17). The study has shown that there is high correlation between temperature and nectar secretion. The particular temperature at which nectar is secreted depends to plant species; moreover a temperature as 38°C high induces nectar secretion and also increases nectar sugar concentration (15). Finally a nectar production increase during dry season with the flowering of the woody melliferous plants and the temperature is close to 33.54°C. For Pesson and Louveaux (14) the optimum temperature would always been between 12 and 25°C in the Mediterranean countries whereas in Burkina Faso, situated in tropical sub Saharan zone of Africa, the mean temperature oscillates between 25.74°C and 33.54 °C with a maximum which can reach 45°C in March or April. This period corresponds to the flowering of highly melliferous plant species as the Dawadawa tree (*Parkia biglobosa* (Jacq.) Benth), the Shea tree (*Vitellaria paradoxa* Gaertn), the Grape tree (*Lannea microcarpa* Engl. & K. Krause), the Angole pea (*Sclerocarya birrea* (A. Rich.) Hochs), *Adansonia digitata* Linn, and *Faidherbia albida* (Del.) A. Chev. This is also the period of the major honeyflow (13). This period of high temperatures corresponds to the active foraging season of the local honeybee *Apis mellifera adansonii* Latreille. Whereas the cold period corresponds to the period of low forage availability because it generally coincides with the lack of flowers in the apiaries environment. During this time the harmattan that is blowing and drying nectar, doesn't allow honeybees to fly. The correlation between the temperature and the honey production were confirmed by the results of Kajobé (9) who had worked in the tropical Africa rain forest in the Democratic Republic of Congo.

Thus, when the temperatures are high, they correspond to the woody plant species blooming with a high production of honey, and the low temperature correspond to the low production of honey. Also, the temperature action is daily. Indeed, Nombré *et al.* (13) have showed that honeybees foraging activities are important in the morning between 6 h and 10 h and in the afternoon between 16 h and 19 h 30 mn. During those periods, the temperatures are low. Finally, if the internal temperature can be regulated by the worker honeybees, the external temperature which influences flowers nectar secretion must allow honeybee to fly.

The rainfall is the second climatic factor that correlated honey production. It has direct or negative impacts in honey production through the reduction of honeybees foraging activities (it prevent honeybees to go out the beehives and to fly) and also the dilution and/or the washing of nectar and nutrients. These actions could weaken the colonies and influenced honey yield. The rainfall has also indirect or "positive" actions showed by the positive correlation between it and honey production. Indeed, the honey harvest was not carried out during the rainy season (June to September) but two months later (November) for the low honey yield period, or seven month (April) for the high honey yield period. Because the soil water content variation is reflected on the intensity of nectar exudation with a light shift in time and its increasingly has followed by an important nectar production (14). Therefore, a good rainfall induces a significant vegetative development which will later produce a major honey flow. Moreover, if water can be a limiting factor, better nectar production would arise in the years of high precipitations (15). Then, the years of high precipitations are generally followed by high honey productions during the preceding small and major honey flow seasons. These results have confirmed the observations of Karp *et al.* (10) who said that the plant nectar production is especially conditioned by sufficient water content and nutrients in the soil. The low honey productions during the 2008 small honey flow and during the 2009 major honey flow, despite good rainfall in 2008, could be explained by inappropriate beekeeping practices such as the presence of old combs and the bee wax moth or small beehive beetle.

The third climatic factor in that study is the wind speed. The results show that it can have two kind actions as rainfall. Its direct actions are on honeybee activities. Indeed, it prevents honeybees

to exit and to forage (17). Its indirect actions are to dry the nutrients. Nevertheless, the correlation was positive because, the wind speeds during the honey flow periods, allowed honeybees foraging activities. Indeed, the high wind speed occurred during the harmattan period (November to the end of February) and often during the raining season. These periods did not affect the honey harvesting periods. During the high honey flow period and small one, the wind speed is less 1.5 m/s.

In short, Climatic factors affected honey production through their impacts on flower development, nectar production and honey bee foraging. Indeed, the climate changes will modify plants phenology, in particular their flowering periods and therefore the honey harvesting calendar (12) and (9). This consequently affects ecosystems' functioning.

Conclusion

Climatic changes affect honey production. Indeed, effects of annual rainfall, temperature and wind speed have been assessed through honey production. Results show positive correlations between honey productions and these climatic factors. They can have a positive action in honey production towards nutrients availability in quantity and quality and towards honeybees foraging behavior. Their negative actions are the obstructing of honeybees to fly for foraging and the washing or drying the nutrients. These factors do not act independently and therefore it is often difficult to disentangle their impacts. Nevertheless, this study shows that temperature has an essential role in the honey yield phenomena and then it will particularly monitor. Others climatic factors as relative humidity, sunniness could have an action on plant species blooming and then honey production; they must be studied.

Literature

1. Bogdanov S., 2006, Contaminants of bee products. *Apidologie*, **37**, 1-18.
2. Bradbear N., 2009, *Bees and their role in forest livelihoods*. A guide to the services provided by bees and the sustainable harvesting, processing and marketing of their products. Non Wood Forest Products 19. FAO, 204 p.
3. Brown M.J.F. & Paxton R.J., 2009, The conservation of bees: a global perspective. *Apidologie*, **40**, 410-416.
4. Bruneau E. & Colin M.E., 2006, Clefs pour l'alimentation des abeilles: stratégie d'approvisionnement. *Abeille et Compagnie*, **1145**, 18-21.
5. Chauzat M.P., Faucon J.P., Martel A.C., Lachaize J., Cougoule N. & Uabert M., 2006, Les pesticides, le pollen et les abeilles. *LSA*, **216**, 443-454.
6. Haubrige E., Nguyen B.K., Widart J., Thomé J.P., Fickers P. & Depauw E., 2006, Le déprérissement de l'abeille domestique, *Apis mellifera* L., 1758 (Hymenoptera: Apidae): faits et causes probables. *Notes fauniques de Gembloux*, **59**(1), 3-21.
7. Human H. & Nicolson S.W., 2008, Flower structure and nectar availability in *Aloe greatheadii* var. *davyana*: an evaluation of a winter nectar source for honeybees. *Int. J. Plant Sci.*, **169**, 263-269.
8. Janssens X., Bruneau E. & Lebrun P., 2006, Prévision des potentialités de production de miel à l'échelle d'un rucher au moyen d'un système d'information géographique. *Apidologie*, **37**, 1-5.
9. Kajobé R., 2007, Botanical sources and sugar concentration of the nectar collected by two stingless bees species in a tropical African rain forest. *Apidologie*, **38**, 110-121.
10. Karp K., Mänd M., Starast M. & Paal T., 2004, Nectar production of *Rubus arcticus*. *Agron.Res.*, **2**(1), 57-61.
11. Le Conte Y., Navagas M., 2008, Changement climatique: impact sur les populations d'abeilles et leurs maladies. *Revue scientifique et technique de l'Office international des épizooties*, **2**, 485-497.
12. Leclère J., Roberti P.A. & Bruneau E., 2002, Les fleurs de mes abeilles. *Actualités Apicoles*, **17**, 1-8.
13. Nombré I., Schweitzer P., Sawadogo M., Boussim J.I. & Millogo-Rasolodimby J., 2009, Assessment of melliferous plant potentialities in Burkina Faso. *African J. Ecol.*, **47**, 622-629.
14. Pesson P. & Louveaux J., 1984, *Pollinisation et production végétale*. INRA, Paris, 663 p.
15. Pétanidou T. & Smets E., 1996, Does temperature induce nectar secretion in Mediterranean plants. *New phytol.*, **133**, 513-518.
16. Philippe J.M., 1991, *La pollinisation par les abeilles*. Edisud, Aix-en-Provence, France, 182 p.
17. Pinzauti M., 1986, The influence of the wind on nectar secretion from the melon and on the flight of bees: the use of an artificial wind break. *Apidologie*, **17**(1), 63-72.

P. Schweitzer, French, PhD in Beekeeping Ecology, Professor, Responsable for physico-chemical and melissopalynological analysis, Beekeeping Technical Centre of Moselle, France

I. Nombré, Burkinabè, PhD in Plants Biology and Ecology, Research in Plants Biology and Ecology laboratory, University of Ouagadougou, Burkina Faso

J.I. Boussim, Burkinabè, Professor, Doctorate in Plants Biology and Ecology, Head of Plants Biology and Ecology Laboratory, University of Ouagadougou, Burkina Faso

Adoption of the Tenera Hybrid of Oil Palm (*Elaeis guineensis* Jacquin) among Smallholder Farmers in Cameroon

M.R. Assoumou Mezui^{1*}, I.R. Tchouamo² & M. Baudouin³

Keywords : Adoption- Family producers- Palm oil- Tenera- Cameroon

Summary

The adoption of the Tenera oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) type was studied by focusing on 208 family farmers in Cameroon. The "Average Treatment Effect" (ATE) method was used. This method enables to estimate, by use of a Probit model, the effects created when a farmer is exposed to treatment (or intervention), which represents a source of improved oil palm planting material. According to the results, the estimated adoption rate for Tenera is highly significant ($P<0.05$) for all the categories of producers, regardless of the supply source, which may be formal or informal. In addition, the main factors that significantly determine this adoption are: availability of arable land in forested areas and whether growers intend to increase the size of their plantations. However, the supply of pure planting material remains an important constraint because the other two types of oil palm (Dura and Pisifera) which produce poor palm oil yields are still mistakenly planted on many family farms in Cameroon. Further studies will address this issue in the aim of identifying appropriate solutions.

Résumé

Déterminants de l'adoption et diffusion de l'hybride Tenera de palmier à huile (*Elaeis guineensis* Jacquin) chez les exploitants familiaux du Cameroun

L'adoption de l'hybride Tenera de palmier à huile (*Elaeis guineensis* Jacq.) a été étudiée chez 208 exploitants familiaux du Cameroun. La méthode d'"Effet Moyen du Traitement (ATE)" a été utilisée. Cette méthode permet d'estimer dans une modélisation Probit, les effets de l'exposition d'un agriculteur à un traitement (ou intervention), qui est ici la source d'approvisionnement en matériel végétal sélectionné du palmier à huile. Selon les résultats, le taux estimée d'adoption de Tenera est hautement significatif ($P<0,05$), pour toutes les catégories de producteurs, indépendamment de la source d'approvisionnement qui peut être formelle ou informelle. En plus, les principaux facteurs qui déterminent significativement cette adoption sont: la disponibilité des terres cultivables dans la zone forestière et l'intension des producteurs à augmenter les superficies de leurs plantations. Cependant l'approvisionnement en matériel végétal sain, demeure une contrainte importante parce que les deux autres types de palmiers (Dura et Pisifera), sont encore plantés à tort dans bon nombre de palmeraies familiales du Cameroun. Des études complémentaires seront conduites pour essayer de trouver des solutions à cette situation.

Introduction

The three types of oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) found in Cameroon family farms are Dura, Pisifera and Tenera. The Dura type produces thick-shelled fruit, which is low in pulp. Trees of this type are used as female parents by accredited seed

producers. The Pisifera type rarely bears fruits, as all the pollinated bunches abort before reaching maturity. The little amount of fruits produced does not generally contain kernels or only kernels without shells. The Tenera type produces fruit with thick pulp and thin shells. It is the best hybrid actually created from Dura and Pisifera. Its yield in bunches,

¹ Regional Centre for Agricultural Research of Nkolbisson, Institute of Agricultural Research for Development (IRAD), Yaoundé, Cameroon.

² University of Dschang, Faculty of Agronomy and Agricultural Sciences, Department of Agricultural Extension and Rural Sociology, Yaoundé. Cameroon.

³ University of Kinshasa, Director of ERAIFT, Kinshasa, DRC.

* Corresponding author. Email: remy_assoumou@yahoo.com assoumou.rmy3@gmail.com

Received on 16.03.12 and accepted for publication on 22.10.12.

which can reach 20 tonnes per hectare, is significantly greater than the two other types. The *Tenera* hybrid is an innovation that has been vulgarised in Cameroon, West Africa, South-East Asia and South America since the 1950's. This hybrid is still in the adoption process in Cameroon and merit to be studied in detail.

In some studies, it often emerges that the adoption rate for a sample of producers who have been exposed to the innovation seems to have been over-estimated, compared to the actual adoption rate for the population as a whole (4, 8, 19), leading to a positive selection bias within the population. In fact, the positive selection bias comes from two sources. Firstly, some "open-minded" farmers may independently decide to try a new innovation. This means that, exposure to an intervention seems to be at the discretion of the farmer or his personal choice. The second source of a positive selection bias is that some progressive farmers, known as "opinion leaders", are often identified in rural areas by agricultural research and extension projects/programmes. It is therefore likely that farmers chosen to benefit from an intervention would be more inclined to adopt the exogenous innovation.

It should be noted that the traditional selection bias correction model used to resolve non-exposure and selection bias problems cannot be used to estimate the adoption function and even less the adoption rate for the population as a whole, despite its parametric form (8, 19). This type of model only enables to identify the adoption rate and its function within the sub-population of farmers exposed to the intervention (or treated farmers). Therefore, in the literature, the actual adoption rate for the population will correspond to the "*Average Treatment Effect*" approach (ATE) (7). ATE is the potential adoption rate, if all the producers were exposed to the treatment (or intervention), which is a formal source of *Tenera*. Instead of considering the adoption as a learning process, during which people can be classified as innovative farmers, early majority, late majority or laggards (19), the adoption of the *Tenera* hybrid of oil palm is defined in this study, according to whether it is used by individual or all family farmers (10).

This study is based on the following hypotheses: i) the improved oil palm planting material, in this case the *Tenera* hybrid, is already sufficiently vulgarised in Cameroon and many farmers are aware of its potentials; ii) the adoption of this improved planting material has reached a considerable rate for family producers; iii) this adoption is determined by a number of social, economic and environmental

factors, which remain unknown; iv) however, there are factors inhibiting any increase in the adoption rate for *Tenera* in Cameroon.

This study aims to answer the following three questions: i) what is adoption rate of the *Tenera* hybrid among Cameroon family farmers? ii) What are the individual, environmental, economic or social factors that determine this adoption? iii) How can we plan to minimise the dilution (mixing of seeds) problem affecting oil palm planting materials, in order to guarantee good productivity of family farms?

Materials and methods

This study focused on a sample of 208 survey respondents, all of whom were randomly selected from the sub-population of oil palm growers in three regions of Cameroon: 46 from the Littoral region, 42 from the Centre and 120 from the South. The main selection criterion was that the farmers should own an oil palm plantation and be willing to be interviewed.

Not all the producers are capable of being supplied from the same type of source and do not have the same productive resources. This means that the *Tenera* supplies are distributed in a non-random way across the population as a whole. In addition, the distribution of *Tenera* for the purpose of this study was not conducted as part of a project, in which participants were selected for trials in rural area. In order to achieve this, the farmer's decision to enter the oil palm sector can be influenced by various factors such as (Table 1): support from the agricultural extension services (SUPPORT), personal characteristics (AGE, EDUC, HOUSESIZE, MARSTAT), the producer's main activity (ACTIVITY) or the availability of agricultural land (AVAIL). In this case, the intervention is therefore exogenous. Essentially, an intervention with a non-random focus, which is of exogenous origin, belongs to TYPE II (6).

The dependent variable (Y) is represented in the adoption model by TENERA. It assumes the value one "1", if adoption takes place, and zero "0" if this is not the case. The exposure (or instrumental) variable (Z) is represented in the adoption model by APPROV; in other words, the supply sources of oil palm planting material. In the adoption model, Z takes the value one "1", if the producer were supplied from a formal source, such as the Institute of Agricultural Research for Development (IRAD), the Palm Oil Plantation Limited (PAMOL), the *Programme de Développement des Palmeraies Villageoises* (Development Programme for Village

Table 1
Description of the model variables.

Variable	Description	Value
Dependent variable (Y)		
TENERA	Admits to having planted the Tenera hybrid in his plantation	1= has adopted 0= has not adopted
Exposure variable (Z)		
APPROV	Supply source for Tenera	1= formal source 0= informal source
Independent variables (Xk)		
REGION	Oil palm cultivation area	1= close to the agro-industries and research centres (Littoral and Centre regions) 0= otherwise (South region)
AGE	Age of farmer	Continuous variable
EDUC	Level of education	1= primary 2= secondary 3= higher 4= professional training
ACTIVITY	Agriculture as main activity	1= yes 0= no
AVAIL	Availability of agricultural land	1= no constraint 0= constraint
SUPTOT	Plans to increase the total area of oil palm plantation	1= area > 2 ha 0= area < 2 ha
SEX	Gender of farmer	1= male 0= female
MARSTAT	Marital status of farmer	1= married 0= otherwise
HOUSESIZE	Size of household	Continuous variable
SUPPORT	Support for agricultural extension services	1= yes 0= no
CONST.	Regression constant	Number

Oil Palm Plantations (PDPV). Otherwise, Z assumes the value zero "0".

The estimated adoption parameters are: ATE, ATE1, ATE0, JEA, NEB and PSB (2, 5, 11, 12, 13, 20). These adoption parameters were estimated based on the following equations:

$Y=z Y_1 + (1-z) Y_0$, which is the adoption result for the observed farmers.

With Y_1 : the potential adoption rate for farmers exposed to a formal source,

Y_0 : the potential adoption rate if they were not exposed,

Subsequently: $Y_{1i} - Y_{0i}$ will be the effect the

intervention on the producer i.

$ATE=E(Y_1 - Y_0)$: Potential adoption rate, if all the growers were exposed to a formal supply source for Tenera.

$ATE1=E(Y_1 - Y_0 | z=1)$: Adoption rate for growers, who were supplied from a formal source.

$ATE0=E(Y_1 - Y_0 | z=0)$: Adoption rate for growers, who were not supplied from a formal source.

$JEA= E(Y)= E(z Y_1)$: Combining the conditions for exposure to the intervention and adoption of the innovation produces the "Joint Exposure and Adoption rate" (JEA).

$JEA=P(z=1) \times E(Y_1 | z=1)$

NEB=EA-ATE: the adoption “gap” (NEB)

PSB=ATE1-ATE: “*Population Selection Bias*” (PSB)

STATA 11.0 software was used to estimate the three functions: exposure - *Probit semi-parametric* of shape $e(z,v)$; adoption - *Probit parametric* of shape $f(x,u)$ and classic *Probit* of shape $g(z,x,\varepsilon)$, in order to compare the results.

Results and discussion

The first results relate to the specification of the adoption model. In other words, the adoption parameters were estimated according to the exposure conditions for producers to the two types of sources of Tenera oil palm (Table 2). The second series of results (Table 3) is about adoption determinants for the Tenera hybrid of oil palm.

Estimation of *Tenera* adoption model parameters

The adoption rate for the 183 farmers who were exposed to a formal supply source of improved oil palm planting material is (ATE1). This adoption rate is highly significant ($ATE1=71.51\% ; p=0.000$).

The potential adoption rate for *Tenera*, if all the farmers in the study sample (208) had been exposed to a formal supply source of planting material, would be highly significant since ($ATE=70.66\% ; p=0.000$).

The adoption rate, under the double condition that the producer was exposed to a formal source and actually cultivating *Tenera* on his farm, is also highly significant because ($JEA=62.91\% ; p=0.000$).

The adoption “gap” is therefore highly significant ($NEB=-07.74\% ; p=0.000$). The population’s selection bias is significant ($PSB=0.85\% ; p=0.025$). In other words, the potential *Tenera* adoption rate for the population as a whole is significantly different from the adoption rate for growers who had been exposed to a formal source of planting material.

These results indicate that the adoption rate for 183 producers who were exposed to a formal source (ATE1) is significantly higher than the potential adoption rate for the total population (ATE) of 208. In addition, the selection bias (PSB) is positive. ATE1 is therefore over-estimated compared to the ATE. This result is fully in line with the authors’ observations (4, 8, 19). Otherwise, a positive selection bias in the population means that, for an individual to adopt the *Tenera* innovation, he must first be exposed to a formal supply source. This was not found to be true in this study, as the

adoption of *Tenera* did not result from an intervention, in the form of a specific development project or programme. The *Tenera* adoption rate for producers who were not exposed to a formal source is also highly significant ($ATE0=64.42\% ; p=0.000$). As a result, we can conclude that this is likely to be the true adoption rate of *Tenera* by family farmers in Cameroon. This result is acceptable because the extension or diffusion of this innovation had sufficiently alleviated the awareness of family farmers. However, the sub-supply chain of “improved oil palm planting material”, which includes various state (or formal) and private (or informal) distributors, is still dysfunctional in many ways. This creates problems, such as dilution (or mixing of seeds), which leads to the creation of family oil palm plantations with “material of any type”. Such oil palm plantations produce 20% less than those created with improved planting material. The main cause of this problem of dilution is that the demand for improved oil palm seeds remains greater than the supply in Cameroon.

Despite a potential yield of 13 million improved oil palm seeds per year from the two accredited research organisations in Cameroon, which are IRAD’s Specialised Centre for Oil Palm Research (CEREPAH) and PAMOL, they hardly distribute over 3 million seeds per year, while the annual demand is estimated today at 5 million seeds (6). However, the National Programme for Improved Oil Palm Seeds Production was launched in 2008, with the aim of promoting the production of oil palm seeds at CEREPAH and PAMOL. This programme only began in 2009 at CEREPAH after being delayed for one year. The programme had never started at PAMOL due to administrative delays (6).

Let us find in the following paragraphs which are the factors that determine the adoption of *Tenera* by family farmers in Cameroon?

Determinants of the adoption of *Tenera*

In Table 3, the three *Probit* models (semi-parametric exposure, parametric adoption and classic adoption) were used, with the aim of comparing the results for the estimated variable coefficients.

It emerged that only the exposure and classic adoption models, which cover the entire population of 208 family farmers included in the study, show that only two factors significantly determine the adoption of the *Tenera* hybrid by family oil palm producers. The first factor is the availability of land (AVAIL), based on the coefficients ($C= 0.579 ; p=$

0.023), in the exposure model and ($C=0.405$; $p=0.032$) in the classic adoption model. The second factor that determines the adoption of *Tenera* is whether the producers plan to increase the size of their plantations (SUPTOT), based on the coefficients ($C=0.795$; $p=0.002$) in the exposure model and ($C=0.708$; $p=0.001$) in the classic adoption model.

The "land" as a resource stands out as the major factor that determine whether a farmer enter into oil palm cultivation, as land can either be inherited or purchased in the study area. Production factors, such as capital and labour, are secondary, as some smallholders in Cameroon have been able to create their first hectare of plantation with the help of the Development Programme for Village Oil Palm Plantations (PDPV), which began in 2003, by distributing 150 seedlings and fertiliser free of charge to interested farmers. These smallholders only required land and could make use of family labour (13). This result is similar to that obtained by authors that had studied the adoption of innovations in Sub-Saharan Africa (1, 14).

If the question of whether a producer plans to increase the size of his plantation (SUPTOT) is a decisive factor for the adoption of *Tenera*, this is

because, if a farmer wishes to create a large-scale plantation, he will arrange to order improved seeds from a formal source, such as the IRAD or PAMOL. The latter will provide him with *Tenera* hybrid of

Table 2
Estimation of adoption parameters using Probit modelling,
based on the ATE method.

Adoption of Tenera	Parameter	z	P> z
ATE	0,7065582 ***	21,56	0,0000
ATE1	0,7150782 ***	22,27	0,0000
ATE0	0,6441913 ***	13,51	0,0000
JEA	0,6291313 ***	22,27	0,0000
GAP	-0,0772468 ***	-14	0,0000
PSB	0,0085201 **	2,23	0,0250
Producers observed			
Ne/N	0,8798077 ***	38,93	0,0000
Na/N	0,6298077 ***	18,77	0,0000
Na/Ne	0,715847 ***	18,77	0,0000
Total population : N = 208			
Number of exposed farmers : Ne = 183			
Number of adopters : Na = 131			

Symbols : **Significant at $\alpha= 0.05$; ***Highly significant at $\alpha= 0.01$.

Table 3
Determinants of the adoption according to three Probit models: semi parametric, parametric and classic).

Variable	Exposure function Probit function		
	(semi parametric)	(adoption parametric)	Probit function adoption (classic)
REGION	0,16717809	-0,00028072	-0,00087826
AGE	0,01636538	0,00083731	0,00547336
EDUC	-0,06372583	0,06857772	0,05123927
ACTICITY	0,02776647		-0,08525015
AVAIL	0,57873605*	0,26435363	0,40538157*
	-0,023		-0,032
SUPTOT	0,79463899**	0,48064733**	0,70769453***
	-0,002	-0,031	-0,001
SEX	0,5628281	0,43083138	
MARSTAT	0,35381546	-0,17236047	
HOUSESIZE	0,0075786	0,01045747	
SUPPORT	-0,02228133	0,26420569	
CONST	-0,32859146	-0,38788322	-1,0656636
N	208	183	208
Pseudo R ²	0,12017794	0,05788697	0,08228524
Wald χ^2	18,363203	12,357856	22,875567
df	6	9	10
log likelihood	-67,218457	-102,898	-125,80406

Symbols: ** Significant at $\alpha = 0.05$; *** Highly significant at $\alpha = 0.01$

reliable quality, which is a necessary condition in terms of guaranteeing increased production. In the oil palm cultivation zone of Cameroon, not only former producers intend to increase their plantations when they have sufficient land. Many other farmers want to join the production chain. This situation will be reinforced as four palm oil processing factories will soon be built across the country by the project "Improving the Income Generating Potential of the Oil Palm in West and Central African Region" (APROCOM-PH) in the following villages: Sombo (Nyong and Kelle division), Green Valley Plantation (Fako division), Mkpot (Manyu division) and Ngié (North-west region) (16).

Based on the three models, the results shown in Table 3 indicate that some variables do not influence the adoption of *Tenera*. These variables are the personal characteristics of the producers, such as their age (AGE), gender (SEX), level of education (EDUC), marital status (MARSTAT), size of household (HOUSESIZE) and main activity (ACTIVITY). In addition the two environmental variables, which are the cultivation area (REGION) and support provided by the agricultural extension services (SUPPORT) do not determine the adoption of *Tenera*.

If the producer's "activity type", as a personal characteristic, is not a decisive factor for the adoption of the *Tenera* hybrid, this means that almost all people in the Cameroon low-altitude forest zone are interested in cultivating oil palm, regardless of their main activity that may be the civil service or agriculture. This result is in line with the observations made concerning the oil palm sector in Ivory Coast (15). Civil servants working in urban areas hold resources that enable to purchase land and create large oil palm plantations. However, their main objective is sometimes to mark out land and not to develop oil palm production for family consumption or for sale.

The variable that relates to the cultivation area (REGION) is not a decisive factor for the adoption of *Tenera*. In other words, the proximity of agro-industries, soap factories and research centres focusing on oil palms, as it is observed in the Littoral region, does not influence the infatuation for family farmers living far away from these structures to plant oil palm. This also means that the extension of the *Tenera* innovation is already satisfactory throughout the country. In fact, since the days after the independence of Cameroon in 1960, 70% of palm oil was produced by natural oil palms, while the remainder was provided by the agro-industries, such as the Cameroon

Development Corporation (CDC), *Palm Oil Plantation Ltd (PAMOL)* and the *Société des Palmeraies de la Ferme Suisse (SPFS)*. Faced with an increasing demand for palm oil, in its first five-year plan (1960-1965), the Cameroon government decided to create the *Société des Plantations de M'Bongo et d'Eseka (SOPAME)*, which later became the *Société Camerounaise des Palmeraies (SOCAPALM)* in the coastal region in Nyété and Dibombari near Douala. This policy resulted in the creation of new industrial and family-owned plantations working for SOCAPALM in the Littoral region, using an improved planting material of the "*Tenera*" type. Since 1994, we have witnessed a real national infatuation with palm oil, which represents a crop of diversification alongside the traditional production systems based on cocoa (*Theobroma cacao*) and coffee (*Coffea spp.*). For many family farmers, oil palm production represents a safe investment, provided that they have access to the land and financial resources, as well as the planting material and technical expertise.

In the same vein, the variable "support provided by the agricultural extension services" (SUPPORT) does not determine adoption of the *Tenera* hybrid. However, this support would be needed to monitor more effectively the required technical itinerary which initially includes the choice of high quality planting material and later all the other stages of oil palm cultivation, in order to achieve optimum production.

Conclusion

In essence, this study has hinted at answers to three central questions. In terms of determining the adoption rate for the *Tenera* hybrid by family oil palm farmers in Cameroon, the "average treatment effect" (ATE) was used to estimate a significant potential rate ($P < 0.05$) for the sub-population of family producers who were not exposed to the intervention. The primary factors that determine this adoption include the availability of land in forest areas and the second is the intention of existing farmers to increase the size of their oil palm plantations, together with the entry of new growers into the production chain. However, in light of these results, the decision makers should ensure the success of the national programme for oil palm seed production at IRAD and PAMOL, in order to meet the demand for sufficient quantities of high quality improved seeds. As oil palm cultivation has increased in Cameroon, with the arrival of foreign investors, the decision makers must also consider the environmental impacts, such as deforestation, loss of biodiversity and pollution of land, water and air, as it is currently being seen in the countries of

South-East Asia (Malaysia and Indonesia). An additional study, accompanied by regular monitoring of oil palm producers at landscape scale, will enable to produce a dynamic modelling, which will estimate quite precisely the economic and environmental impacts of the expansion of oil palm cultivation in Cameroon.

Acknowledgements

We would like to thank the steering committee of the previous REPARAC project in IRAD, which facilitated the collection of data for this study. Our thanks also go to the staff of the AfricaRice project, who taught us the methodology for the adoption and impact studies concerning agricultural innovations, along with the learning of the STATA 11.0 software, in Douala – Cameroon from 20 - 24 June 2011. We also wish to thank all the reviewers for their constructive comments.

Literature

1. Adesina A., Mbila D., Nkamleu B.G. & Endamana D., 2000, Economic analysis of determinants of adoption of alley farming by farmers in forest zone of Southwest Cameroon. *Agric. Ecosyst. Environ.*, 235-256.
2. Angrist J.D., Imbens G.W. & Rubin D.B., 1996, Identification of causal effects using instrumental variables. *J. Am. Stat. Assoc.*, 91(434), 444-55.
3. Assoumou M.R., Tchouamo I.R., Amang à Mbang J. & Teguefouet F.P., 2012, Comment peut-on sécuriser l'approvisionnement des exploitants familiaux en matériel végétal sélectionné de palmier à huile (*Elaeis guineensis* Jacq.) au Cameroun ? In press.
4. Besley T. & Case A., 1993, Modeling technology adoption in developing countries. The American Economic Review, Vol. 83, N° 2, *Papers and Proceedings of the 105 Annual Meeting of the American Economic Association*, Anaheim, California, 396-402.
5. Blundell R. & Costa-Dias M., 2002, Alternative approaches to evaluation in empirical microeconomics. Institute for Fiscal Studies, Cemmap working paper cwp10/02.
6. CEREPAH, 2011, Rapport annuel. Centre Spécialisé de Recherche sur le Palmier à huile de la Dibamba, IRAD, Cameroun. p 29.
7. Diagne A. & Demont M., 2007, Taking a new look at empirical models of adoption: average treatment effect estimation of adoption rates and their determinants. *Agric. Econ.*, 37, 201-210.
8. Dimara E. & Skuras D., 2003, Adoption of agricultural innovations as a two-stage partial observability process. *Agric. Econ.*, 28, 187-196.
9. Faure G., Kleene P. & Ouedraogo S., 1998, Le conseil de gestion aux agriculteurs dans la zone cotonnière du Burkina Faso: une approche renouvelée de la vulgarisation agricole. *Etud. Rech. Syst. Agraires Dev.*, 31, 81-92.
10. Feder G., Just R.E. & Zilberman D., 1985, Adoption of agricultural innovation in developing countries: a survey. *Econ. Dev. Cultural Change*, 33(2), 255-298.
11. Heckman J. & Hotz J., 1989, Alternative methods for evaluating the impact of training programs. *J. Am. Stat. Assoc.*, 84(804), 862-874.
12. Imbens G., 2004, Nonparametric estimation of average treatment effects under exogeneity. *Review Econ. Stat.*, 86(1), 1-29.
13. Lebailly P. & Tentchou J., 2009, Étude sur la filière porteuse d'emplois «palmier à huile». Rapport final. Projet d'appui à la promotion de l'emploi et réduction de la pauvreté. Ministère de l'emploi et de la Formation professionnelle et OIT – Bureau sous-régional de l'Afrique centrale.
14. Moffitt R., 1991, Program evaluation with NX Data. *Eval. Review*, 15, 3, 291-314.
15. Nkamleu G.B. & Coulibaly O., 2000, Les déterminants du choix des méthodes de lutte contre les pestes dans les plantations de cacao et café du Sud-Cameroun. *Econ. Rurale* N° 259 sept.-oct., 2000, 75-85.
16. Naï Naï S., Cheyns E. & Ruf F., 2000, Adoption du palmier à huile en Côte d'Ivoire. Oléagineux, Corps-Gras, Lipides. Dossier: Afrique, plantation et dév., 7(2), 155-165.
17. Okole S.O., 2012, Mini-enquête, L'économie autrement. Cameron Tribune, Alter ECO N° 039 du 29 mai 2012, 8-9.
18. Quencez P., 1996, La culture du palmier à huile en Afrique intertropicale: les conditions du milieu physique. *Ol. Corps Gras, Lipides*, 3(2), 116-118.
19. Rogers E.M., 1983, *Diffusion of innovations*. 3rd ed. The Free Press of Glencoe. New York, 453 p.
20. Sascha O.B. & Andres A., 2002, Estimation of average treatment effects based on propensity scores. *Stata J. Number*, 4, 358-377.

M.R. Assoumou Mezui, Cameroonian, Master of Science, doctorate student in rural economy. ERAIFT, University of Kinshasa. Researcher at the Institute of Agricultural Research for Development (IRAD), Regional Centre for Agricultural Research of Nkolbisson, Po Box: 2067 Yaounde, Cameroon.

I.R. Tchouamo, Cameroonian, PhD, Senior Lecturer at the Faculty of Agronomy and Agricultural Sciences, Department of Agricultural Extension and Rural Sociology, University of Dschang, Cameroon.

M. Baudouin, Belgian, PhD, Director of ERAIFT, University of Kinshasa, Kinshasa, DRC.

Acclimatation de vitroplants de bananier (*Musa sp.*) en culture hydroponique: impact de différentes concentrations en cuivre sur la croissance des vitroplants

K.M. Mazinga^{1*}, M. Van Koninckxloo², M. Godoy Jara², L. Baboy Longanza^{3,4} & J. Louvieaux²

Keywords : Banana- *Musa sp.*- Vitroplants- Copper- Growth- Hydroponics- DRC

Résumé

Les contraintes dues au cuivre et les conséquences de son accumulation par les vitroplants de bananier pendant la phase d'acclimatation ont été étudiées en culture hydroponique. Des doses de 0-100-500-1000 ppm de cuivre, sous forme de CuSO₄, ont été ajoutées au milieu nutritif en culture hydroponique. A 1000 ppm CuSO₄, les résultats obtenus ont mis en évidence des concentrations en cuivre élevées accumulées dans les racines contrairement aux organes caulinaires. De manière très frappante, la biomasse des organes caulinaires et racinaires a augmenté de manière significative à cette même concentration (à l'exception de la feuille). La croissance de la plante a été réduite sensiblement, même à 100 ppm CuSO₄, bien que la teneur en cuivre dans les tiges et les feuilles soit très faible.

Summary

Acclimatation of Banana's Vitroplants (*Musa sp.*) in Hydroponic Culture: Effects of Different Concentrations Copper on Growth of Vitroplants

Constraints due to copper and consequences of its accumulation in acclimatized banana in vitroplants have been studied in hydroponic culture. 0-100-500-1000 ppm copper was added to the nutrient medium in hydroponic culture. At 1000 ppm, copper was accumulated in the roots but not in the aerial parts. Surprisingly, biomass of shoots and roots was augmented significantly at this concentration (with leaves as an exception). Plant height was reduced strongly even at 100 ppm CuSO₄, although the copper content in shoots and leaves was very low.

Introduction

Le bananier (*Musa spp.*) constitue une importante source de revenus dans les pays en voie de développement, particulièrement en Afrique occidentale, en Amérique ainsi qu'en Afrique tropicale. Sa forte teneur en protéines fait d'elle une matière première en technologie agro-alimentaire tandis que sa teneur en vitamines contribue largement à la résolution des problèmes de malnutrition protéïnocalorique (11). En République Démocratique du Congo (RDC), sur le plan national les bananes douces représentent les fruits les plus importants du pays, soit 1/3 de la production fruitière totale. Quant au plantain, il occupe la deuxième place parmi les produits vivriers cultivés en RDC, après le manioc (27). Dans le milieu

périurbain de Lubumbashi (RDC), la production de bananes est une activité agricole de longue date. Aujourd'hui encore, elle présente de nouvelles possibilités grâce à la forte demande sur le marché due à la pression démographique dans la ville de Lubumbashi (plus de 4 millions d'habitants), et les prix élevés. Récemment, BBT (Banana Bunt Top), une maladie virale transmise par le puceron noir du bananier (*Pentalonia nigronervosa*), a commencé à causer d'importantes pertes de rendement. Ces attaques de BBT, seraient dues au matériel de plantation provenant de Zambie source de BBT, introduit par les agriculteurs dans les nouvelles plantations (5). Les rejets sont produits par les paysans eux-mêmes et sont pour la plupart contaminés, la technique de reproduction par culture de tissus est inconnue (19).

1 Université de Lubumbashi, Laboratoire de culture *in vitro* des plantes, Lubumbashi, RDC.

2 Centre pour l'agronomie et l'agro-industrie de la Province de Hainaut (CARAH asbl) associé à la Haute Ecole Provinciale de Hainaut Condorcet, Ath, Belgique.

3 Faculté des Sciences Agronomiques, Lubumbashi, RDC.

4 Université Libre de Bruxelles (Service d'Écologie du Paysage et Systèmes de Production Végétale, Bruxelles, Belgique).

* Auteur correspondant : michelmaz2003@yahoo.fr

Reçu le 20.06.11 et accepté pour publication le 22.10.12.

L'assainissement du matériel serait nécessaire pour lutter contre les pathogènes qui imposent aux agriculteurs l'utilisation de doses massives de pesticides tels que les benzimidazoles et les triazoles dommageables pour la santé et l'environnement (25). Mais pour que ce matériel s'adapte dans son nouveau milieu et donne un bon rendement, leur plantation doit se faire sur des sols sains (11). La présence excessive en cuivre due aux activités des usines hydro métallurgiques de la Gécamines constitue un problème pour l'environnement et le paysage du Haut-Katanga (9).

Depuis l'avènement de la libéralisation économique en République Démocratique du Congo (RDC), de petites unités artisanales d'exploitation minière ont commencé l'extraction et la transformation de minerais. Les déchets d'extraction et de transformation pouvaient se trouver partout dans la ville. Le ruissellement et le vent facilitent ensuite ces métaux toxiques, dont le cuivre, à pouvoir gagner de plus en plus des surfaces, à tel point que les concentrations sont devenues élevées. Les cultures ont difficile à croître suite aux concentrations élevées en cuivre. En raison de la formation du complexe organocuivré, le Cu en excès peut être hautement毒ique (18). Seules les espèces n'ayant pas un intérêt alimentaire, pour la plupart des espèces sauvages possédant une phytotoxicité élevée se sont adaptées à ces conditions et ont pu se développer (23). Cette situation peut avoir un impact majeur sur la sécurité alimentaire locale. Par ailleurs, lorsque le Cu n'est pas disponible, la plante développe des symptômes des carences spécifiques, dont la plupart affectent les jeunes feuilles et les organes reproducteurs. Ainsi, les plantes ont besoin de Cu comme un micronutritrum essentiel pour leur meilleure croissance et leur développement normal (2). L'étude de l'effet de la toxicité des doses croissantes de Cu dans le milieu de culture d'enracinement en culture *in vitro* sur les paramètres biochimiques de vitroplants a mis en évidence l'interaction de Cu avec un large éventail de processus physiologiques et biochimiques des espèces des plantes (10). En culture *in vitro* de bananier, l'effet des concentrations de Cu a été rapporté sur un petit nombre de cultivars (3, 21). Par ailleurs, les résultats des études menées en culture *in vitro* de bananier suggèrent que les concentrations élevées de Cu (0,64-6,4 ppm), inhibent l'induction de la rhizogénèse, la croissance et le développement normal du bananier (3, 21). Dans ce travail, nous avons étudié la croissance de vitroplants de bananier en présence de concentrations croissantes en cuivre (Cu) dans le milieu de culture en conditions contrôlées en

hydroponie lors de la phase d'acclimatation en serre. Ensuite, nous avons évalué la teneur en cuivre accumulée dans les différents organes (caulinaires et racinaires) de vitroplants de bananier.

Matériels et méthodes

Matériel végétal

Dans cette étude, nous avons utilisé pour l'ensemble de traitements comme matériel végétal les vitroplants engrangés de l'hybride FHIA-23, ITC 1265, issus du croisement entre «Gros Michel» comme femelle à génome AAA et cv «Highgate 3362SH», mâle. Ces vitroplants ont été initiés au laboratoire du centre de transit de l'INIBAP, à K.U. Leuven (Katholieke Universiteit Leuven). Cependant, la phase de multiplication et d'enracinement de juin 2009 jusqu'en juin 2010 a été réalisée au laboratoire de culture *in vitro* du Centre pour l'Agronomie et l'Agro-industrie de la province de Hainaut (CARAH), HEPH - Condorcet (Haute Ecole Provinciale de Hainaut-Condorcet) à Ath en Belgique. Les vitroplants avaient en moyenne: 5 racines, 3 feuilles et mesuraient en moyenne 5 cm de longueur au bout de 45 jours de la phase d'enracinement *in vitro*. Lors des différentes phases en culture *in vitro*, le milieu de base utilisé est constitué de sels minéraux et de vitamines de (Murashige & Skoog, 1962) additionné des phytohormones dont 10 µM de N6-Benzylaminopurine (BAP), 1 µM.L⁻¹ d'acide indole acétique (AIA) et de saccharose à 30 g/l en phase de prolifération contre 20 g.l⁻¹ en phase d'enracinement. Le pH a été ajusté à 5,8. Le milieu de culture a été solidifié à l'agar 'vitro' de Duchefa 7 g.l⁻¹. L'ensemble de culture a été placé à la lumière à 27°C de température, une photopériode de 16 h, pour un séjour total de 45 jours pour chaque phase. Par ailleurs, 1,00% charbon actif a été additionné au milieu d'enracinement.

Cet hybride FHIA-23, dont les fruits sont consommés comme dessert est largement cultivé à Cuba, où il est deux fois plus productif que Cavendish en l'absence de traitements phytosanitaires fongicides appliqués contre les attaques de la maladie des raies noires. Il est également résistant à la race 1 de la fusariose.

Méthode de culture

Une culture *hydroponique* a été réalisée dans des bacs en plastique contenant chacun 5 l de solution nutritive enrichie en Cu aux concentrations différentes; témoin (zéro CuSO₄), 100 ppm, 500 ppm et 1000 ppm constituant les quatre traitements appliqués dans le cadre de cet essai. Ces

concentrations sont similaires à des concentrations en Cu total dans le sol de la forêt claire 116-220 ppm et en ceinture de savane arbustive 200-800 ppm (1, 17). Dans le sol contaminé (Gécamines/Penga Penga/Lubumbashi) la teneur peut dépasser 30000 ppm empêchant ainsi la colonisation végétale, même pour des espèces réputées très tolérantes (22).

On ajoutait 1 litre de solution nutritive (Tableau 1) tous les sept jours et 1 litre de l'eau osmosée tous les trois jours. Un pH de 5,6 était ajusté avec du HNO₃, à raison de 1 ml/litre de solution. Nous avons mis en place un total de 40 pots garnis de perlite dans chacun desquels était repiqué un vitroplant de bananier. Chaque traitement était réparti dans 2 bacs dans lesquels on avait placé 5 pots. Un dispositif de bullage pour l'oxygénation des racines a été installé et relié à une pompe à air (Vacuum gaz pomp, VWR PROLABO), comprenant à son sein deux ouvertures dont une entrée et une sortie.

Tableau 1
Composition de la solution nutritive (Hoagland modifiée).

Eléments	Hoagland modifié. (polyvalente)	marque
	mg/l	mg/l
MgSO ₄ .7H ₂ O	492	Epsotop
KH ₂ PO ₄	136	Krista MKP
KNO ₃	505	Krista K
Ca(NO ₃) ₂ .4H ₂ O	1180	Calcinite
Fe-EDTA (6%)	15	
MnSO ₄ .H ₂ O	1,81	
H ₃ BO ₃	2,86	
ZnSO ₄ .7H ₂ O	0,22	
CuSO ₄ .5H ₂ O	0,051	
(NH ₄) ₆ Mo ₇ O ₂₄ .4H ₂ O	0,12	

Les observations sur les paramètres de croissance sont réalisées tous les quinze jours pendant 8 semaines. Après les 8 semaines de culture, les organes caulinaires et racinaires ont été récoltés (feuilles, pseudo tronc et racines).

La biomasse fraîche a été pesée et les organes récoltés ont par la suite été lavés à l'eau ultra pure et séchés pendant 48 heures à 70°C. La matière sèche a été pesée et broyée puis ensuite calcinée à 450°C et minéralisée dans un mélange d'acide nitrique et perchlorique (1:1). La concentration en Cu des échantillons a ensuite été mesurée par spectrométrie d'absorption Atomique (AAS Varian 220).

Analyses statistiques

Les résultats sur la production de biomasse et la teneur en cuivre dans les plantes ont été comparés au moyen d'une analyse de variance à un facteur (ANOVA). Une analyse de variance à deux facteurs a été utilisée pour analyser l'évolution de la croissance et le développement des vitroplants selon les différentes dates de prélèvements et les différentes doses de Cu. Les moyennes ont ensuite été comparées au moyen des tests de Newman-Keuls. Les analyses ont été réalisées au risque de première espèce $\alpha=0,05$ au moyen du logiciel Statbox 7.1.

Résultats

Teneur en Cu dans les organes caulinaires et des organes racinaires de vitroplants

L'ANOVA ne montre aucune différence significative entre les traitements du point de vue concentration de cuivre dans les organes caulinaires exprimé en ppm par poids sec total. Quelles que soient les concentrations de cuivre: 0 ppm, 100 ppm, 500 ppm ou 1000 ppm, il n'y a pas de différences significatives entre les traitements pour les feuilles et les tiges (Figure 1). Par ailleurs, des différences significatives de concentration en Cu dans les racines existent entre les traitements (Figure 1). L'ANOVA, montre un effet traitement. Des tous les traitements appliqués, les teneurs les plus élevées ont été enregistrées dans les racines (Figure 1).

Importations en Cu des organes caulinaires et racinaires par plante pour différents traitements

Les importations sont calculées en multipliant les teneurs dans les organes par la biomasse de ces organes respectifs. Une différence significative de concentration en Cu importée dans les feuilles a été révélée, l'ANOVA montre un effet traitement. Les vitroplants se trouvant en présence des concentrations élevées en cuivre ont fixé les quantités les plus élevées en cuivre dans la racine, la feuille, ainsi que dans la tige (Tableau 2). L'organe racinaire a importé la valeur la plus élevée (7,26 mg/plante), suivie de la feuille (0,20 mg/plante) et enfin la tige (0,18 mg/plante) (Tableau 2). L'ANOVA appliquée aux résultats relatifs aux quantités totales de Cu fixées par les vitroplants a également révélé une différence significative: les vitroplants de bananier alimentés par la solution nutritive contenant 1000 ppm de CuSO₄ ont importé une grande quantité de Cu. D'une manière générale, la quantité de cuivre importé par la plante est fonction de la concentration se trouvant dans le traitement appliqué.

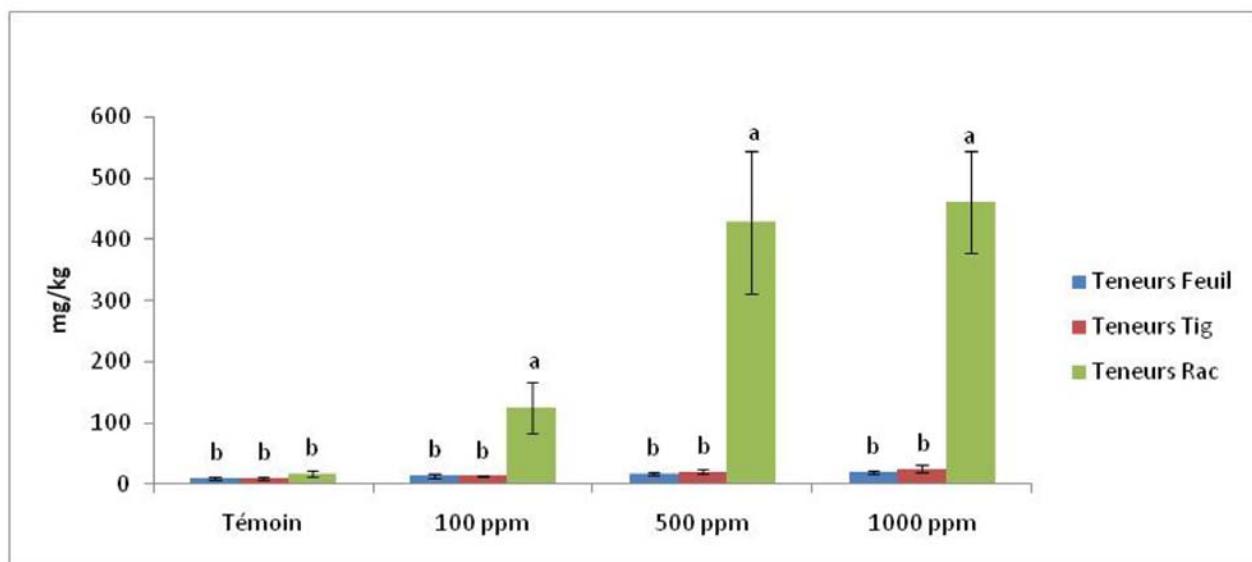


Figure 1: Variation de la teneur en Cu dans les organes caulinaires et racinaires des vitroplants de bananier au cours d'acclimatation en hydroponique.

Les barres d'erreur sont les Écarts types. Les moyennes surmontées d'une même lettre pour une série soit un traitement (Témoin, 100 ppm, 500 ppm et 1000 ppm) ne sont pas statistiquement différentes (Test de Newman-Keuls au seuil 5%).

Tableau 2

Variation des importations en Cu dans les organes caulinaires et racinaires et l'importation moyenne totale par le bananier en phase d'acclimatation.

Traitement	Importation Feuil/plant	Importation Tig/plant	Importation Rac/plant	Import Total	Répétitions
Témoin	0,09 ± 0,02c	0,05 ± 0,01c	0,06 ± 0,01b	0,20 ± 0,02b	N=10
100 ppm	0,14 ± 0,04cb	0,07 ± 0,01bc	0,77 ± 0,9b	0,99 ± 0,90b	N=10
500 ppm	0,16 ± 0,03ab	0,11 ± 0,02b	1,64 ± 0,36b	1,92 ± 0,39b	N=10
1000 ppm	0,20 ± 0,03a	0,19 ± 0,06a	7,27 ± 4,51a	7,66 ± 4,59a	N=10

Moyennes ± Ecart-types, N= nombre de répétitions. Pour chaque paramètre, les valeurs avec les mêmes lettres ne sont pas différentes après comparaison par le Test de Newman-Keuls au seuil 5%.

L'évaluation des paramètres de croissance et de développement de vitroplants de bananier sous une contrainte environnementale due au Cu

Impact de la quantité de cuivre importée par la plante sur sa croissance (taille)

Selon nos résultats, l'analyse de la variance réalisée sur la taille des vitroplants révèle un effet significatif des traitements. Les vitroplants de bananier cultivés sans enrichissement en cuivre (0 ppm) de la solution nutritive ont eu une meilleure croissance (effet hautement significatif de traitement). La réponse à la croissance varie fortement selon la concentration en Cu (traitements) (Figure 2). Les vitroplants cultivés, n'ayant pas été enrichis en Cu ont enregistré une croissance deux fois plus grande (22,3 cm de hauteur de plante). La croissance de vitroplants de bananier est considérablement inhibée en présence

à partir de 100 ppm de cuivre dans la solution nutritive (Figure 2).

Réponse de la variation périodique de croissance des vitroplants de bananier en présence du Cu

Une mesure de la taille des vitroplants a été réalisée après 2, 4, 6 et 8 semaines pour tous les traitements. De façon générale, la taille des vitroplants variait fortement selon la période et surtout selon le traitement. L'ANOVA montre et confirme un effet significatif du traitement au cuivre et du temps d'observation. La taille des vitroplants de Bananier du traitement témoin (non enrichi au Cu) est supérieure à chaque période d'observation cela pendant toute la période d'acclimatation (Figure 3).

De la même manière, nous avons mesuré le diamètre des pseudo-troncs aux mêmes périodes (Figure 4).

Le rythme de l'évolution de la croissance du diamètre du pseudo-tronc était aussi similaire à celui de la taille de plant, une différence nettement significative a été mesurée l'ANOVA réalisée à chaque période d'acclimatation montre un effet traitement et période. A partir de 4 semaines, 6 semaines, 8 semaines et même pour la moyenne

totale, le diamètre des pseudo-troncs vitroplants du témoin a été deux fois plus élevé.

Nous avons également prélevé le nombre de feuilles formées sur chaque vitroplant lors de chaque période. Aucune différence significative n'a été révélée entre les traitements sur le nombre de feuilles quelle que soit la période d'observation.

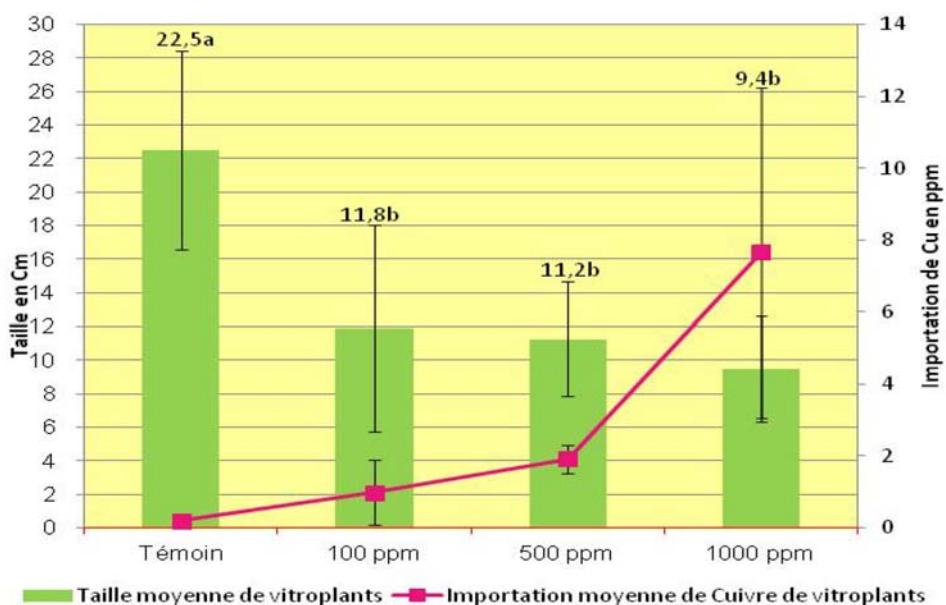


Figure 2: La taille moyenne de vitroplants et importation moyenne totale de Cu par rapport à la dose apportée au bout de 8 semaines d'acclimatation.

Les barres d'erreur sont les Écarts types. Les moyennes des traitements suivies d'une même lettre ne sont pas statistiquement différentes (Test de Newman-Keuls au seuil 5%).

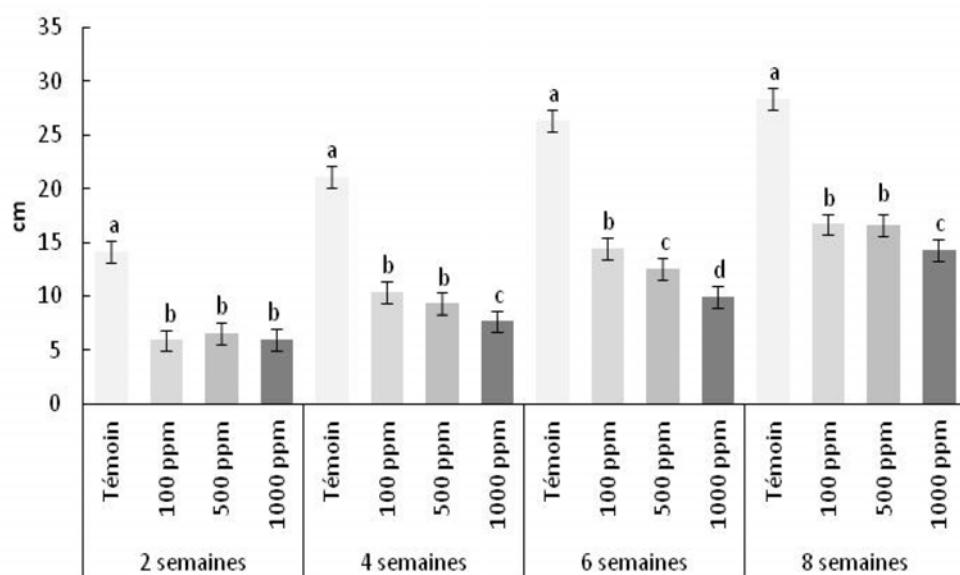


Figure 3: Évolution de la taille moyenne des vitroplants de bananier en fonction du traitement au cuivre et du temps.

Les barres d'erreur sont les Écarts types. Les moyennes (chiffres) des traitements suivies d'une même lettre ne sont pas statistiquement différentes pour une période d'observation; tandis que les moyennes surmontées par deux lettres différentes montrent qu'elles sont intermédiaires (Test de Newman-Keuls au seuil 5%).

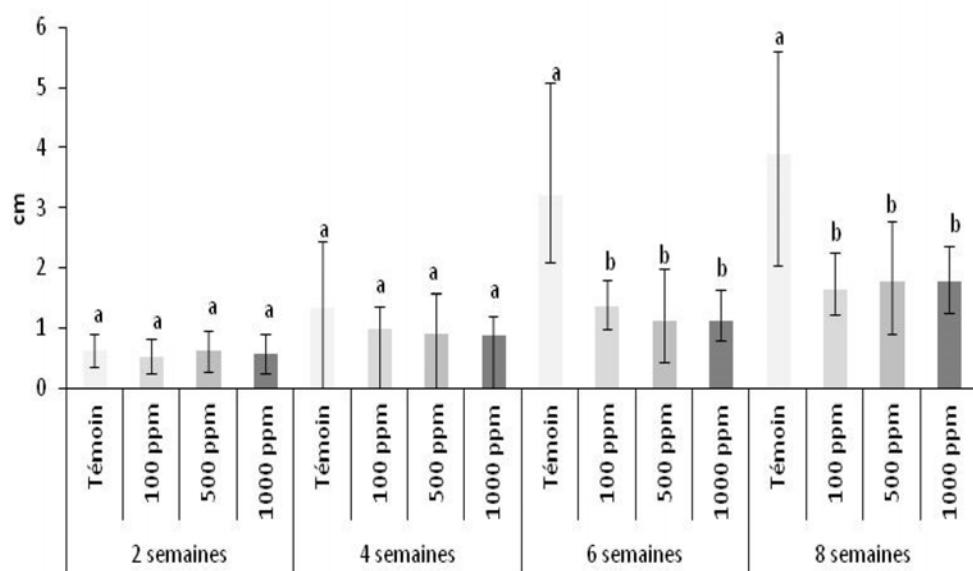


Figure 4 : Représente les variations de la croissance du diamètre du pseudo-tronc observées tous les 15 jours, pendant 60 jours.

Les barres d'erreur sont les écarts types. Les moyennes des traitements suivies d'une même lettre pour une période d'observation ne sont pas statistiquement différentes (Test de Newman-Keuls au seuil 5%).

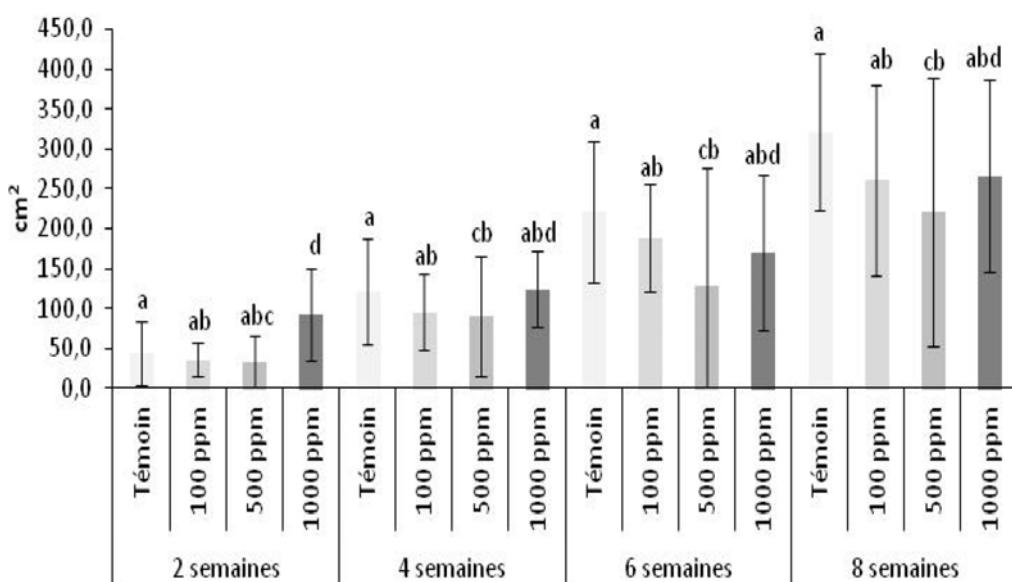


Figure 5: Variations de la surface foliaire des vitroplants sous contrainte environnementale due au cuivre à chaque période au cours d'acclimatation. Les barres d'erreur sont les Écarts types.

Les moyennes des traitements surmontées d'une même lettre à chaque 2 semaines ne sont pas statistiquement différentes (Test de Newman-Keuls au seuil 5%).

La mesure de la surface foliaire a montré des légères variations selon les traitements et selon la période. La surface foliaire était meilleure pour les vitroplants témoin à 0 ppm de CuSO₄ (Figure 5).

La biomasse des organes caulinaires, racinaires et la biomasse totale des vitroplants de bananier par traitement

L'analyse de la variance effectuée sur la biomasse des tiges, des racines ainsi que la biomasse totale, montre un effet traitement. La biomasse la plus élevée statistiquement significative est enregistrée

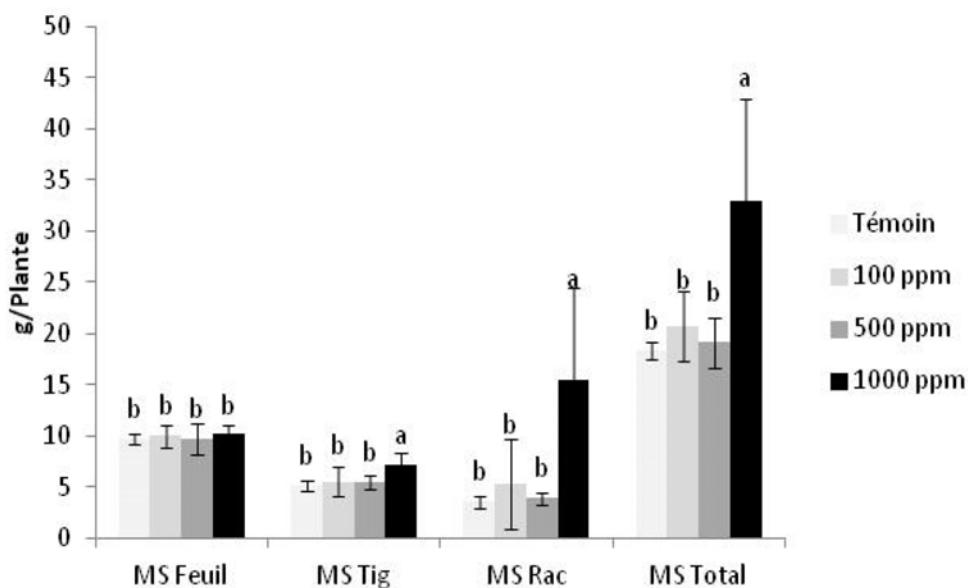


Figure 6: Variation de la biomasse des organes caulinaires et racinaires des vitroplants de bananier cultivés en hydroponique en présence des doses en Cu dans la solution nutritive. Pour chaque traitement, dix répétitions ont été réalisées.

Les barres d'erreur sont les écarts types. Les moyennes surmontées d'une même lettre pour une série (MSFeuil = matière sèche des feuilles par plant, MSTig= matière sèche du pseudo tronc, MSRac= matière sèche des racines par plant, MSTotal= matière sèche totale par plant) ne sont pas statistiquement différentes (Test de Newman-Keuls au seuil 5%).

avec le traitement à 1000 ppm de Cu (Figure 6). La réponse à la biomasse varie fortement selon la concentration en Cu (traitements). Les vitroplants issus du traitement témoin, ont une biomasse presque deux fois plus petite (18,3 g/plant) que celle obtenue chez les vitroplants cultivés en présence de 1000 ppm de Cu (32,8 g/plant). L'ANOVA de la biomasse foliaire n'a montré aucune différence entre les traitements témoins non enrichis au Cu et ceux enrichis au Cu.

Discussion

Nous avons observé un effet négatif et statistiquement significatif du traitement au cuivre sur la croissance (mesurée par la taille et le diamètre) du pseudotrone des vitroplants de bananier. Les vitroplants du traitement témoin, n'ayant pas été enrichi au Cu, ont enregistré une croissance deux fois plus grande. Ainsi, les vitroplants de bananier n'ayant pas bénéficié du jeu de la sélection naturelle en réponse à des teneurs en Cu élevées, ne tolèrent donc pas la présence de fortes concentrations en cuivre. Les traitements ont montré une inhibition de la croissance à 100, 500 et 1000 ppm Cu. Nos résultats sont en accord avec ceux obtenus par d'autres auteurs qui ont enregistré une meilleure croissance de la plantule (taille) du cultivar Bantala de bananier avec un milieu de culture contenant une faible concentration soit 0,06 ppm Cu (3). Par ailleurs, l'inhibition

significative de la croissance ainsi qu'une réduction de la teneur en eau dans les racines et les feuilles des jeunes plants de *Vigna radiata* traités avec (0-25 ppm) CuSO₄ en culture hydroponique a été également rapporté (2).

D'autres auteurs (6) ont montré que, la concentration en Mn dans le sol est souvent corrélée positivement avec la concentration en Cu dans la plante, et inversement pour le P, K, Ca et Fe. L'utilisation du substrat (terreau) contenant du manganèse, utile pour la croissance et le développement de la plante n'est bénéfique aux vitroplants de bananier que dans la mesure où les teneurs en cuivre de l'eau d'irrigation ainsi que du terreau ont été bien assainies. Par ailleurs, les résultats d'autres études ont indiqué que l'exposition au Cu induit les changements dans le métabolisme minéral, en particulier pour Fe et Zn (24).

La présence des champignons mycorhiziens favorise aussi la prise de métaux lourds (13) et pourrait influencer la teneur en Cu importée par la plante. Mais aussi entraîner une inhibition de la croissance des vitroplants de bananier au cours de l'acclimatation. Aussi, lors de la phase d'acclimatation de vitroplants de bananier en culture hydroponique, le contrôle régulier du pH pour le maintien de son niveau à plus ou moins (pH: 5,6) est nécessaire. Ceci dit, un pH au-

dessous de 5,25 entraîne une diminution de la macroporosité et de la perméabilité. En outre, l'acidification de la solution nutritive souvent constatée lors de notre essai, pouvait provoquée la diminution de l'assimilation du phosphore et du manganèse, accroître la solubilité d'ions toxiques. Ce qui pouvait ainsi entraîner la diminution de la croissance de vitroplants de bananier. Par ailleurs, pour une meilleure croissance de vitroplants de bananier, l'activité du système racinaire et du système foliaire devant être optimale, il importe que la plante soit elle-même dans les conditions écologiques les plus appropriées. Le respect de certains équilibres entre éléments minéraux est essentiel (11).

Les résultats de notre étude montrent clairement que la concentration en Cu dans les feuilles est faible, aucune différence de capacité d'accumuler le cuivre dans les feuilles n'a été relevée entre les traitements. Ces résultats sont en parfait accord avec ceux obtenus par Lopez et Solis (15) qui stipulent que les bananiers poussant sur un sol à fortes concentrations en cuivre ont un contenu en cet élément qui est plus faible dans les feuilles malgré le fort taux de cuivre au niveau racinaire. Contrairement pour *Phragmites australis*, où les valeurs des teneurs en cuivre dans les feuilles sont très élevées selon la teneur de la source de pollution et diminuent avec l'éloignement de la source de pollution (13). Nos résultats montrent que les vitroplants de bananier n'accumulent pas le cuivre dans les feuilles. On parle d'accumulation lorsque des concentrations importantes de cuivre sont réelles dans les tissus caulinaires mais aussi lorsque les concentrations dans les organes caulinaires sont supérieures à celles du sol. L'accumulation s'accompagne alors d'une détoxicification des métaux par séquestration dans les vacuoles des feuilles (7).

Nos résultats montrent une différence significative entre les traitements en ce qui concerne la surface foliaire. Elle pourrait être associée à une variation due à la réponse des vitroplants de bananier au stress environnemental (11). Une observation similaire a été faite par Bandita et Nayak (3) stipulant que le niveau plus élevé de Cu (6,4 ppm), a un effet毒ique à l'égard du retard de croissance des feuilles observé en culture *in vitro* du cultivar Bantala. Elle pouvait être aussi due à une forte accumulation de cuivre dans le système racinaire. Les racines étant la charnière entre la photosynthèse et la protéosynthèse (11). La diminution de pigments photosynthétiques pourrait également expliquer la faible croissance de la surface foliaire de bananier (3). Il a été observé une diminution de pigments photosynthétiques chez le

cultivar Bantala en présence des concentrations de Cu élevées dans le milieu de culture (3).

Nos résultats sur la teneur tout comme l'importation en cuivre dans les racines montrent une différence hautement significative. Les teneurs ainsi que les importations en cuivre sont nettement plus élevées dans les racines des vitroplants de bananiers alors qu'elles sont faibles dans les tiges et les feuilles. Ces résultats sont en accord avec les conclusions d'autres auteurs (12, 20). Des résultats similaires ont également été obtenus chez *Phragmites australis* (28) où les 80% des métaux absorbés resteraient localisés dans les organes racinaires. On observe l'absence chez le bananier de nombreux processus moléculaires impliquant l'accumulation des métaux, à savoir la capacité à mobiliser les métaux du sol pour les pénétrer dans les racines, en emmagasinant une partie dans les vacuoles des cellules racinaires, en transférant une autre partie des racines vers les parties aériennes à travers le xylème d'une part; mais également à les distribuer vers les organes aériens jusqu'aux vacuoles des cellules foliaires. Contrairement à l'étude menée par Bandita et Nayak (3), suggérant que les vitroplants du cultivar Bantala sont tolérant envers les stress métalliques, les résultats de notre étude grâce au dosage des teneurs en Cu dans différents organes de vitroplants de bananier ont mis en évidence l'incapacité d'accumuler et le manque de mécanismes de tolérance des concentrations élevées de Cu chez le bananier (FHIA-23). Cependant, les végétaux tolérants au cuivre absorbent les métaux mais limitent le transport vers les organes caulinaires en séquestrant les métaux dans les tissus racinaires (30) alors que les résultats de notre étude montrent tout de même le transfert de Cu des racines vers les tiges et les feuilles malgré sa faible concentration dans les organes caulinaires. Néanmoins, l'accumulation des concentrations élevées en Cu dans les racines observée en culture hydroponique peut se produire différemment dans des conditions écologiques particulières, qui ne se réalisent pas en culture expérimentale (6). Il est également connu la stratégie typique des métallophytes exclueurs de métaux selon laquelle, la relation suggère que le mécanisme de tolérance au cuivre empêcherait la translocation du Cu dans les feuilles chez ces espèces sauvages dont: *Silene vulgaris* (26), *Esholtzia splendens* (29), *Haumaniastrum katangense*.

La biomasse des racines est la plus élevée avec le traitement à 1000 ppm de Cu. La réponse à la biomasse varie fortement selon la concentration en Cu (traitements). Les vitroplants issus du traitement témoin, ont une biomasse presque deux fois plus

petite (18,3 g/plant) que celle obtenue chez les vitroplants cultivés en présence de 1000 ppm de Cu (32,8 g/plant). Par ailleurs, les résultats similaires ont été obtenus par Faucon et collaborateurs (7) qui ont enregistré une forte diminution de biomasse dans la population non-métallique en réponse au Cu. Au contraire, trois populations métalliques sur quatre montrent une augmentation significative de la biomasse en réponse au Cu.

Toutes les parties aériennes et souterraines de la plante (à l'exception de la feuille) ont montré une augmentation significative de la biomasse à 1000 ppm de CuSO₄, alors que la croissance (taille) des vitroplants de bananier diminuait fortement à partir de 100 ppm de CuSO₄. Cette observation est appuyée par les résultats de Chipeng et collaborateurs (4) où aucune population métallique de *C. tenuis* et de *C. perennis* ne montre une diminution de la biomasse à 0,60 ppm de CuSO₄. Dans les mêmes conditions expérimentales, des espèces réputées non tolérantes au cuivre montrent une diminution de la croissance racinaire dès 0,25 ppm de CuSO₄ chez *Arabidopsis thaliana* (Lequeux résultats non publiés) et dès 0,05 ppm chez *Nicotiana*. A l'inverse, les résultats de Macnair *et al.* (16) sur le bananier montrent que les cuprophytées absolues, dont la distribution est strictement liée aux sols cuprifères, pourraient être incapables de coloniser les sols non-métallifères.

La croissance et le développement en phase d'acclimatation des vitroplants de bananier, sont absolument liés à la bonne conduite des travaux d'assainissement environnemental. Malgré que ces vitroplants de bananier soient sains, homogènes et vigoureux, ils ne seront pas capables d'assurer une meilleure croissance dans un environnement non assaini au Cu. Nos résultats montrent l'effet inhibiteur des concentrations élevées de Cu sous forme de CuSO₄ sur la croissance normale et le développement de vitroplants de l'hybride FHIA-23 de bananier lors de l'acclimatation. Cependant, dans une étude réalisée en culture *in vitro* de bananier, d'autres auteurs ont enregistré un bon résultat avec le chlorure de cuivre qu'avec le sulfate de cuivre sur la croissance des pousses et d'autres paramètres testés (20).

Notre étude d'impact des concentrations en Cu sur la croissance de l'hybride FHIA-23 de bananier en culture hydroponique en phase d'acclimatation est la première. Par apport aux études d'effet des concentrations de Cu menées en culture *in vitro* de bananier par plusieurs auteurs, nous avons réalisé des analyses chimiques de dosage de Cu contenu

dans les différents organes de bananier. Sur base des résultats de notre étude, il peut être conclu que le bananier est dépourvu des processus d'accumulation et des mécanismes de tolérance au Cu. Nos données indiquant l'inhibition de la croissance (taille, diamètre du pseudo-tronc, et surface foliaire) seront certainement utiles pour les chercheurs qui utilisent le Cu comme inducteur de la rhizogénèse en culture *in vitro*. La qualité physiologique et morphologique de vitroplants de l'hybride FHIA-23 cultivés en culture hydroponique en présence des différentes concentrations croissantes en Cu synchronisées dans un milieu de culture chimiquement défini devrait fournir un système expérimental idéal. Par ailleurs, l'utilisation de vitroplants enracinés en culture hydroponique a permis d'appliquer le Cu à des concentrations 1000x plus élevées comparativement aux autres études réalisées en culture *in vitro*, utilisant l'explant ou méristème de 1-2 cm de long contre 0,5 cm de diamètre. Aussi, ces concentrations 1000x élevées sont appliquées en référence aux teneurs en Cu dans le sol de la forêt claire 116-220 ppm, en ceinture de savane arbustive 200-800 ppm et celui de sol contaminé de milieu périurbain de Lubumbashi (Gécamines/Penga Penga/Lubumbashi) 30000 ppm où est prévu l'introduction de l'hybride FHIA-23 (1,17, 22).

En plus, la biomasse des différents organes de vitroplants récoltée à la fin de l'acclimatation en culture hydroponique est représentative pour réaliser des analyses chimiques de dosage de Cu par apport la biomasse obtenue au bout d'une phase de culture *in vitro*. Nous suggérons que d'autres études puissent tester une large gamme de macro-ou micronutriments (Cu) et des différentes concentrations sur la croissance et le développement de bananier en culture hydroponique.

Conclusion

Nous avons mis en évidence des concentrations en cuivre élevées dans les racines et faibles dans les parties aériennes suite à l'enrichissement du milieu nutritif en cuivre. De la même manière, suite aux doses croissantes de cuivre, les vitroplants de bananier ont montré une croissance plus faible, mesurée par la taille et le diamètre des pseudo-troncs. Une différence nettement significative de croissance était réelle entre les vitroplants cultivés dans une solution nutritive non enrichie au cuivre et ceux ayant des concentrations supérieures à 100 ppm. Les résultats obtenus dans cette étude sont significatifs et montrent de façon claire que la présence excessive de cuivre à partir de 100 ppm inhibe la croissance des vitroplants de bananier.

L'acclimatation de vitroplants de bananier nécessite un très bon assainissement en Cu de l'eau d'irrigation et du sol pendant cette phase.

Remerciements

Les auteurs remercient la CUD (Commission Universitaire au Développement) et le CARAH asbl (Centre pour l'agronomie et l'agro-industrie de la province de Hainaut) en Belgique.

Références bibliographiques

1. Andres L., 2008, *Etude des contaminations métalliques sur les propriétés des sols autour de Lubumbashi*. Mémoire inédit, Faculté des Sciences Agronomiques de Gembloux, Belgium, 77 p.
2. Azmat R. & Khan N., 2011, Nitrogen metabolism as a bio indicator of Cu stress in *Vigna radiata*. *Pak. J. Bot.*, **43**, 1, 515-520.
3. Bandita D. & Nayak P.K., 2011, Study of copper phytotoxicity on in vitro culture of *Musa acuminata* cv. 'Bantala'. *J of Agricul. Biotechnol. and Sustainable Dev.*, **3**(8), 136-140
4. Chipeng K.F., Hermans C., Colinet G., Faucon M.P., Ngongo Luhembwe M., Meerts P. & Verbruggen N., 2009, Copper tolerance in the cuprophyte *Haumaniastrum katangense* (S. Moore) P.A. Duvign. & Plancke. Accepté dans *Plant and Soil*.
5. F.A.O., 2009, Joint meeting of the fourth session of the sub-group on bananas and the fifth session of the sub-group on tropical fruits. CCP: BA/TF 09/CRS 4. p., **14**, 1-10.
6. Faucon M.P., Colinet G., Ngongo Luhembwe M., Verbruggen N. & Meerts P., 2009a, Soil influence on Cu and Co uptake and plant size in the cuprophytes *Crepidorhopalon perennis* and *C. tenuis* (Scrophulariaceae) in SC Africa. *Plant Soil*, **317**, 201-212.
7. Faucon M.P., Parmentier I., Colinet G., Mahy G., Ngongo Luhembwe M. & Meerts P., 2009b, May rare metallophytes benefit from disturbed soils following mining activity? The case of the *Crepidorhopalon tenuis* in Katanga (DR Congo). *Restor. Ecol.*, in press.
8. Fomina M.A., Alexander I.J. & Gadd G.M., 2005, Solubilization of toxic metal minerals and metal tolerance of mycorrhizal fungi. *Soil Biol. Biochem.*, **37**, 851-866.
9. Katemo Manda B., Colinet G., André L., Chocha Manda A., Marquet J.-P. & Micha J.-C., 2010, Evaluation de la contamination de la chaîne trophique par les éléments traces (Cu, Co, Zn, Pb, Cd, U, V et As) dans le bassin de la Lufira supérieure (Katanga /RDCongo). *Tropicultura*, **28**(4), 246-252.
10. Joulli H. & Ezzedine EF., 2003, Changes in antioxidant and lignifying enzyme activities in sunflower roots (*Helianthus annuus* L.) stressed with copper excess. *C. R. Biol.*, **326**, 639-644.
11. Lassoudière A., 2007, Le bananier et sa culture. Editions Quae, RD 10, 78026 Versailles Cedex, France, **283**, 83-87.
12. Lidon FC., Ramalho J. & Henriques FS., 1993, Copper inhibition of rice photosynthesis. *J. Plant Physiol.*, **142**, 12-17.
13. Liu Y., Christie P., Zhang J. & Li X., 2009, Growth and arsenic uptake by Chinese brake fern inoculated with arbuscular mycorrhizal fungus. *Environmental Botany*. In press.
14. Loeillet D., 2005, Le marché international de la banane: entre révolution et évolution. *Fruitrop*, **129**, 2-19.
15. Lopez M.A. & Solis B.P., 1992, Acumulación de cobre en suelos dedicados al cultivo de banano en el Pacífico Sur de Costa Rica. I. Estado actual de las plantaciones. *Corbana Revista (CRI)*, **16**(38), 9-19.
16. Macnair M.R., Tilstone G.H. & Smith S.E., 2000, The genetics of metal tolerance and accumulation in higher plants. In: *Phytoremediation of contaminated soil and water* (eds. Terry N., Banuelos G., Vangronsveld J.), CRC Press, Boca Raton, 235-250.
17. Malaisse F., 1997, *Se nourrir en forêt claire africaine: approche écologique et nutritionnelle*. Les presses agronomiques de Gembloux-CTA. 384 p.
18. Marschner H., Romheld V. & Kissel M., 1986, Different strategies in higher plants in mobilization and uptake of iron. *J. Plant Nutr.*, **3**, 905-921.
19. Mobambo K.N., 2002, Stratégie de gestion intégrée des cultures pour la production de bananier plantain et le contrôle de la cercosporiose noire en R.D. Congo. *INFO Musa*, **11**, 1, 3-6.
20. Moya J.L., Ros R. & Picazo I., 1993, Influence of cadmium and nickel on growth, net photosynthesis and carbohydrate distribution in rice plants. *Photosynth. Res.*, **36**, 75-80.
21. Nassar A.H., 2004, Effect of some copper compounds on rhizogenesis of micropropagated banana shoots. *Int. J. Agri. Biol.*, **1560-8530**: 06-3-552-556.
22. Ngoy Schustha M., 2010, *Phytostabilisation des sols contaminés en métaux lourds par l'activité minière au Katanga «Cas du quartier Gécamines/Penga Penga contaminés en métaux par les émissions de la fonderie de cuivre de l'Usine Gécamines/Lubumbashi»*. Thèse de doctorat inédite, Université Lubumbashi, p. 218, 12-58.
23. Reeves R.D. & Baker A.J.M., 2000, Metal-accumulating plants. In: *Raskin I and Ensley BD* (eds) *Phytoremediation of toxic metals*. Wiley, New York, 193-221.
24. Reboreda F., 1994, Interaction between copper and zinc and their uptake by *Halimione portulacoides* L. Aellen. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, **52**, 598-605.
25. Sarah J.L., 1996, Parasites et ravageurs de *Musa*, Fiche technique n°1.
26. Schat H., Kuiper E., Ten Bookum W.M. & Vooijs R., 1993, A general model for the genetic control of copper tolerance in *Silene vulgaris*: evidence from crosses between plants from different tolerant populations. *Heredity*, **70**, 142-147.
27. SNSA, 1995, Rapports annuels des statistiques agricoles. Service National des Statistiques Agricoles. Ministère de l'Agriculture, Kinshasa.
28. Southchak B., Nakano K., Nomura M., Chiba N. & Nishimura O., 2006, *Phragmites australis*, a novel biosorbent for the removal of heavy metal from aqueous solution. *Water Res.*, **40**, 12, 2295-2302.
29. Weng G., Wu L., Wang Z., Luo Y. & Christie P., 2005, Copper uptake by four *Elsholtzia* ecotypes supplied with varying levels of copper in solution culture. *Environ. Int.*, **31**, 880-884.
30. Verbruggen N., Hermans C. & Schat H., 2009, Molecular mechanisms of metal hyperaccumulation in plants. *New Phytol.*, **181**, 759-776.

K.M. Mazinga, Congolais, DEA Production Végétale, Ingénieur Agronome. Assistant de recherche à l' Université de Lubumbashi,Laboratoire de culture in vitro des plantes, B.P 1825, Lubumbashi, RDC. michelmaz2003@yahoo.fr.

M. Van Koninckxloo, Belge, Docteur en Sciences Agronomiques, Ingénieur Agronome. Directeur scientifique du Centre pour l'agronomie et l'agro-industrie de la Province de Hainaut (CARAH asbl). Inspecteur général de l'enseignement supérieur de la Province de Hainaut , rue Paul Pastur 11, 7800 Ath, Belgique.

M. Godoy Jara, Chilien, Docteur en Sciences. Maître Assistant, Haute Ecole Provinciale de Hainaut Condorcet. Directeur du laboratoire de culture in vitro du centre de Recherches Centre pour l'agronomie et l'agro-industrie de la Province de Hainaut (CARAH asbl), rue Paul Pastur 11, 7800 7800 Ath, Belgique.

L. Baboy Longanza, Belge, Docteur en Sciences Agronomiques et Ingénierie Biologique (ULB); DESS - Défense des Végétaux (UCL) et Bio-Ingénieur (Ingénieur Agronome - UNAZA-IFA). Professeur Associé à l'Université de Lubumbashi, RD Congo (Faculté des Sciences Agronomiques, B.P 1825, Lubumbashi, RDC) et Collaborateur Scientifique à l'Université Libre de Bruxelles (Service d'Écologie du Paysage et Systèmes de Production Végétale, Avenue F.D. Roosevelt 50, CP 169, B-1050 Bruxelles, Belgique).

J. Louvieux, Belge. Ingénieur Agronome. Responsable d'expérimentations en phytotechnie au Centre pour l'agronomie et l'agro-industrie de la Province de Hainaut (CARAH asbl). Maître Assistant à la Haute Ecole Provinciale de Hainaut Condorcet/ rue Paul Pastur 11, 7800 Ath, Belgique.

Resources Management for Income Optimization in Smallholder Food Crop Farms in South-Western Nigeria

O.R. Adeniyi^{1*} & T.G. Oyewole²

Keywords: Better management plan- Income optimization- Small-holder farms- Dedicated active government action programmes- Nigeria

Summary

Agricultural mobilization based purely on resources availability factor alone may falter due to inadequate attention that is hitherto paid to other complementary factors. Empirical evidence from the current study conducted on typical small-holder farms in South-western Nigeria has shown that while the availability of the required input resources were essential in raising income on small-holder farms, resources management choice factor was the most relatively crucial. With better choice of management and careful selection of enterprises, the current level of available resources at the disposal of small-holder farmers in the study area was adequate to make them economically viable and improve their potential savings. Income realizable with 'better' management plan option was N 359,761.79 per hectare while ₦ 164,213.88 per hectare was earned with the current level of resources use and enterprise combination. The better management plan recommended the cultivation of cassava/yam (0.59 ha.), maize/cassava (0.34 ha.), Banana-plantain (0.26 ha) and maize/cocoyam (0.22 ha) on 1.42 hectares of land instead of the current 2.37 hectares (67% increase) cultivated mostly to sole cropping. However, the additional human and financial requirements of the proposed better management plan called for dedicated and active government action programmes in form of provision of most input needs of farmers at subsidized rates, provision of extension and training in modern farm management and organization techniques and establishment of advisory service centers to monitor and supervise the use of resource inputs on farms.

Résumé

Gestion des ressources pour l'optimisation du revenu des exploitations agricoles vivrières du sud-ouest du Nigeria

La mobilisation de l'agriculture purement basée sur le seul facteur des ressources appropriées peut faillir à cause du focus incertain accordé à d'autres facteurs complémentaires. La donnée empirique de notre étude en cours menée sur les petits propriétaires des champs au Sud-ouest du Nigeria montre que lorsque nous nous focalisons sur des ressources de base pour le relèvement du revenu chez ces derniers, le choix du facteur gestion des ressources est relativement important. Avec un choix excellent de la gestion et une sélection acquittée des entreprises, le degré de la mise en disposition des ressources appropriées aux petits propriétaires des champs dans notre domaine d'étude est suffisant pour les rendre économiquement autosuffisants et améliorer leur épargne potentielle. Le revenu qu'on pourrait réalisé avec une option de plan de « meilleure » gestion est de N 359.761,79 par hectare tandis que celui généré par le degré nouveau d'utilisation des ressources et la combinaison de l'entreprise est de ₦ 164.213,88 par hectare. Le meilleur plan de gestion recommande la culture du manioc/igname (0,59 ha), maïs/manioc (0,34 ha), banane/plantain (0,26 ha) et maïs/taro (0,22 ha) sur un terrain de 1,42 hectares contre l'actuel 2,37 hectares (67% de plus) sur lesquels sont cultivés uniquement les produits homogènes. Néanmoins, en dépit des demandes humaines et financières du meilleur plan de gestion s'ajoutent les programmes d'action actifs et sincères du gouvernement en forme de mise en place des fonds de démarrage aux paysans à des prix subventionnels, l'approvisionnement de formation avancée sur la gestion du travail champêtre moderne et l'organisation technique et établissement des centres de service consultatif en vue de contrôler et superviser l'application des ressources de base dans les champs.

1 Bowen University, Department of Agricultural Economics and Extension, Faculty of Agriculture, Iwo, Osun State, Nigeria, West Africa.

2 Bowen University, Faculty of Social and Management Sciences, Iwo, Osun State, Nigeria.

* Corresponding Author: E-mail: adeniyiwamiwa2008@yahoo.com, Tel: 08035810932

Received on 3.7.12 and accepted for publication on 25.10.12.

Note: ₦ means Naira (Nigerian currency); \$1(one dollar) is equivalent to ₦ 150 as at the time of this study.

Introduction

The higher the realizable income from an investment, *ceteris paribus*, the greater could be the potentials for savings, which may in turn be needed for further investments. Investment as used in this context, refers to commitment of resources made in the hope of realizing benefits that are expected to occur over a period of time in the future. In Nigeria, agriculture is the most important industry (1, 14). The limited resources available to most investors in the sector, however, make them to be very careful in deciding what particular venture to undertake in order to maximize profit, minimize loss and/or avert risks (18). A policy objective in most developing economies is to achieve overall economic development through growth in agricultural production and productivity. An important variable used very often to achieve the policy goal is subsidized cost of capital either in the form of lowering the interest on agricultural loans or subsidizing the cost on inputs in order to enhance farm income. Increased farm income would enable greater re-investment in agricultural production and facilitate overall economic development of a nation. There are two schools of thought on the role of credit in agricultural development. One of them argues that non availability of credit on suitable terms is a major bottleneck on agricultural development because adoption of modern farm practices involves the purchase of improved inputs. Few small-scale farmers have the financial capabilities to make such purchases and the traditional sources of credit cannot supply the needed credit on acceptable terms. In line with this thought, some authors (4, 12, 13, 20) have asserted that the decision of farmers to expand production and re-invest their resources was based mainly on the adequacy of credit which served as the exclusive pillar on which development could be placed. The other school holds the view that lack of credit per se does not limit agricultural modernization but rather the absence of other "essentials" necessary for development. It argues that if these essentials are available, the needed credit will be forthcoming from financial resources already available at the village level. Thus, the view that credit is non-necessary critical factor and is just but one of the many important input resources vital for agricultural development is eminently supported (15, 21). According to them, evidence abounds to confirm that some farmers performed better than others, given the same level of credit opportunities. Although each view point has its merits and demerits depending on its assumptions, emphasis and stage of development, it should be noted that

extending credit to small-holder farmers who do not have genuinely profitable uses for credit is a disservice.

According to Miller, such farmers acquire debt obligations without any concomitant increase in income with which to repay the credit while the lending institutions may be burdened with collection problems (16). However, it was also noted that even where profitable technology existed and farmers were convinced of its value, its adoption by small farmers may be prevented by lack of credit to buy improved inputs needed (3). It is therefore necessary to identify the factor determinants of economic performance of farmers using varying levels of production resources. Thus, this paper examines the relative importance of management of credit and other resource factors in the optimization of income on small-holder farms in South-Western Nigeria. The specific objectives are:

- (i) to estimate costs and returns of smallholder food crop farmers with existing levels of the resource management and farm practices;
- (ii) to determine the conditions for attaining optimum level of income by the farmers at the current level of resource availability;
- (iii) to identify the major income-enhancing resource management factors under optimum resource utilization by the farmers; and
- (iv) to advise on policy implications based on the results of the analyses.

Materials and Methods

The data analyzed for this study were obtained from 200 respondents who co-operated fully out of the 225 samples randomly taken from the 2,265 small-holder food crop farmers participating in the organized and sponsored farm groups of Isoya Rural Development Projects (IRDP) of Obafemi Awolowo University, Ile-Ife. Data Collection was done through farm survey using questionnaire schedule administered in the 2009 and 2010 cropping seasons to revalidate the data with those obtained from similar surveys previously carried out between 1987 and 1999 in the study area. IRDP is an outreach project of the Faculty of Agriculture, Obafemi Awolowo University, Ile-Ife, covering 13 small villages privileged with a lot of extension input since the last 35 years. Information collected included those on production resources availability and use, income, credit availability and use, yields and prices.

Budgeting was used to estimate the levels of income under the existing system of resource use and enterprise management and the Linear Programming (LP) technique was applied to examine the optimality conditions for the resources used as well as the incomes due to farmers. In both cases, a representative farm was chosen to possess the characteristics of a typical average enterprise farm. Such farms would have:

- (a) a land area of 2.37 hectares, equivalent to the average farm size per farmer,
- (b) an average amount of ₦ 250,000 capital for operating the specified farm size,
- (c) an average labor force of 320 man days available yearly for the farming household and;
- (d) a minimum quantity of each food crop required per farming household (see table 1).

For the budgetary analysis model, average net returns were obtained by subtracting the average expenditure from the average returns per hectare for each enterprise while for the LP model, gross

margins (GM) of the various enterprises (sole and mixed) were specified as the objective functions to be maximized subject to the constraining resource limits of rain-fed land, family and hired labour, owned and borrowed capital and minimum household consumption of each of the crops cultivated by households as presented in table 1.

After using the basic data to obtain the real farm optimal solutions (LP-advised practice), some variations in the input-output coefficients were postulated and several re-runs were carried out in accordance with the parametric programming approach to obtain the sensitivity of gross margins to the postulated changes.

This was to investigate the effects of changes in capital and/or other resources on the potential farm incomes. Results of both models were compared to investigate the effects of resources management and, that of the parametric programming served a pointer to the influence of variations in input factors on the direction of realizable income on small-holder farms.

Results and Discussion

Socio-economic characteristics of households in the study area

Figure 1 gives a summary of households' sources of funds for food crops farming and the use to which such funds are put in the study area. The main sources of funds for small-holder food crop farmers in the study area were personal savings (66%), and borrowed funds from Co-operative farm groups (20%), Friends and relatives (7.5%), Local

Table 1
Minimum Consumption Requirements of Crops by Households.

Crop	Number of Farmers	Total Output Produced (tons)	Proportion Consumed	Amount Consumed (tons)
Maize	186	266,3	0,378	0,347
Cassava	183	1.140,09	0,2	1,246
Yam	104	362,45	0,466	1,638
Cocoyam	88	167,37	0,518	0,989
Banana-Plantain	16	34,03	0,596	1,31

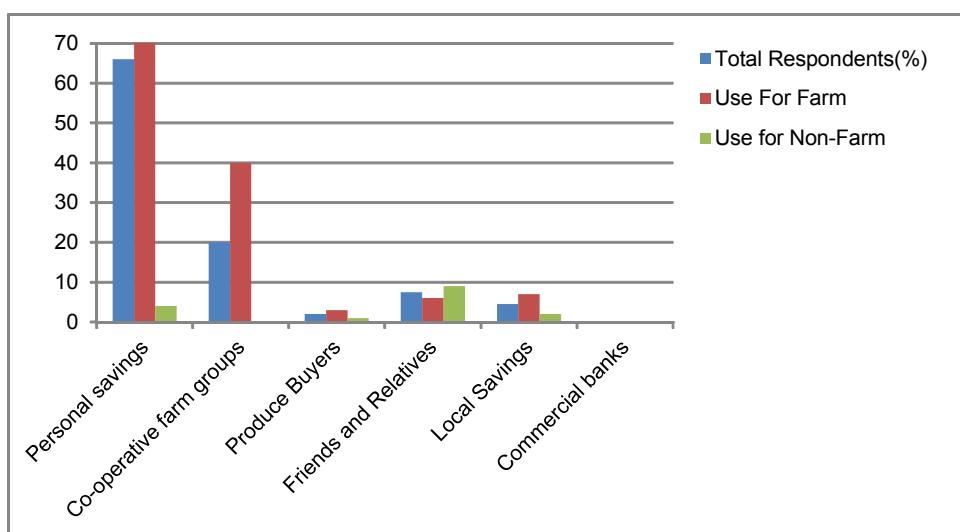


Figure 1: Distribution of Respondents by Ownership of Funds used on Farms.

savings group (4.5%) and Produce buyers (2%). Farmers did not get credit from Commercial Banks which are the formal lending institutions. One hundred and eighty four (92%) of the sampled farmers used such funds for farming purposes while the remaining 16 farmers (8%) used them for purposes which included health care (4%), school fees for children (2.5%) and feeding expenses (1.5%).

Budgeting and Basic Linear Programming Results

Tables 2 and 3 present the results obtained from analyses on Budgetary and Linear Programming techniques respectively.

As shown in table 2, the maximum farm income realized with the current resource management

practice was ₦ 389,186.89 which required the use of 2.37 hectares of land, 197.41 man-days of labor and ₦ 240,280.58 out of pocket operating expenses.

In order of importance, the most income enhancing enterprise combinations on per hectare basis were maize/cassava/yam, banana-plantain and cassava/yam whose calculated gross margins were ₦ 446,505; ₦ 420,250 and ₦ 366,305 respectively, while the mostly preferred practice by farmers were sole maize and sole cassava enterprises where 33.33 percent (0.79 hectare) and 19.83 percent (0.47 hectare) of total land allocation were devoted respectively. The size of land used for the identified income-enhancing enterprises were 0.06 hectare (2.53%), 0.05 hectare (2.11%) and 0.05 hectare (2.11%) respectively.

Table 2
Budgeting Plan (Existing Practice) for the Small-holder Food Crop Farmers.

Available Enterprise	Analysis per Hectare				Existing Practice		
	Labor Requirement	Operating Expenses	Gross Margin	Farm Size cultivated (ha)	Labor Requirement	Operating Expenses	Gross Margin Farm Income
	(₦)	(₦)			(₦)	(₦)	(₦)
Maize (Mz)	53	53.832,50	130.720,00	0,79	41,87	42.527,68	103.268,80
Cassava (Css)	71	67.782,50	117.022,50	0,47	33,37	31.857,78	55.000,58
Yam (Ym)	128	310.957,50	249.700,00	0,19	24,32	59.081,93	47.443,00
Cocoyam (Ccym)	115	102.270,00	125.532,50	0,11	12,65	11.249,70	13.808,58
Banana/Plantain	203	250.707,50	420.250,00	0,05	10,15	12.535,38	21.012,50
Mz/Css	80	170.576,65	430.273,30	0,03	2,4	5.117,30	12.908,20
Mz/Ym	127	249.515,00	497.801,20	0,04	5,08	9.980,60	19.912,05
Mz/Ccym	74	81.082,50	213.505,00	0,33	24,42	26.757,23	70.456,65
Css/Ym	137	172.832,60	366.305,00	0,05	6,85	8.641,63	18.315,25
Css/Ccym	96	94.770,00	189.927,50	0,17	16,32	16.110,90	32.287,68
Ym/Ccym	134	217.427,50	343.765,00	0,02	4,68	4.348,55	6.875,30
Mz/Css/Ym	154	201.115,00	446.505,00	0,06	10,24	12.066,90	26.790,30
Mz/Css/Ccym	99	129.645,00	248.707,50	0,04	4,96	5.185,80	9.948,30
Total/Farm	-	-	-	2,37	197,41	240.280,58	421.027,19
Analysis/hectare	-	-	-	-			389.186,89
							177.648,60
							164.213,88

Table 3
Optimum/Basic Plan (L P –Advised Practice) for the Small-holder Food Crop Farmers.

Enterprise Combination Recommended	Size of Farm Advised (ha)	Labour Requirements (mandays)	Operating Expenses (₦)	Gross Margin (₦)	Farm Income (₦)
Banana – Plantain	0,26	54,34	63.788,25	109.265,10	106.871,74
Maize/Cassava	0,23	17	17.456,40	46.971,10	44.954,48
Cassava/Yam	0,59	80,82	99.787,85	216.119,94	210.695,06
Maize/Cassava	0,34	52,36	72.342,50	151.471,70	148.340,46
Total/Farm	1,42	204,52	253.375,00	523.827,75	510.861,74
Analysis/hectare	-	-	-	368.892,78	359.761,79

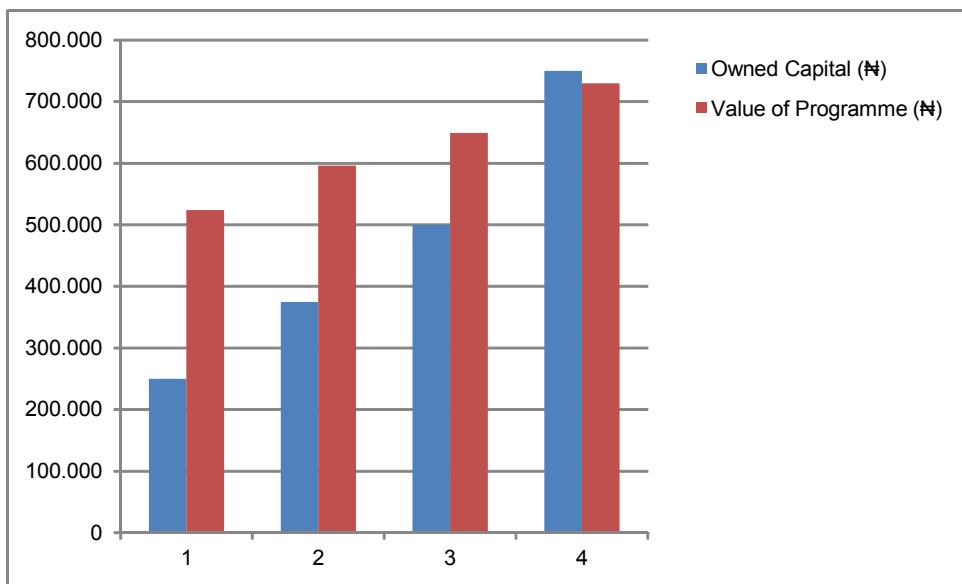


Figure 2: Alternative Plan I-Comparison of Optimum Farm income when owned capital is parametricised in the basic plan.

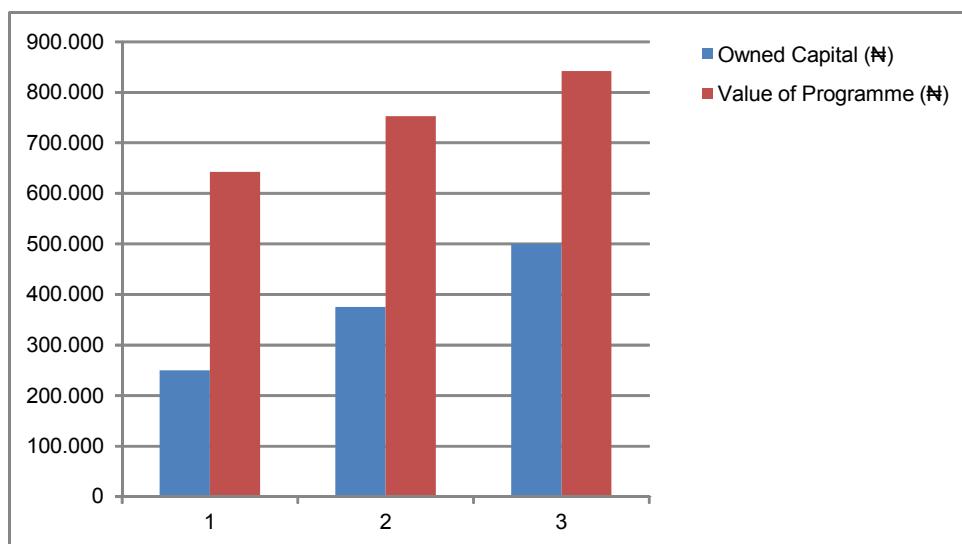


Figure 3: Alternative Plan III-Comparison of Optimum Farm income when Family Labor is parametricised in Alternative Plan I.

The observed preference for sole and less income-enhancing crop enterprises could be explained in terms of the peasant farmers' goal of satisfaction of subsistence (11). While maize is a crop that bridges the "hungry gap" being the first crop usually to be harvested yearly in the study area, cassava has become a staple food over the years due to the ever-increasing prices of other supplementary bulky starch foods like yam and rice.

The Linear Programming results (Table 3) showed that given the present level of available resources, the optimal conditions were 1.42 hectares of land, 204.52 man-days of labor and operating expenses ₦ 253,375. With an income of ₦ 510,861.74 there was an increase of ₦ 121,674.85 (31.26%) above

the income realizable with the current management practices.

The optimal enterprise combinations included in order of importance cassava/ yam, maize/-cassava/yam, banana-plantain and maize/cocoyam where 0.59 hectare (42%), 0.34 hectare (24%), 0.26 hectare (18%) and 0.23 hectare (16%) of the 1.42 hectares of land were devoted respectively. On per hectare basis, the LP- advised plan gave a farm income of N 359,761.79 which is an increase of 119 percent over N 164,213.88 realized with the current resource management practice.

As observed, the average farm income obtained from the L.P. model was greater than that obtained

from budgetary analysis. The L.P. method evolved maximum income management practices while the budgetary analysis approach indicated maximum income realized with the existing resource management, which was not based entirely on income maximizing objective. These differences in income in the two models result from differences in resource use management, choice of enterprises and their combinations.

Results of Parametric Programming

All the three basic variables (land, family labor and owned capital) were parametricised. Land area was increased from 2.37 hectare to 3.56 hectares to reflect the true arable crop land situation of about 4 hectares per farmer in the study area. Annual family labor was increased from 320 to 480 man-days, representing a 50 percent increase, to eliminate some of the idle manpower resources and owned capital was increased by 50, 100, and 200 percent of the current level to investigate the effects of improvement in the levels of credit availability. These modifications were made to the original basic matrix to model out the alternative plans which would be used to investigate the effects of the three basic variables individually and/or collectively on farming income. The results are as presented in the alternative plans discussed below.

(i) Alternative Plan I

The results of the analysis carried out with the adjusted matrix where owned capital was varied between ₦ 250, 000 to ₦ 750, 000 is shown in figure 2.

An increase in capital resources resulted in increase in optimum gross margin (consequently farm income), the increase being ₦ 72,400 for a 50 percent increase in capital, ₦ 125,242.95 for 100 percent increase and ₦ 205,695.80 for a 200 percent increase. The same combination of enterprises as in the basic plan entered the programme in all the plans though at different values. The observed increase in revenue was due to utilizing land resources that were idle when capital constrained production. However, as expected, the Marginal Value Productivities of capital decreased with increasing capital supply.

(ii) Alternative Plan II

The specific modifications in this plan include land, limited at 3.5 hectares a 50 percent increase above the initial level of 2.37 hectares and capital, varied between ₦ 250,000 and ₦ 750,000. This was with a view to ascertaining the effects of increasing land and or capital resources on improving the gross

margins (value of programme) of the alternative plan I.

The results obtained showed the various values of programme for the plan to be identical with those of alternative plan I when land area was limited at 2.37 hectares. This confirms that land was not limiting to increasing income with the current level of other resources.

(iii) Alternative Plan III

In this, family labor was increased to 480 man-days per annum, that is, 50% increase above the existing level. Capital was also varied between ₦ 250,000 and ₦ 500,000. The result of the analysis is shown in figure 3.

As could be observed, the value of programme at the ₦ 250,000 capital level was ₦ 642,573.80. Optimum income has increased by ₦ 118,746.05 (22.66%) above the ₦ 523,827.75 of the basic plan. Also, increasing the capital levels with the current 480 man-days of labor input has improved the various values of programme of the alternative plan I. The range of improvements was 26.29 percent and 29.77 percent for the ₦ 375,000 and ₦ 500,000 capital levels respectively.

Thus, with the current levels of labor resources especially, land could not be limiting to increasing farm income. An increase in labor and capital resources would however increase optimum farm income substantially. The four optimal enterprises in alternative plant still remained optimal for the current plan though at varying levels. The Marginal Value Productivities of labor and capital remained high even when their levels were increased by 50 and 100 percent respectively. These values however decreased with further increase in the levels of labor and capital.

Conclusion

While the availability of needed credit (capital) and the required farm labor are among the farm resources that could enhance income on food crop farms, management and combination of resource use factors are also crucial. Thus, for the design and implementation of programmes aimed at increasing income on small-holder farms, efficient combination and management of available resources (7, 19) is as critical as finance. Extension of credit to small-holder farmers to increase production and enhance income should be coupled with adequate training, monitoring and evaluation of performance of the credit recipients in the efficient management of credit and other complimentary resources. The direct relationship existing between

loan default and poor supervision has long been confirmed (16). Also incidences of under employment (10) and/or disguised unemployment (17) on small-holder farms need not be over-emphasized in developing countries like Nigeria. Optimum farm income could only be achieved if there is an improvement in the management of existing resources at the disposal of farmers. This includes choice of the right combination of enterprises, efficiency in the use of land and labour and appropriateness in the use of funds (9). Availability of labour and capital could not do the desired good if complementary factors of judicious management of resources are nonexistent. For example, results obtained from the survey area have shown that with an efficient management of the existing resource inputs, and a careful selection of crop combinations, the optimum farm income of ₦ 359,761.79 per hectare realizable represents an increase of ₦ 195,547.91 or 119 percent above the ₦ 164,213.88 earned with the current management practices. However, the results obtained from labour and capital parametrisation analysis showed that with a 50 percent increase in existing labour supply, the optimal farm income could be improved by ₦ 118,746.05 (22.67%) and when in addition capital is increased by 50 and 100 percent, the optimum farm income improve by ₦ 229,141.20 (43.74%) and ₦ 318,472.10 (60.80%) respectively above the basic plan results. Thus, farmers could only maximize their income and improve their current earnings if they adopt the optimum farm plans recommended by the Linear Programming technique in preference to the existing practices.

The farm management plan that favored optimum income suggested that the existing practice of sole cropping of all crops should be changed to diversified cropping involving cassava /yam (24%), maize/cocoyam (16%) and banana-plantain (18%). Andrew and Fox have supported diversification of crops as a good means of intensifying the use of arable lands (2). Such diversification however has to be done with caution so as not to produce negative results (6, 8). The said change also required that additional financial and human resources be used. These could be taken care of if farmers are encouraged, through price incentives to save and provide the bulk of their needed capital (5) and if drudgery in farming is removed by making available for farmers use, affordable labor assisting technologies like simple hand-operated machines, improved seeds and seedlings. Also farming programme should be planned to ensure even and timely distribution of labor all the year round. Finally, more agro-service centers should be established in the study area to service the immediate improved inputs and packages need of the small farmers. These could further enhance the optimum income level if supplemented with provision of adequate extension and training programmes for farmers in farm organization and management techniques. In order to achieve the desired result, modest improved cultural practices should be recommended for the farmers.

Literature

- Adeniyi O.R., 1983, *The economics of subsistence farms in Nigeria. A case study of Oyo-Osun Divisions of Oyo State*. Unpublished M.Sc. thesis, Department of Agricultural Economics, University of Ife, Nigeria.
- Andrew M. & Fox R., 2004, 'Undercultivation' and intensification in the Transkei: a case study of historical changes in the use of arable lands in Nompa, Shixini, *Development Southern Africa*, **21**, 687-706.
- Athapathu H.A., 1985, *Small farmer lack of credit as a constraint in adoption of Agricultural innovations in paddy cultivation in Sri Lanka*. M. Sc. Dissertation. Agricultural Extension and Rural Development Centre. The University of Reading, England.
- Bali Swain R., 2002, Credit rationing in rural India. *J. Econ. Dev.*, **27**(2), 295-308.
- Central Bank of Nigeria, 2007, Agricultural Credit Guarantee Scheme Fund of Nigeria (ACGSF): An impact assessment. A study conducted by Center for Resource Analysis and Management for Central Bank of Nigeria, Abuja. Pp.15-16.
- Coelli T. & Fleming E., 2004, Diversification economies and specialization efficiencies in a mixed food and coffee small-holder farming system in Papua New Guinea. *Agric. Econ.* (Elsevier), **31**(2-3), 229-239.
- Gietema B., 2006, "Improving Farm Efficiency". In: Farm Accounting, Agromisa Foundation, Wageningen, *Bart Gietema eds. IJhorst*, The Netherlands, (ISBN: 90-8573-394-4), pp. 47-49.
- Gilbert M.E. & N.M., 2011, "Limitations to Crop Diversification for Enhancing the Resilience of Rain-fed Subsistence Agriculture to Drought", C.I.D. Working paper No.228. Center for International Development at Harvard University. <http://www.hks.harvard.edu/centers/cid/publications/research-fellow-graduate-student-working-paper-no-228>. Accessed 14th June, 2012.
- Helfand S.M. & Levine E.S., 2004, Farm size and the determinants of productive efficiency in the Brazilian Center-west. *Agric. Econ.*, (Elsevier), **31**(2-3), 241-249.
- Igben M.M.S., 1988, "The nature and magnitude of unemployment among peasant farmers in Nigeria. Empirical Evidence from Oyo State, Nigeria". Paper presented at the annual conference of the Nigeria Association of Agricultural Economics (NAAE), Obafemi Awolowo University, Ile-Ife.
- Isubiaku P., Erbaugh J.M., Semana A.R. & Adipala E.A.,

- 1999, Influence of farmer production goals on cowpea pest management in Eastern Uganda: implications for Developing I P M Programmes. *African Crop Sci. J.*, **7**(4), 539-548. ISSN: 1021-9730, EISSN: 2072-6589.
12. Kashem H.A., 1987, Small farmers' need for industrial credit in Bangladesh. *Savings and Development. Finafrica Q. Rev.*, **2**(10), 181-189.
13. Lawal J.O., Omonona B.T., Ajani O.I.Y. & Oni A.O., 2009, Determinants of constraint to credit access among cocoa farming households in Osun State, Nigeria, *Pak. J. Biosocial Sci.*, **6**(3), 159-163.
14. Mafimisebi T.E., Oguntade A.E. & Mafimisebi O.E., 2008, *A perspective on partial predict puarantee pchemes in peveloping pountries: the case of the Nigerian Agricultural Credit Guarantee Scheme Fund (ACGSF)*. A paper presented at a World Bank Conference at Washington D.C. March 13-14. pp. 2-4.
15. Manyong V.M., Ikipi A., Olayemi J. K., Yusuf S.A., Omonona B.T., Okoruwa V. & Idachaba F.S., 2005, *Agriculture in Nigeria: identifying opportunities for increased commercialization and investment*. I.I.T.A. Ibadan, Nigeria, 159 p.
16. Miller L.F., 1975, *Present and potential use of credit by small maize and rice farmers in Western and Kwara States*.
- Nigeria. (AETR/75.3). Department of Agricultural Economics, University of Ibadan.
17. Nwoko S.G., 1988, "Estimating Disguised-unemployment in Oyo State of Nigeria" Unpublished paper presented at the annual conference of the Nigerian Association of Agricultural Economists (NAAE), Obafemi Awolowo University, Ile-Ife.
18. Nwosu F.O., Oguoma N.N.O., Ben-Chendo N.G. & Henry-Ukoha A., 2010, The agricultural credit guarantee scheme: its roles, problems and prospects in Nigeria's quest for agricultural development. *Researcher*, **2**(2), 87-90. (ISSN: 1553-9865).
19. Pender J., Nkonya E., Jagger P., Sserunkuma D. & Ssali H., 2004, Strategies to increase agricultural productivity and reduce land degradation: evidence from Uganda. *Agri. Econ.*, (Elsevier), **31**(2-3), 181-195.
20. Penny D.H., 1968, Farm credit policy in the early stages of agricultural development. *J. Aust. Agric. Econ.*, **12**, 91, 44
21. Yekini O.T., 2010, *Social capital determinant of access to credit facility among rural women in Surulere Local Government Area of Oyo State, Nigeria*. Proceedings of the 44th Annual Conference of Agricultural Society of Nigeria (Lautech 2010). October 18th -22nd 2010. pp. 379-386.

Adeniyi O.R., Nigerian, PhD, Associate Professor of Agricultural Production and Farm Management Department of Agricultural Economics and Extension, Faculty of Agriculture, Bowen University, Iwo, Osun State, Nigeria, West Africa.

Oyewole T.G., Nigerian, MBA, Lecturer in Financial Management and Accounting, Faculty of Social and Management Sciences, Bowen University, Iwo, Osun State, Nigeria.

Efficiency of Traditional Maize Storage and Control Methods in Rural Grain Granaries: a Case Study from Senegal

M.T. Gueye^{1*}, G. Goergen², S. Ndiaye³, E.A. Asiedu⁴, J-P. Wathélet⁵, G. Lognay⁵ & D. Seck⁶

Keywords : Maize- Granaries- Insecticidal plants- Storage modes- Damage- Losses- Senegal

Summary

Maize storage and pest control method as practiced in traditional clay granaries in the Kédougou region in eastern Senegal were evaluated under rural conditions during two successive years. Three storage modes, i.e. maize cobs, winnowed and non-winnowed maize grains, were tested in seven granaries where the insecticidal plants Hyptis spicigera or H. suaveolens were either incorporated in the store structure or deposited as layers intermittently with maize. At the beginning of the storage period, all granaries were artificially infested with 7 pairs Tribolium castaneum and Sitophilus zeamais. No damage, losses or live insects were observed during 7 months of storage when maize cobs were placed between layers of H. spicigera. Compared with the control, incorporation of insecticidal plants within the granary bottom had no significant effect on the damage and loss level irrespective of the storage mode. Non-winnowed maize always suffered less damage and losses than the winnowed variant. In all granaries depredation, insect abundance and moisture content were highest toward the end of storage period between June and July.

Résumé

Efficacité de méthodes traditionnelles de stockage et de traitement du maïs en greniers paysans - Etude de cas au Sénégal

Le stockage et les méthodes de traitement du maïs tels que pratiqués dans les greniers traditionnels à Kédougou dans l'Est du Sénégal ont été suivis pendant deux années successives. Trois modes de stockage (épis de maïs, grains de maïs vannés et grains non vannés) ont été testés dans sept greniers où les plantes insecticides Hyptis spicigera ou H. suaveolens sont soit incorporées dans la charpente du grenier soit déposées entre les couches de maïs. Tous les greniers ont été artificiellement infestés au début du stockage par 7 couples de Tribolium castaneum et Sitophilus zeamais. Il n'a été observé ni dégât, ni perte ou d'insectes vivants durant sept mois de stockage quand les épis de maïs sont insérés dans des couches de H. spicigera. Par rapport au témoin, l'incorporation des plantes au fond des greniers n'a pas eu d'effet significatif sur les dégâts et pertes indépendamment du mode de stockage. Le maïs non vanné a toujours été moins attaqué que le vanné. Dans tous les greniers infestés, le niveau des populations d'insectes et l'humidité ont été plus élevés à la fin de la période de stockage entre juin et juillet.

Introduction

Maize has become well established as a staple food in the human diet in eastern and southern Senegal. However, limited work has been devoted to the evaluation of locally developed post-harvest methods for this cereal crop. Thus in 2012, a

diagnostic survey involving 330 maize producers was conducted to investigate the main storage types and methods within these geographical areas (6). The study revealed that the producer's financial resources and the availability of local materials were the major drivers for the adoption of storage types. At the same time, insects were found to be

1 Food Technology Institute, Hann-Dakar, Senegal.

2 International Institute of Tropical Agriculture, Cotonou, Benin.

3 University of Thies, ENSA, BP A 296, Thies, RP. UFR SADR, Senegal.

4 CORAF/WECARD, Dakar, Senegal.

5 University of Liege, Gembloux Agro-Bio Tech, Unit Analyses, Quality, Risks, Laboratory of analytical chemistry, Gembloux, Belgium.

6 Centre Régional de Recherche en Ecotoxicologie et Sécurité Environnementale (CERES / Locustox), Dakar, Senegal.

*Corresponding author : Email : gueyemt@gmail.com / mgueye@ita.sn

Received on 13.10.12 and accepted for publication on 21.11.12

the principal threat for stored maize with losses ranging from 18% for shelled maize, to 20 % for stored cobs and 27% for stored and shelled cobs.

In another study in Senegal, *Sitotroga cerealella* (Olivier) (Lepidoptera: Gelechiidae) and *Ephestia cautella* (Walker) (Lepidoptera: Pyralidae) proved to be the principal insect pests of traditionally stored sorghum causing a serious threat to on-farm stored seed materials (18). Infestation by *S. cerealella* was observed to start already in the field, but during storage moths were never detected beyond 30 cm depth within bulk deposited grains after threshing (19). By contrast, in large scale state-owned food security reserves, Guèye (5) found mainly *Coryra cephalonica* (Stainton) (Lepidoptera: Pyralidae), *Rhyzopertha dominica* (Fab.) (Coleoptera: Bostrichidae), *Tribolium castaneum* (Herbst) and *T. confusum* Jacquelin du Val (Coleoptera: Tenebrionidae) from millet samples collected in the twelve main regions of the country.

In Senegal the commonest pest control method in stored commodities remains the use of synthetic pesticides, but some farmers have opted for the use of native plants to protect their stores against insects. These bio-pesticides are considered to be efficient since their action persists for about 5 months and even throughout the dry season (7).

Applications methods of these plant-based insecticides, however, can differ from one region to another. In eastern Senegal it was observed that whole plants of the bush mint species *Hyptis suaveolens* (L.) Poiteau and *H. spicigera* Lamarck (Lamiaceae) are either directly integrated in the bottom of storage structures or deposited on the floor of granaries. In addition, within these traditional devices maize is stored in various modes.

In the present study the efficiency of such practices is evaluated in relation to dynamics of maize pest infestations. To this end, field work was carried out for two successive storage periods in 2011 and 2012 and occurrence of insects, their proliferation, damage and losses was followed up in maize stored as cobs, winnowed and non-winnowed grains.

Material and methods

Context of the study

The research was conducted in the Tomboronkoto and Sékoto villages situated in the Kédougou region in eastern Senegal ($12^{\circ}29'20''N$ $12^{\circ}17'26''W$). This region is located within the eastern, more humid, fringe of Senegal, which has a sub-Guinean

climate. The mean maximum temperature was $34.8^{\circ}C$ while the minimum $21.7^{\circ}C$, with highest levels recorded in April ($40^{\circ}C$) and lowest in December ($17^{\circ}C$). The rainy season generally starts in May and ends in October-November, with a mean annual rainfall of 1200 mm.

Plant material

The two plants used to control insects in traditional stores, namely *Hyptis spicigera* and *H. suaveolens*, grow abundantly in the surroundings of villages. Based on own observations over two successive years, both plant species undergo their vegetative cycle during the rainy season and become truly fragrant toward December-January. They are usually dry out in February except in inland-valleys where they remain green until March.

Construction of granaries – The experiment was carried out using self-constructed granaries except for one grain store (G5). Whereas the body of such a granary consists of bamboo rods its bottom is made of thick branches over which a uniform and thick layer of insecticidal plants is deposited. According to local farmers, layers of *Hyptis spicigera* build an effective barrier that prevents insects from penetrating into the stores. To create an additional isolation, a layer of 5 to 10 cm moistened clay is laid upon the plants leaving them concealed between the ground and the granary floor. Upon use, all storage openings were sealed with cow dung. Store G5 differed because it was built on the roof of a mud hut. Thus, a construction similar to the one described above was erected on the flat hut roof but this time with the inclusion of *H. suaveolens* in the bottom layer alike the process above.

Experiment setup

The experiment arrangement is depicted in figure 1. The trial was conducted in full compliance with practices in use within the concerned geographical areas. Granaries G1, G2 and G5 were situated in Sékoto whereas G3, G4, G6 and G7 in Tomboronkoto. Granaries G6 and G7 were built in the second year to allow additionally a comparison with methods applied in other areas of Kédougou region, namely the storage of maize cobs intermittently sandwiched with layers of *H. spicigera*. The granaries in Sékoto had a storage capacity of 4.4, 9.6 and 15.5 m³ whereas those in Tomboronkoto 2.4, 3.2, 4.5 and 3.5 m³ respectively. Samples were taken at a time interval ranging from 45 to 60 days between February 2011 and July 2012, in a time span covering two dry seasons (November to May). Prior to the storage freshly

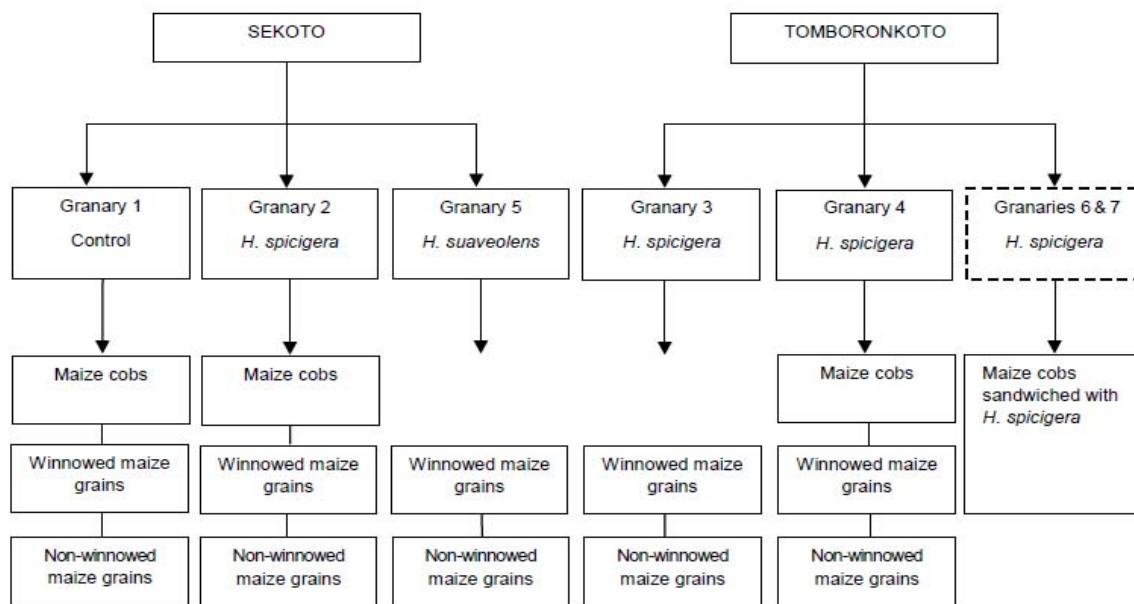


Figure 1: Experimental setup deployed at Sékoto and Tomboronkoto.

harvested maize is customarily sun-dried on raised racks, its actual conservation in granaries usually starts from November.

To strengthen and / or ensure the presence of storage pests, granaries were artificially infested with *Tribolium castaneum* and *Sitophilus zeamais* Motschulsky (Coleoptera: Curculionidae), two major pests of stored maize in tropical and subtropical regions (2, 12). On 30th March 2011 and 15th February 2012 respectively, seven pairs of each pest species were introduced in every single granary to test the action of the insecticidal plants and/or the storage method. During the entire duration of the study granaries were not treated with synthetic insecticide.

Sampling

Sampling was carried out according to the method by AFNOR (1) where the number of bags from which samples are collected is determined by the size of the lot. For winnowed and non-winnowed maize, a probing pipe was used to reach the various levels of bags stacked in the granaries. A composite 1 kg sample was collected from a number of sub-samples taken from six to ten randomly chosen sacks which were pooled together. For the cobs, specimen samples were collected at various strata either within sacks or from strings made of cobs bond together by their husks and attached on the granary roof or hanging on sticks placed across the granary. Counts of

number of individuals from each insect species were performed on-site. Maize samples were then transported to the laboratory where damage and loss measurements were made within a week of collection.

Parameters used for evaluation

Grain and cob moisture content were measured on-site with a Dickey-John handheld Mini Gac Plus ® tester (Churchill Industries, Minneapolis, USA). Values used for insect pests represent number of individuals per kg. Percent grain damage and weight losses were calculated according to the formula by Pantenius (16) as follows:

$$\text{Damage} = \frac{\text{Number of damaged grains}}{\text{Total number of grains}} \times 100$$

where A is the total number of grains; B, the number of attacked/damaged grains; C, the number of healthy grains; D, the weight of attacked/damaged grains; and E, the weight of healthy grains.

Statistical analysis

Statistical analysis was performed using GenStat Discovery V4.0. Data were first subjected to a variance analysis. A test of homogeneity of variance followed when probability values were below 5% i.e. when the hypothesis of equity among means was rejected. The Student-Newman-Keuls test was

used to check for homogeneity of variance. For the evaluation of cob data, a factorial design with incomplete blocks was specifically applied since data from some granaries were lacking on certain dates for this storage mode due to early consumption by some farmers.

Results

Significant differences ($P < 0.01$) between granaries, sampling dates and the three tested storage modes (cobs, winnowed and non-winnowed grains) were observed.

No damages or losses at all were observed in G6 and G7 where maize cobs were stored in strata alternating with thick layers of *H. spicigera*. Since congruently no insects were recorded within these granaries related data were left out from the ANOVA analysis.

The size of the granaries was not significantly correlated to damage or loss values. The highest damage was found on winnowed maize in G4 (16.49%) and G1 (14.93%) respectively. Damage on cobs was significantly higher in the control granary G1 (11.13%) and below one percent in G2. Lowest damage levels were recorded in G4 on non-winnowed maize with values reaching only 6.76% at maximum. Regardless of the storage mode, lowermost losses were found in G2 with 0.33, 2.99 and 6.48% for cobs, non-winnowed and winnowed maize respectively (Table 1).

Differences in weight losses were similarly observed between granaries and storage modes. Peak loss values for cobs (2.33%) were recorded in

G1 whereas for winnowed (3.10%) and non-winnowed grains 1.64% they were found in G4. Overall, for any given granary, non-winnowed grains always showed lower grain weight losses than winnowed ones.

A comprehensive analysis of the damage level and sampling dates showed that for the same periods, damages were statistically more severe in 2011 than in 2012. Significant differences were also found between the three storage modes. The highest damage on cobs (6.60%) was observed during March 2011, whereas winnowed (27.91%) and non-winnowed maize (11.09%) showed highest damage levels during July of the same year. Surprisingly, the damage on winnowed maize was always at least twice the value of the non-winnowed variant (Table 2).

Table 1

Homogeneity test of means (ANOVA) of percent damage and losses on maize Cobs, winnowed (W) and non-winnowed (N) grains for granaries G1 to G5.

	Damages (%)			Losses (%)		
	Cobs	W	N	Cobs	W	N
G1	11.13a	14.93b	3.53c	2.33a	2.58b	0.97c
G2	0.33b	6.48d	2.99cd	0.09c	1.04d	0.82c
G3	-	11.72bc	3.10c	-	2.10c	0.63d
G4	3.62c	16.49a	6.76a	0.96b	3.10a	1.64a
G5	-	10.32bc	4.50b	-	1.94c	1.19b

Means with different letters in a column are significantly different ($P < 0.05$).

Table 2

Homogeneity test of means (ANOVA) of percent damage and losses on maize Cobs, winnowed (W) and non-winnowed (N) grains for different sampling dates.

	Damages (%)			Losses (%)		
	Cobs	W	N	Cobs	W	N
Feb. 11	4.29b	11.63bc	-	1.76a	2.36bcd	0.72d
March	6.60a	18.07b	5.75c	1.49ab	2.58bc	1.01c
May	4.07bc	17.89b	8.28b	1.81a	2.88ab	1.22c
July	3.31cd	27.91a	11.09a	0.89d	3.35a	2.07a
Aug.	3.55cd	7.47d	2.27e	1.25c	1.91d	1.03c
Dec.	0.57g	3.94d	0.53f	1.32abc	0.62e	0.14e
March 12	1.95f	11.0bc	2.24e	1.49ab	2.04cd	0.52d
June	2.52e	8.82bcd	3.49d	1.67a	1.87d	1.20c
July Aug.	0.27g	8.46bcd	3.83d	1.55ab	1.76d	1.56b

*: prior to winnowing.

Means with different letters in a column are significantly different ($P < 0.05$).

Monitoring of insect populations showed that, except for granaries G6 and G7 which remained insect-free, both introduced pest species had established in all stores and were recovered throughout the study (Table 3). Overall, pest insects were more abundant during the first than the second year. In addition to the three introduced beetles species, the rice moth *Coryca cephalonica* (Stainton) (Lepidoptera: Pyralidae), the lesser grain borer *Rhyzopertha dominica* (Fabricius) (Coleoptera: Bostrichidae) and the grain beetle *Cryptolestes* sp. (Coleoptera: Cucujidae) were only sporadically recovered.

Because of heavy termite attack, granary G1 had to be built again in July 2011 and restocked. Regardless of the sampling period and storage

mode, *T. castaneum* was usually more numerous than *S. zeamais*. Winnowed maize was generally more infested than the non-winnowed variant. Cobs and winnowed maize were equally attacked in G1 and G4 but only very little in G2. Overall, insects proliferated less in G2 and G3 than in other stores. In some granaries peak populations either of *T. castaneum* or *S. zeamais* were recorded in July of the first year and reached similar densities both on winnowed and non-winnowed maize.

During 2011 moisture values remained generally low and permitted good storage conditions regardless of the storage mode. Fluctuations remained within a range of 3 to 4% lower than the maximum record of 14% measured in August on cobs in the control G1 (Table 4).

Table 3

Seasonal insect fluctuation (number of insects/kg) in maize granaries G1, G2 & G5 in Sékoto and G3 & G4 in Tomboronkoto between February 2011 and July 2012.

	Damages (%)			Losses (%)		
	Cobs	W	N	Cobs	W	N
Feb. 11	4.29b	11.63bc	-	1.76a	2.36bcd	0.72d
March	6.60a	18.07b	5.75c	1.49ab	2.58bc	1.01c
May	4.07bc	17.89b	8.28b	1.81a	2.88ab	1.22c
July	3.31cd	27.91a	11.09a	0.89d	3.35a	2.07a
Aug.	3.55cd	7.47d	2.27e	1.25c	1.91d	1.03c
Dec.	0.57g	3.94d	0.53f	1.32abc	0.62e	0.14e
March 12	1.95f	11.0bc	2.24e	1.49ab	2.04cd	0.52d
June	2.52e	8.82bcd	3.49d	1.67a	1.87d	1.20c
July Aug.	0.27g	8.46bcd	3.83d	1.55ab	1.76d	1.56b

*: prior to winnowing.

(01): 12 *Coryca cephalonica* on maize cobs; (02): 44 *C. cephalonica* on cobs; (03): 5 *C. cephalonica* on winnowed grains; (04): 3 *Rhyzopertha dominica* on winnowed grains; (05) 5 *R. dominica* on no-winnowed grains; (06): 5 *Cryptolestes* sp. On non-winnowed grains.

Table 4

Humidity fluctuation in maize granaries G1, G2 & G5 in Sékoto and G3 & G4 in Tomboronkoto between February and July 2012.

	Granary 1			Granary 2			Granary 3		Granary 4			Granary 5	
	C	W	N	C	W	N	W	N	C	W	N	N	W
Feb.	8.9	8.6	*	9.8	8.6	*	9.5	*	8.9	8.5	*	10.3	*
March	9.3	8.9	8.2	10.4	9.5	8.8	9.8	9.2	9.3	9.2	8.2	10.7	10.2
May	11.3	10.0	9.2	10.9	10.2	9.6	10.2	9.3	10.7	10.2	9.6	11.2	10.6
July	12.3	11.5	11.5	12.2	11.5	11.5	10.6	10.2	11.7	11.5	11.2	11.8	11.2
Aug.	14.0	11.5	11.2	—	12.7	12.3	12.0	—	12.6	12.6	13.0	—	—
Dec.	9.6	9.2	*	10.5	11.4	*	12.2	*	11.9	11.8	*	10.2	*
March	10.3	9.8	9.7	11.8	11.2	10.8	12.9	13.7	11.2	10.8	10.4	10.5	10.0
June	11.5	11.2	10.9	16.3	—	15.1	18.6	15.9	17.8	16.4	15.9	—	—
July	12.7	12.2	11.8	—	—	—	17.3	—	—	—	—	—	—

C= Cobs; W= winnowed grains; N= non-winnowed grains.

In the second year, except for G1 and G5, these values were consistently higher especially from June on where moisture increased up to 18.6% on winnowed maize in G3.

Discussion

The present study revealed clear tendencies resulting from traditional post-harvest practices as applied by farmers in the Kédougou region. The most effective method proved to be the storage of maize in granaries with intermittent layers of *H. spicigera*, which resulted in full protection of the commodity against any insect damage. This however, was not achieved when the same species or *H. suaveolens* were incorporated in the storage structure. It is therefore thought that the mode of action of both *Hyptis* species is due to the release of bioactive molecules contained in the essential oil. To date, numerous studies determined the active components or effectiveness of these plants against various storage pests (20, 13, 14). According to Noudjou et al. (15), the toxicity of *H. spicigera* is strongly influenced by its α -pinene content (39%). However, many studies have demonstrated that biopesticides based on essential oils rapidly decrease in effectiveness, due to volatile molecules being massively released already during the first days after application (11). Hence, the insecticidal effects of *H. spicigera* may last only shortly in granaries. On the other hand, farmers believe in a repulsive action of these two plants which justifies their incorporation into the storage structure to deter any intruding pests. Since in the here presented study storage pests were directly released into the granaries presumed repulsive effect could not be tested. When insecticidal plants were incorporated between the clay layers of the storage structure, diffusion of insecticidal volatiles may have slowed down, limiting the direct knock-down effect while still acting as a deterrent against new colonizers. Whether the use of *Hyptis* in layers affects the gustative quality of maize was not mentioned by farmers. This possible consequence should be assessed in further research.

In the present study, the granary size had no significant effect on the extent of damage and losses. By contrast, the storage mode played an important role as evidenced by a consistently stronger insect attack on winnowed than on non-winnowed maize. Thus, except for July 2011, loss rates of non-winnowed maize barely exceeded maxima of 1%. This result is in agreement with laboratory studies where damage and losses on stored maize grains remained below 5% and 1% respectively when *S. zeamais* were exposed to powdered maize cob particles of 1.4 and 0.4 mm

diameter, similar to non-winnowed grains at doses greater than or equal to 2.4% (w/w) (7). Furthermore, increasing the amount of powdered cobs did not have a lethal effect on *S. zeamais* adults, but lead to a considerable delay in juvenile emergence strongly affected levels of the F1 generation. As a result, weevils did not penetrate into deeper grain layers and caused only little damage. The presence of the primary pest *S. zeamais* may have created conducive conditions for the proliferation of *T. castaneum* who often outnumbered weevil numbers. This confirms findings by Bekon and Fleurat-Lessard (3) who, besides losses demonstrated a positive correlation between the amount of frass generated by *T. castaneum* and the damage caused by the primary pest when storing cereals over 40 days. A similar positive relationship between *S. zeamais* and *P. truncatus* has been demonstrated in earlier studies storing maize (22). By contrast, *S. zeamais* was shown to outcompete *S. cerealella* under identical conditions (10). In the here described experiment it was observed that *T. castaneum* was more abundant than *S. zeamais*.

The response of *T. castaneum* and *S. zeamais* to diverse plants exhibiting insecticidal properties has been the subject of multiple studies. Liu et Ho (11) observed that *S. zeamais* was more sensitive than *T. castaneum* to contact with the oil of *Evodia rutaecarpa* (Hook f. and Thomas) (Rutaceae), but more tolerant to fumigation with the same product. However, in another experiment, LD₅₀ and LD₉₅ values revealed a similar sensitivity of both species to applications of essential oil of *Elletaria cardamomum* (L.) Maton (Zingiberaceae). Furthermore *T. castaneum*, whose larval stages were more resistant than adults, proved to be twice as tolerant as *S. zeamais* when fumigated with this essential oil (9). It was demonstrated that naturally synthetized products such as Spinosad can also be highly effective, since a dose of already 1 ppm in stored wheat or maize provides a total control against *T. castaneum* and *S. zeamais* under rural conditions (8).

Initial levels of insect infestation play a crucial role for maintaining post-harvest quality of crops. Infestation in maize contamination can already start in the field. This could explain the high damages levels observed in G1. This treatment already showed high levels in March whilst at the same time pest attacks in G2 were almost nil, despite the introduction of equal numbers of *S. zeamais* and *T. castaneum* in both granaries. Similarly, there is evidence that field infestations of *S. cerealella* on rice are highly correlated with the abundance of the moth populations in stored rice (21). Significant

differences in the proliferation level of insects between the two study years are probably due to varying abiotic factors. Such natural fluctuations commonly occur when stores are infested with the larger grain borer *Prostephanus truncatus* (Horn) (Coleoptera: Bostrichidae) and are expressed in varying infestation levels from one year to the other (4).

In the here reported trial grain moisture remained generally below 14% up till May, safeguarding the maize. However, between June and July of the second year, high levels of moisture content were reached subsequent to the onset of the rainy season between late May and early June. High humidity probably favored attacks by termites and *Coryca cephalonica* in G1. Similar to the here presented results, Ratnadass & Sauphanor (17) also registered an increase of grain maize moisture in traditional stores following the rise of relative humidity at the beginning of the rainy season. Among all tested stores, G5 was the only granary hut built with hard-clay. At the same time it showed little moisture fluctuations in the stored grains, which implies a comparatively better protection against humidity by this material. This property may be important, especially since along with moisture uptake, the stored maize tended to become more vulnerable to pest attacks as evidenced by peak populations of both *T. castaneum* and *S. zeamais* measured in most granaries with high moisture levels.

Conclusion

The present study allowed assessing the efficiency of traditional maize post-harvest methods and storage systems as practiced by farmers of the Kédougou region in Senegal. The storage of maize cobs using a sandwich method with *Hyptis spicigera* proved to be fully effective against storage pests, and was able to preserve maize for up to 7 months. However, the limited data obtained for this treatment calls for further investigations to confirm its efficacy. The storage of non-winnowed maize grains offered a substantial degree of protection against insect infestations. By contrast, the traditional practice of incorporating insecticidal plants in layers of mud within the storage structure did not reduce the development of pests introduced into the granaries.

Acknowledgements

The authors are grateful to farmers of the Tomboronkoto and Sékoto villages of the Kédougou region, eastern Senegal, for their collaboration. The present study was conducted by the 'Institut de Technologie Alimentaire', Hann-Dakar, Senegal in partial fulfillment of a PhD thesis by the first author at the University of Liège, Gembloux Agro-Bio Tech, Belgium. This research work was supported by DFID via CORAF/WECARD and by the "Fonds des Recherches Agricoles et Agroalimentaires" (FNRAA) via the 'West Africa Agricultural Productivity Program (WAAPP).

Literature

1. AFNOR, 1997, *Céréales et produits céréaliers*, 4^{ème} édition, Paris, France.
2. Arthur F.H., Yue B. & Wilde G.E., 2004, Susceptibility of stored-product beetles on wheat and maize treated with thiamethoxam: effects of concentration, exposure interval, and temperature. *J. Stored Prod. Res.*, **40**, 527-546.
3. Bekon A.& Fleurat-Lesard F., 1989, Evolution des pertes en matière sèche des grains dues à un ravageur secondaire: *Tribolium castaneum* (Herbst), coléoptère Tenebrionidae, lors de la conservation des céréales. *Céréales en régions chaudes*, AUPELF-UREF, Ed John Libbey Eurotext, Paris, pp. 97-104.
4. Birkinshaw L.A., Hodges R.J., Addo S. & Riwa W., 2002, Can 'bad' years for damage by *Prostephanus truncatus* be predicted? *Crop Prot.*, **21**, 783-791.
5. Guèye M.T., 1997, *Impact de quatre insectes ravageurs du mil stocké (Pennisetum typhoides L.), de ses dérivés et du fonio (Digitaria exilis Stapf). Contribution à l'inventaire des déprédateurs des stocks de mil au Sénégal*. DEA, UCAD, 74 pp.
6. Guèye M.T., Seck D., Wahelet J.-P. & Lognay G., 2012, Typologie des modes de stockage du maïs au Sénégal oriental et en Casamance continentale. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.*, **16**(1), 93-101.
7. Guèye M.T., Cissokho P.S., Goergen G., Ndiaye S., Seck D., Guèye G., Wahelet J.-P. & Lognay G., 2012, Efficacy of powdered maize cobs against the maize weevil *Sitophilus zeamais* (Coleoptera: Curculionidae) in stored maize in Senegal - *Int. J. Trop. Insect Sci.*, **32**, 94-100.
8. Hertlein M.B., Thompson G.D., Subramanyam B. & Athanassiou C.G., 2011, Spinosal: A new natural product for stored grain protection. *J. Stored Prod. Res.*, **47**, 131-146.
9. Huang Y., Lam S.L. & Ho S.H., 2000, Bioactivities of essential oil from *Ellettaria cardamomum* (L.) Maton. to *Sitophilus zeamais* Motschulsky and *Tribolium castaneum* (Herbst). *J. Stored Prod. Res.*, **36**, 107-117.
10. Larsen M.N., Nachman G. & Skovgaard H., 2005, Interspecific competition between *Sitophilus zeamais* and *Sitotroga cerealella* in a patchy environment. *Entomol. Exp. Appl.*, **116**, 115-126.
11. Liu Z.L. & Ho S.H., 1999, Bioactivity of the essential oil extracted from *Evodia rutaecarpa* Hook f. et Thomas against

- the grain storage insects, *Sitophilus zeamais* Motsch. and *Tribolium castaneum* (Herbst). *J. Stored Prod. Res.*, **35**, 317-328.
12. Markham R.H., Bosque-Perrez N.A., Borgemeister C. & Meikle W.G. 1994, Developing pest management strategies for *Sitophilus zeamais* and *Prostephanus truncatus* in the tropics. *FAO Plant Prot. Bull.*, **42**, 97-116.
 13. Ngassoum M.B., Tinkeu L. S.N., Ngatanko I., Tapondjou L.A., Lognay G., Malaisse F. & Hance T., 2007, Chemical composition, insecticidal effect and repellent activity of essential oils of three aromatic plants, alone and in combination, towards *Sitophilus oryzae* L. (Coleoptera: Curculionidae). *Natural Product Commun.*, Vol. **2**, 12.
 14. Noudjou-Wandji F.E., 2007, *Utilisation des huiles essentielles pour la protection des grains contre les insectes ravageurs au nord du Cameroun*. PhD thesis, Faculté universitaire des Sciences Agronomiques de Gembloux.
 15. Noudjou F., Kouninki H., Ngamo L.S.T., Maponnestsem P.M., Ngassoum M., Hance T., Haubrige E., Malaisse F., Marlir M. & Lognay G., 2007, Effect of site location and collecting period on the chemical composition of *Hyptis spicigera* Lam. an insecticidal essential oil from north-Cameroun. *J. Essent. Oil Res.*, **19**, 597-601.
 16. Pantenius C.U., 1988, *Etat des pertes dans les systèmes de stockage du maïs au niveau des petits paysans de la région maritime du Togo*. GTZ Hamburg, 83 pp.
 17. Ratnadass A. & Sauphanor B., 1989, Les pertes dues aux insectes sur les stocks paysans de céréales en Côte d'Ivoire. *Céréales en régions chaudes*, AUPELF-UREF, Ed
 18. Seck D., 1991, Observations préliminaires sur les fluctuations saisonnières des populations d'insectes ravageurs du mil stocké en grenier traditionnel au Sénégal. *Tropicatura*, **9**(2), 92-94.
 19. Seck D., 1992, Importance économique et développement d'une approche de lutte intégrée contre les insectes ravageurs des stocks de maïs, de mil et de niébé en milieu paysan. In: "La Post-Récolte en Afrique", Aupelf-Uref, pp.155-160.
 20. Tchoumbougnang F., Zollo P.H.A., Boyom F.F., Nyegue M.A., Bessière J.M. & Menut C., 2005, Aromatic plants of tropical Central Africa. XLVIII. Comparative study of the essential oils of four *Hyptis* species from Cameroon: *H. lanceolata* Poit., *H. pectinata* (L.) Poit., *H. spicigera* Lam. and *H. suaveolens* Poit. *Flavour Fragr.*, **20**, 340-343.
 21. Togola A., Wilene F.E., Chougourou D.C. & Agunbiade T., 2010, Présence, populations et dégâts de l'alucite des céréales *Sitotroga cerealella* (Olivier) (Lepidoptera, Gelechiidae) sur les stocks de riz au Bénin. *Cah. Agric.*, **19**(3), 205-209.
 22. Vowotor K.A., Meikle W.G., Ayertey J.N. & Markham R.H., 2005, Distribution of and association between the larger grain borer *Prostephanus truncatus* (Horn) (Coleoptera: Bostrichidae) and the maize weevil *Sitophilus zeamais* Motschulsky (Coleoptera: Curculionidae) in maize stores. *J. Stored Prod. Res.*, **41**, 498-512.

M.T. Gueye, Senegalese, Doctorat, Research fellow - ITA, Dakar, Senegal.

G. Goergen, German, PhD, Manager, Biodiversity Centre, IITA Biological Control Centre (BCCA) Cotonou, Benin.

S. Ndiaye, Senegalese, PhD, Director of studies UF SADR - University of Thies, Senegal.

E.A. Asiedu, Ghanaian, PhD, Program Manager, Staple Crops Program - CORAF/WECARD Dakar, Senegal.

J.-P. Wathelet, Belgian, Professor Gembloux Agro-Bio Tech (retired), University of Liege, Gembloux Agro-Bio Tech, Gembloux, Belgium.

G. Lognay, Belgian, Professor, Professor - Vice Dean, University of Liege, Gembloux Agro-Bio Tech, Unit Analyses, Quality, Risks, Laboratory of analytical chemistry, Gembloux, Belgium.

D. Seck, Senegalese, PhD, General Administrator CERES/LOCUSTOX, Dakar - Senegal.

Déterminants socio-économiques et institutionnels de l'adoption d'innovations techniques concernant la production de maïs à l'ouest du Cameroun

G. L. Mabah Tene^{1*}, M. Havard² & L. Temple²

Key words : Agricultural innovation- Adoption process- Maize- Cameroon

Résumé

La faible productivité des exploitations agricoles en Afrique subsaharienne notamment au Cameroun est due en partie aux faibles taux d'adoption des innovations proposées par la recherche agricole. Cet article est une étude de cas de l'adoption du paquet technique (semences de variétés améliorées, engrains chimiques, pesticides, monoculture) pour la culture du maïs à l'ouest du Cameroun. L'analyse économétrique, à l'aide d'un modèle logit, des données d'un échantillon de 52 exploitants agricoles a permis d'identifier les facteurs qui déterminent la probabilité d'avoir recours au paquet technique: la superficie cultivée en maïs, l'orientation marchande de la production, le contact avec les services de vulgarisation agricole et le mode d'accès à la terre. Le paquet technique vulgarisé est adopté par moins de 20% des exploitants de l'échantillon, les autres exploitants ne l'adoptent qu'en partie (1, 2 ou 3 éléments) selon leurs besoins et stratégies spécifiques. Ces résultats interpellent la recherche et la vulgarisation agricoles à adapter leurs propositions aux besoins diversifiés des exploitants agricoles et à expliquer les raisons de la non adoption du paquet technique dans son ensemble.

Summary

Socio-economic and Institutional Variables that Affect the Adoption of Technical Innovations Concerning Maize Production in Western Cameroon

The low productivity of farms in sub-Saharan Africa including Cameroon is due among others to the low adoption rates of innovations developed by agricultural research. This paper is a case study of the adoption of the technical package (improved varieties, fertilizers, pesticides, mono-culture) for maize cultivation in Western Cameroon. Data from a sample of 52 farmers were analyzed using a logit model and it was found that the maize cultivated area, the market orientation of production, contact with extension services, land tenure are factors that determine the likelihood of a farmer to adopt the technical package. However, it was adopted by less than 20% of the farmers surveyed, the others adopted only one, two or three components of the package according to their specific needs and strategies. These results challenge the agricultural research and extension to adapt their proposals to the diverse needs of farmers and to explain the reasons for the non-adoption of the whole package.

Introduction

Bien que l'agriculture soit un secteur prédominant dans la plupart des économies de l'Afrique subsaharienne (6), la productivité y reste faible (25). L'un des facteurs expliquant cette faible productivité est la non adoption par les agriculteurs des technologies et techniques de production à haut rendement mises au point par la recherche agronomique (16, 25). En revanche, la croissance de la productivité agricole peut être mise en relation

avec l'état de la technologie et l'efficience avec laquelle les facteurs de production sont utilisés (5, 16) d'où l'intérêt pour l'analyse du processus d'adoption des innovations agricoles. Ce processus est déterminé tant par les caractéristiques socio-économiques des exploitants (8, 18) que par les variables institutionnelles et organisationnelles qui structurent les systèmes d'innovation (19). Nous proposons d'expliquer dans cette communication en quoi ces caractéristiques ont un rôle dans l'adoption des innovations qui accompagnent la

1 Université de Yaoundé II, Cameroun.

2 CIRAD UMR Innovation, Montpellier, France.

* Auteur correspondant : mabahlaure@yahoo.fr

Reçu le 15.10.12 et accepté pour publication le 20.12.12.

culture du maïs à l'ouest du Cameroun en l'occurrence le paquet technique (semences de variétés améliorées, engrains chimiques, pesticides, monoculture) vulgarisé par les services agricoles étatiques.

Principale culture vivrière, le maïs est cultivé par 42,7% des ménages agricoles camerounais, avec une forte fréquence culturale à l'ouest -Cameroun (11) et constitue la base de l'alimentation d'une grande partie de la population (9). Afin de pallier aux faibles rendements, moins de 2 t/ha dans les systèmes de culture associée des petites exploitations familiales, environ 2,5 t/ha en culture semi intensive et 4,5 t/ha en grande exploitation (14) et d'accroître la productivité des exploitations de maïs, des variétés améliorées de semences ainsi que des fiches techniques de production adaptées à chaque zone agro écologique ont été proposées par l'Institut de Recherche Agricole pour le Développement (IRAD). Cependant pour la culture du maïs, de faibles taux d'adoption d'engrais (33,1%), de pesticides (12,8%) et de variétés améliorées de semences (8,6%) sont enregistrés (11). Bien comprendre les raisons de cette faible adoption est important dans la recherche d'alternatives à l'amélioration de la productivité agricole. Nous présentons pour cela successivement le cadre méthodologique et les outils d'analyse mobilisés pour spécifier les relations entre la probabilité d'adopter le paquet technique et les déterminants de celle-ci, puis les principaux résultats en les comparant à ceux d'études similaires dans d'autres contextes.

Méthodologie

Concepts

L'adoption d'une innovation fait référence à la décision de mise en œuvre de propositions techniques nouvelles dans un système de production et d'améliorer leur utilisation de manière croissante (24). Elle dépend des caractéristiques socio-économiques des potentiels adoptants, des informations qu'ils reçoivent et de comment ils les utilisent (8, 18), de la structure et de la nature des échanges qu'ils ont avec leurs réseaux sociaux, de leurs interactions avec les institutions qui accompagnent les transferts d'innovations notamment la vulgarisation agricole (1, 15, 18, 21, 26). Elle dépend aussi de la compatibilité des caractéristiques des innovations à l'environnement institutionnel (normes, règles, valeurs), technologique (systèmes techniques existants, savoir faire, risques), et économique (accessibilité des facteurs de production nécessaires) des potentiels adoptants et de la perception que ceux ci ont des caractéristiques des innovations qui leur sont proposées et des conséquences de ces innovations sur l'amélioration de leur niveau de vie (2, 18).

Modélisation

L'adoption d'une innovation peut de manière conventionnelle être modélisée comme un choix entre deux alternatives: adopter ou ne pas adopter (3).

Tableau 1
Description des variables utilisées dans le modèle d'adoption.

Variables	Description
Variable dépendante	
paquetechq	Paquet technique. Elle prend la valeur 1 si le paquet technique est adopté dans son ensemble, 0 si non
Variables explicatives	
genre	Genre (1= homme, 0= femme)
expmais	Nombre d'années d'expérience de la culture du maïs
nivinstr	Niveau d'instruction (1= n'a pas été scolarisé, 2= niveau primaire, 3= niveau secondaire 1 ^{er} cycle, 4= niveau secondaire 2 ^{ème} cycle, 5= niveau universitaire)
orienpro	Principale orientation de la production (1= Autoconsommation, 0= Vente)
tailexplmais	Taille de l'exploitation de maïs (mesurée en hectares)
foncier	Mode d'accès à la terre (1= propriété, 0= location)
sourcerev	Source de revenus autre qu'agricole (1= oui, 0= non)
gic	Membre d'une organisation de producteurs (1= oui, 0= non)
vulgarisation	Contact avec des services de vulgarisation agricole (1= oui, 0= non)

Un modèle logit simple (tableau 1) a été utilisé pour spécifier les relations entre la probabilité d'adopter le paquet technique vulgarisé et les déterminants de celle ci, la fonction logistique étant la plus à même d'expliquer le processus d'adoption des innovations agricoles (4).

Les données utilisées

Les données utilisées sont celles d'une enquête menée en mars 2010 dans le département du Noun (région de l'ouest Cameroun), retenu en raison de la forte proportion de sa population agricole cultivant le maïs. L'enquête a été menée avec la collaboration des services du ministère de l'agriculture et du développement rural, les structures d'appui à la filière maïs et la division départementale des enquêtes et statistiques agricoles. Un échantillon de 52 exploitants agricoles a été choisi de façon aléatoire et les données collectées auprès de ces exploitants portent sur leurs caractéristiques socio-économiques, leurs sources d'information sur les éléments du paquet technique vulgarisé, des variables institutionnelles (adhésion à une organisation de producteurs, contact avec les services de vulgarisation agricole, mode d'accès à la terre), l'adoption du paquet technique (l'exploitant enquêté a t il ou pas recours à tout ou partie du paquet technique, les raisons de son choix).

Résultats

Caractéristiques des répondants et de leurs exploitations

Si la plupart des répondants sont des hommes, qui possèdent le plus souvent les terres, les femmes (42% de l'échantillon) jouent un rôle central dans le processus d'adoption d'innovations sur les productions alimentaires dont le maïs. La grande majorité d'entre elles cultivent pour leur compte des parcelles mises à disposition par leurs époux ou dans quelques cas reçues en héritage.

Les exploitants enquêtés sont âgés de 17 à 68 ans soit une moyenne de 45 ans. Ceux ayant 40 ans et plus sont les plus nombreux (79%) et sont en majorité des femmes. Les jeunes hommes s'intéressent plus à des activités non agricoles (petit commerce, transports publics et autres prestations de services) et migrent vers les centres urbains laissant les activités agricoles aux femmes et aux hommes plus âgés.

Presque tous les répondants (92%) ont été scolarisés. Pour 4/5 d'entre eux, la vente de produits agricoles est la principale source de revenus. Les autres sources de revenus sont

l'élevage, le petit commerce, une activité salariale, des prestations de services diverses. La tenure foncière est appréhendée par le mode d'accès à la terre: 90% des exploitants agricoles interrogés sont propriétaires par héritage, don ou achat, des parcelles de maïs qu'ils cultivent, les autres principalement des allochtones les louent. Le maïs occupe une place importante dans l'alimentation et aussi dans la vie sociale des populations de cette région. Plus de la moitié (54%) des exploitants de l'échantillon cultivent le maïs depuis au moins 10 ans, sur des superficies de 0,5 à 2 hectares dans 65 % des exploitations.

Le maïs est cultivé pour la grande majorité (92%) sur au moins la moitié de leur assolement, seul ou en association avec l'arachide, le haricot, le soja, le manioc, la morelle noire, le gombo, le piment. Les outils agricoles sont manuels et les techniques utilisées se transmettent d'une génération à une autre.

Plus de la moitié (54%) des répondants cultivent le maïs pour l'autoconsommation, une partie de la production est cependant vendue pour répondre à des besoins ponctuels de trésorerie (dépenses de santé, événements sociaux, début de campagne agricole, rentrée scolaire). Pour le reste des répondants (46%) la production est principalement destinée à la vente.

Tous les exploitants de l'échantillon disent discuter de leurs contraintes de production, des solutions expérimentées par les uns et les autres, des effets de nouvelles technologies et techniques de production avec les membres de leur entourage. De plus, environ 48% sont en contact avec des services de vulgarisation agricole et prennent part aux stages pratiques et séminaires de formation organisés à leur intention.

Seulement 17% des répondants adoptent le paquet dans son ensemble, les autres (83%) n'adoptent qu'un, deux ou trois éléments. Les adoptants sont en majorité des hommes qui cultivent le maïs pour la vente sur plus de 4 hectares et sont en contact avec les services de vulgarisation agricole.

Facteurs explicatifs de l'adoption du paquet technique vulgarisé

Quatre variables expliquent la probabilité d'adopter le paquet technique (Tableau 2). Il s'agit de la principale orientation de la production, du contact avec les services de vulgarisation agricole, du mode d'accès à la terre, de la taille de l'exploitation de maïs.

Tableau 2
Résultats de l'estimation logit du modèle d'adoption.

Logistic regression		Number of obs		52	
		Wald chi ² (9)		35.45	
		Prob > chi ²		0.0000	
Log pseudolikelihood		Pseudo R ²		0.6304	
Robust					
paquetechnq	Coef	Std. Err	z	P> z	[95% Conf. Interval]
genre	.9299048	1.884804	0.49	0.622	-2.764242 4.624052
	-.053994				
expmais	5	.074784	-0.72	0.470	-.2005684 .0925794
	-.104582				
nivinstr	3	.7033214	-0.15	0.882	-1.483067 1.273902
	-				
orienpro	4.728085	1.477564	-3.20	0.001*	-7.624057 -1.832114
tailexplmais	1.382693	.3657958	3.78	0.000*	.6657461 2.099639
	-				
fondier	3.406163	2.008765	-1.70	0.090***	-7.34327 .5309437
sourcerev	3.17621	2.452951	1.29	0.195	-1.631487 7.983906
gic	.0979133	1.71419	0.06	0.954	-3.261837 3.457663
vulgarisation	5.208021	2.127657	2.45	0.014**	1.03789 9.378152
	-				
cons	7.183604	3.757451	-1.91	0.056	-14.54807 .1808646

Légende: * significativité à 1%, ** significativité à 5%, *** significativité à 10%

Tableau 3
Effets marginaux.

Y= Pr (paquetechnique) (predict)	.00164234
Variable	dy/dx
genre*	.001471
expmais	-.0000885
Nivinstr	-.0001715
orienpro*	-.0203651
tailexplmais	.0022671
fondier*	-.0333272
sourcerev*	.0177932
gic*	.000157
vulgarisation*	.0238557

Légende: (*) dy/dx is for discrete change of dummy variable from 0 to 1.

La valeur numérique des coefficients du modèle logit n'ayant pas d'interprétation directe, l'effet des variables explicatives sur la probabilité d'adopter le paquet technique est apprécié à travers le calcul des effets marginaux (Tableau 3).

Il en ressort que bien que la probabilité d'adopter le paquet technique vulgarisé croît avec la superficie cultivée en maïs, toute chose égale par ailleurs, l'accroissement de cette superficie d'un hectare n'augmente la probabilité d'adopter le paquet technique que de 0,2%. L'orientation marchande de la production a en revanche une plus grande influence sur la probabilité d'adopter le paquet technique, elle accroît celle-ci de 2%. Ainsi, si un exploitant agricole de l'échantillon considéré passe de l'autoconsommation comme principale

orientation de sa production de maïs à une orientation marchande, sa probabilité d'adopter le paquet technique est plus proche de 1. Cependant, le fait de louer les terres cultivées accroît de près de 3,3% la probabilité d'adopter le paquet technique. Les exploitants agricoles qui louent les terres qu'ils cultivent doivent verser aux propriétaires de ces terres une contrepartie financière et sont de ce fait très soucieux d'avoir une bonne récolte. Ils sont donc plus enclins à adopter des technologies et techniques de production à haut rendement.

Le calcul des effets marginaux montre également qu'un exploitant agricole qui est en contact avec des agents de vulgarisation ou participe à des démonstrations organisées par ceux-ci a une probabilité d'adopter le paquet technique vulgarisé plus proche de 1 que ses pairs. En effet, être en contact avec des services de vulgarisation accroît de près de 2,4% la probabilité d'adopter le paquet technique.

Discussion

Cette étude met en évidence des éléments déterminants de l'adoption des innovations agricoles (orientation marchande de la production, mode d'accès à la terre, taille de l'exploitation, contact avec des services de vulgarisation, les différences de personnalité, de niveau d'éducation, de situation économique) relevés dans de précédentes études (1, 3, 7, 15, 18, 23, 26).

Cependant, si la taille de l'exploitation est un des premiers critères mis en évidence par la littérature pour expliquer les décisions individuelles d'adoption de nouvelles technologies (7), notre étude souligne que l'accroissement de la taille de l'exploitation n'augmente que faiblement la probabilité d'adopter le paquet technique sur le maïs.

Les agriculteurs qui louent les terres sur lesquelles ils cultivent le maïs n'ont généralement accès qu'à de petites superficies, du fait entre autres de la forte densité de population dans la zone d'étude (17). Cependant, la location comme mode d'accès à la terre a un effet positif sur la probabilité d'adopter le paquet technique. Cette relation positive peut être due au fait que disposant de peu de terre, les exploitants agricoles qui louent les terres qu'ils cultivent sont plus enclins à intensifier les cultures qu'ils y font et de ce fait à adopter des technologies qui optimisent les rendements. Un exploitant agricole est en effet susceptible de recourir à une nouvelle technologie si celle-ci lui permet de mieux réaliser ses objectifs de production (10, 18).

Lorsqu'une nouvelle technologie est introduite dans une région, il y a souvent une forte incertitude sur l'efficacité de celle-ci dans les conditions locales, l'incertitude diminue au fil du temps lorsque certains agriculteurs de la région adoptent et gagnent de l'expérience avec la nouvelle technologie, ils servent ensuite de référence aux autres agriculteurs de la région (3). Ces pionniers sont plus souvent que leurs pairs en contact avec des agents de vulgarisation avec lesquels ils discutent des avantages et inconvénients d'une innovation pour leur exploitation (18, 23). C'est le cas dans la présente étude où les exploitants ayant adopté le paquet technique sont presque tous (90%) en contact avec les services de vulgarisation.

De précédentes études ont également souligné le fait que c'est généralement au sein d'organisations de producteurs et de groupes d'entraide que les exploitants agricoles discutent de leur activité avec leurs pairs, s'informent auprès d'eux, partagent mutuellement leurs expériences et échangent sur de nouvelles technologies et techniques de production (12, 19). Les informations ainsi recueillies ont un rôle dans le processus d'adoption. Près de 90% des répondants ayant adopté le paquet technique sont membres d'une organisation de producteurs.

Nos résultats soulignent cependant que 83% des répondants n'adoptent que partiellement le paquet technique proposé. Leur choix porte sur un, deux ou trois des quatre éléments du paquet technique

et la combinaison de ceux ci répond à des besoins, stratégies et caractéristiques spécifiques. On peut différencier de jeunes exploitants ayant un niveau d'étude secondaire disposant de revenus non agricoles, n'étant pas en contact avec la vulgarisation agricole et qui n'adoptent qu'un ou deux éléments du paquet technique, des agriculteurs (hommes et femmes) plus âgés, ayant été scolarisés (primaire et secondaire) qui ont surtout des revenus agricoles et qui adoptent 2 à 3 éléments du paquet technique du fait de leur contact avec la vulgarisation et de leur réseaux sociaux et familiaux . Les éléments les plus acceptés concernent le recours aux intrants (engrais, pesticides) utilisables sur plusieurs cultures dans les systèmes associés mais on note la difficulté d'adoption des nouvelles variétés et de la monoculture.

Le paquet technique proposé recommande la monoculture du maïs or traditionnellement dans cette région, les agriculteurs associent au maïs des légumineuses, des légumes, des racines et tubercules (22). Il a été montré que les légumineuses associées au maïs satisfont leur besoin en azote et libèrent les excès pour le maïs représentant ainsi une économie de fertilisant azoté (20). En monoculture, cet apport en azote doit être compensé par des engrains minéraux, ce qui engendre un coût qui peut être un frein à l'adoption de la monoculture.

La réticence à adopter les variétés améliorées de semences peut être expliquée par le fait que ces innovations soient relativement nouvelles comparées aux engrais et pesticides introduits plus tôt dans la région pour la culture du café. Les techniques de production se transmettant de génération en génération, les agriculteurs de cette région sont plus familiers à l'usage d'engrais, de pesticides et de semences tirées de la précédente récolte. De plus, le maïs est cultivé par la plupart des répondants en priorité pour l'autoconsommation et ce dans de petites exploitations familiales or les ménages agricoles sont généralement supposés averses au risque car ils doivent sécuriser l'alimentation et les besoins du ménage (13).

Conclusions

Cette analyse montre que le contact avec les services de vulgarisation, la location des terres, l'orientation marchande de la production augmentent de manière significative la probabilité d'adopter le paquet technique proposé par la recherche agronomique. Cependant, le faible taux d'adoption pourrait traduire une certaine inadéquation au contexte local de production et/ou aux besoins des

agriculteurs et remet en question la notion de «paquet technique standard». Ces résultats remettent également en question la nécessité pour la recherche et les services de vulgarisation agricoles de proposer une gamme élargie de propositions techniques qui permettent d'optimiser la diversité et l'hétérogénéité des systèmes de production et de culture existants. Ils interrogent aussi la nécessité de mieux comprendre les processus d'innovation variétale endogènes aux

sociétés agraires et la compatibilité des nouvelles variétés proposées par la recherche agronomique à ces processus, aux besoins spécifiques des exploitants et aux caractéristiques de leurs exploitations. Dans cette "contextualisation" de la recherche et de la vulgarisation, les connaissances et l'expertise des agriculteurs sont alors considérées comme des ressources mobilisables pour la conception de nouvelles variétés au sein des programmes de recherche agronomique.

Références bibliographiques

1. Ali-Olubandwa A.M., Odero-Wanga D., Kathuri N.J. & Shivoga W.A., 2010, Adoption of improved maize production practices among small scale farmers in the agricultural reform era: the case of western province of Kenya. *J. Int. Agric. Extension Educ.*, **17**, 21-30.
2. Bentz B., Bergeret P., Castellanet C., Delville P. L., Thibaut D., Bal P. & Wybrecht B., 2002, Appuyer les innovations paysannes. Dialogue avec les producteurs et expérimentations en milieu paysan. *Editions du GRET, Ministère des Affaires étrangères*, Paris, 88 p.
3. Caswell M., Fuglie K., Ingram C., Jans S. & Kascak C., 2001, *Adoption of agricultural production practices: lessons learned from the U.S. Department of Agriculture Area Studies Project. Agricultural Economic Report N° 792*, Economic Research Service, U.S. Department of Agriculture.
4. CIMMYT (Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo), 1993, The adoption of agricultural technology. A guide for survey design. Economics Programme, International Maize and Wheat Improvement Centre, Mexico DF, 88 p.
5. Datt G. & Ravallion M., 1998, Farm productivity and rural poverty in India. *J. Dev. Stud.*, **34**, 62-85.
6. Enete A.A. & Onyekuru A.N., 2011, Challenges of agricultural adaptation to climate change: empirical evidence from Southeast Nigeria. *Tropicatura*, **29**(4), 243-249.
7. Feder G., Just R.E. & Zilberman D., 1985, Adoption of agricultural innovations in developing countries: a survey. *Economic Development and Cultural Change*, **33**, 255-298.
8. Feder G. & Umali D.L., 1993, The adoption of agricultural innovations: a review. *Technol. Forecasting Social Change*, **43**, 255-298.
9. Fofiri E.J., Ndamé J.P., Temple L., Dury S., Ndjouenkeu R. & Simeu Kamdem M., 2010, L'émergence du maïs dans la consommation alimentaire des ménages urbains au Nord-Cameroun. *Econ. Rurale*, **318-319**, 65-79.
10. Griliches Z., 1957, Hybrid Corn: An exploration in the economics of technological change. *Econometrica*, **25**, 501-522.
11. INS (Institut National de la Statistique), 2008, *Conditions de vie des populations et profil de pauvreté au Cameroun, 145 en 2007*. Rapport principal de l'ECAM3. République du Cameroun, 145 p.
12. Klerkx L., Van Mierlo B. & Leeuwis C., 2012, Evolution of systems approaches to agricultural innovation: concepts, analysis and interventions. In: Darnhofer, I., Gibbon, D., Dedieu, B. (Eds). *Farming systems research into the 21st* century: The new dynamic. Springer, Dordrecht, 457-483.
13. Lipton M. & Longhurst R., 1989, *New seeds and poor people*. Unwin Hyman, London, 471 p.
14. MINADER (Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural), 2006, *Stratégie de Développement du Secteur Rural. Synthèse du volet agriculture et développement rural*. Document de travail, République du Cameroun, 84 p.
15. Monge M., Hartwich F. & Halgin D., 2008, *How change agents and social capital influence the adoption of innovations among small farmers*. Discussion Paper 00761. International Food Policy Research Institute, Washington DC, 76 p.
16. Nkamleu G.B., 2004, L'échec de la croissance de la productivité agricole en Afrique Francophone. *Econ. Rurale*, **279**, 55-67.
17. Nkendah R. & Temple L. 2003, Pression démographique et efficacité technique des producteurs de banane plantain de l'Ouest-Cameroun. *Cah. Agric.*, **12**, 333-339.
18. Rogers E.M., 2003, Diffusion of innovations. Fifth edition. New York, Free Press, 512 p.
19. Temple L., Kwa M., Tetang J. & Bikoï A., 2011, Organizational determinants of technological innovation in food agriculture and impacts on sustainable development. *Agron. Sustainable Dev.*, **31**, 745-755.
20. Trenbath B.R., 1976, Plant interactions in mixed crop communities. In: Multiple Cropping Papendick, Sanchez and Triplett (Eds). *ASA spec. Publ.*, **27**, 129-170.
21. Valente T.W. & Davis R.L., 1999, Accelerating the diffusion of innovations using opinion leaders. *Ann. Am. Acad. Political Social Sci.*, **566**, 55-67.
22. Valet S., 2004, Effet de la sécheresse sur les associations culturales vivrières de l'Ouest-Cameroun. *Sécheresse*, **11**, 239-247.
23. Van Den Ban A.W., 1984, Les courants de pensée en matière de théorie de la diffusion des innovations. *Écon. Rurale*, **159**, 31-36.
24. Van Den Ban A.W., Hawkins H.S., Brouwers J.H. & Boon C.A., 1994, *La vulgarisation rurale en Afrique*. CTA, Karthala, Paris, 374 p.
- World Bank, 2007, World development report 2008: agriculture for development. World Bank Publications, Washington DC, 386 p.
25. Young H.P., 2007, *Innovation diffusion in heterogeneous populations: Contagion, social influence and social learning*. CSED. Working Paper N° 51, Brookings Institution, Washington DC, 43 p.

G. L. Mahab Tene, Camerounaise, DEA, Etudiante en cycle doctorat, Université de Yaoundé II, Cameroun.

M. Havard, Français, DEA, Chercheur en Agro-économie, Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement (CIRAD).

L. Temple, Français, Doctorat, Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement (CIRAD).

Diversité floristique, ethnobotanique et taxonomie locale des mauvaises herbes de l'oignon au Nord-est du Bénin

S. Bello^{1*}, A. Ahanchédé², G. Gbèhounou³, G. Amadji² & N. Aho²

Keywords: Diversity- Ethnobotany- Nomenclature- Onion- Typology- Weed- Benin

Résumé

Une étude a été conduite pour documenter les noms scientifiques, les noms locaux et leurs significations et appréhender la nomenclature des mauvaises herbes de l'oignon adoptée par les producteurs au Nord-est du Bénin. 30 exploitations produisant de l'oignon ont été enquêtées par des entretiens semi-structurés et un inventaire floristique a été réalisé dans chacune d'elles. Les espèces et leurs familles botaniques ainsi que les critères de leurs dénominations locales ont été identifiés et ont servi à l'élaboration d'une typologie de taxonomie locale. 71 espèces appartenant à 26 familles botaniques et 17 espèces réparties dans six familles constituent respectivement les flores générale et associée à l'oignon en végétation. Les familles qui regroupent le plus d'espèces sont les Poaceae, les Cyperaceae, les Commelinaceae, les Malvaceae, les Fabaceae et les Portulacaceae. L'écologie, la morphologie, la résistance au désherbage manuel et les usages socio-culturels sont les critères qui fondent la dénomination de 39 des 71 espèces recensées et qui ont servi à l'élaboration d'une typologie de taxonomie locale. Les 32 autres espèces qui n'ont pas de nom local ne présentent pas un intérêt agro-écologique et ni socio-culturel majeur pour les producteurs. L'évaluation de l'importance agronomique de la flore associée à l'oignon en végétation pourra contribuer à une meilleure maîtrise de l'enherbement de cette culture.

Summary

Floristic Diversity, Ethno-botanic and Local Taxonomy of Onion's Weeds in the North East of Benin

A study has been conducted in order to document scientific names, local names and their significations, and also to apprehend onion's weed species nomenclature adopted by farmers in the North East of Benin. Thirty onion's households have been surveyed through semi-structured interviews and a floristic inventory was carried out in each of them. Weeds'species and their botanic families and also the criteria of their local names have been identified and have served to elaborate a local taxonomy typology. 71 species which belong to 26 botanic families and 17 species belonging to six families constitute respectively the general flora and the flora associated to onion in vegetation. Poaceae, Cyperaceae, Commelinaceae, Malvaceae, Fabaceae and Portulacaceae are the most important families according to their number of species. Ecology, morphology, resistance to hoe weeding and socio-cultural usages are the criteria that were used to develop the local denomination of 39 among 71 identified species, and have served to elaborate the typology of local taxonomy. The other 32 species without local names do not have any major agroecological, nor socio-cultural interest for farmers. The evaluation of the agronomic importance of the flora associated to onion's vegetation can contribute to a better control of the weeds of this crop.

Introduction

Les mauvaises herbes constituent l'une des principales contraintes biotiques qui affectent la production des systèmes de cultures, notamment

dans les pays en voie de développement. Au Nord-est du Bénin, la maîtrise des mauvaises herbes de l'oignon est difficile faute d'itinéraires techniques améliorés (6). La connaissance de la biologie et de l'écologie des espèces végétales infestant une

1 INRAB/LDC, Cotonou, République du Bénin.

2 UAC/FSA, Cotonou, République du Bénin.

3 Siège de la FAO/AGPM Rome, Italie.

* Auteur correspondant: bello_saliou@yahoo.fr

Reçu le 13.02.12 et accepté pour publication le 20.12.12.

culture est nécessaire pour l'élaboration de moyens de lutte performants (15). Au Nord-Cameroun, *Brachiaria lata* et *Cyperus amabilis* sont qualifiés d'espèces indicatrices d'un niveau de fertilité acceptable, tandis que *Digitaria argillacea*, *Kyllinga tenuifolia* et *Phyllanthus amarus* sont indicatrices des sols dégradés (16). Le type de sol et notamment le mode de gestion de l'eau est un facteur discriminant des populations de mauvaises herbes en culture de sorgho repiquée (17). La flore et les espèces majeures dépendent du système de cultures et des conditions environnementales et il importe de raisonner les pratiques de désherbage en fonction de ces facteurs (10). Aucun résultat de recherche relatif à l'enherbement des cultures maraîchères au Bénin en général et dans la région Nord-est du pays en particulier n'était disponible jusqu'à présent. Pourtant, la maîtrise des mauvaises herbes, notamment de l'oignon, par des méthodes améliorées de lutte est demeurée une préoccupation des producteurs de cette région (5, 12, 13, 14). C'est pour jeter les bases d'une mise au point de méthodes de lutte efficaces contre les mauvaises herbes de l'oignon que cette étude a été conduite. De façon spécifique, elle vise à évaluer la diversité et à appréhender l'ethnobotanique et la taxonomie locale des mauvaises herbes de l'oignon dans la région de l'Alibori au Nord-est du Bénin.

Matériels et méthodes

L'étude a été conduite au cours des campagnes 2007-2008 et 2008-2009 dans les localités de Toumboutou et Kargui situées respectivement dans les communes de Malanville et de Karimama au Nord-est du Bénin, entre les parallèles 11°30' et 12°30' de latitude Nord et les méridiens 2°43' et 3°20' de longitude Est. Un climat soudano-sahélien de 600 à 900 mm d'eau/an (9), des sols ferrugineux tropicaux sablo-limoneux ou sablo-argileux (5, 6) et une savane arbustive caractérisent la zone d'étude incluse dans le réseau hydrographique du fleuve Niger. L'identification des espèces a été faite au sein de 30 exploitations productrices d'oignon sur la base d'observations directes appuyées par les indicateurs botaniques décrits par Akobundu *et al.* (3). L'actualisation des noms scientifiques acceptées a été faite avec la base de données du site web: <http://www.theplantlist.org/>. Les relevés floristiques ont été effectués sur une parcelle de chacune des 30 exploitations avant le labour, à 15 et à 45 jours après repiquage. Les relevés floristiques sont faits avant les sarclages de l'oignon. Un total de 2250 relevés avait été effectué sur les 30 parcelles aux trois périodes, à raison de 25 relevés par parcelle et par période. Sur chaque parcelle, les 25 relevés ont été réalisés dans cinq

casiers représentatifs à l'aide de cinq placettes de 0,5 m² posées à chaque extrémité et au centre des casiers. Les cinq casiers représentatifs de chaque parcelle ont été choisis sur les deux diagonales de la parcelle à raison d'un à chaque extrémité et le cinquième au centre de la parcelle. Les espèces ont été recensées dans la flore générale avant le labour et sur les parcelles d'oignon en cours de végétation, puis classées selon leurs genres et familles. Il a été procédé au dénombrement à des espèces et de leurs familles botaniques. Dans un premier temps, les noms locaux des espèces ont été renseignés et les critères qui fondent leurs dénominations ont été identifiés lors de sorties botaniques et grâce à des entretiens semi-structurés. Dans un second temps, les appellations locales et leurs significations, les doubles appellations et les synonymies des noms locaux ont été analysés par la méthode de contenu thématique. Cette approche a permis d'appréhender la taxonomie paysanne, en d'autres termes, la nomenclature locale des espèces et d'établir une typologie de cette nomenclature à partir des critères de dénominations identifiés.

Résultats

Les résultats obtenus portent sur la diversité floristique, l'ethnotanique et la taxonomie locale des espèces recensées.

Diversité floristique

a. Les espèces recensées avant le labour

La flore générale des parcelles étudiées comprend 71 espèces appartenant à 26 familles botaniques (Tableau 1). Avec 20 espèces, les Poaceae sont les mieux représentées, suivies des Cyperaceae avec cinq espèces, des Commelinaceae, des Malvaceae et des Fabaceae avec chacune quatre espèces, puis des Portulacaceae, des Mimosaceae et des Caesalpiniaceae avec chacune trois espèces. Les Amaranthaceae, les Convolvulaceae, les Cucurbitaceae, les Euphorbiaceae, les Lamiaceae, les Pedaliaceae et les Sterculiaceae comptent chacune deux espèces. Les 11 autres familles (Acanthaceae, Araceae, Cochlospermaceae, Icacinaceae, Nyctaginaceae, Nymphaeaceae, Onagraceae, Polygonaceae, Pontederiaceae, Rubiaceae et Solanaceae) ne comptent qu'une seule espèce.

b. Les espèces recensées en association avec l'oignon en végétation

Les espèces recensées en cours de végétation de l'oignon sont au nombre de 17 réparties au sein de six familles botaniques (Tableau 1). La flore

Tableau 1

Noms scientifiques, familles botaniques et nombre d'espèces de mauvaises herbes recensées avant le labour et en association avec l'oignon en végétation.

N°	Noms scientifiques	Familles botaniques	Nombre	
			Avant le labour	En association avec l'oignon en végétation
1.	<i>Dactyloctenium aegyptium</i> (L.) Wild.			
2.	<i>Digitaria nuda</i> Schumach.			
3.	<i>Echinochloa colona</i> (L.) Link			
4.	<i>Paspalum scrobiculatum</i> L.		6	6
5.	<i>Rottboellia cochinchinensis</i> (Lour.)			
6.	<i>Brachiaria lata</i> (Schumach.) C.E. Hubb.			
7.	<i>Panicum subalbidum</i> Kunth			
8.	<i>Brachiaria deflexa</i> (Schumach.) C.E. Hubb. Ex Robyns			
9.	<i>Brachiaria adspersa</i> (Trin.) Parodi			
10.	<i>Cenchrus echinatus</i> L.	Poaceae		
11.	<i>Echinochloa stagnina</i> (Retz.) P. Beauv.			
12.	<i>Elytrophorus spicatus</i> (Wild.) A. Camus			
13.	<i>Eragrostis tremula</i> Hochst. ex Steud.			
14.	<i>Hyparrhenia involucrata</i> Stapf		14	0
15.	<i>Ischaemum rugosum</i> Salisb.			
16.	<i>Oryza barthii</i> A. Chev			
17.	<i>Paspalum conjugatum</i> P.J. Bergius			
18.	<i>Setaria acromelaena</i> (Hochst.) T. Durand & Schinz			
19.	<i>Pennisetum pedicellatum</i> Trin.			
20.	<i>Andropogon gayanus</i> Kunth			
21.	<i>Cyperus tuberosus</i> Rottb.			
22.	<i>Cyperus rotundus</i> L.			
23.	<i>Fimbristylis ferruginea</i> (L.) Vahl	Cyperaceae	4	4
24.	<i>Kyllinga squamulata</i> Vahl			
25.	<i>Pycrus acaulis</i> Nelmes		1	0
26.	<i>Commelina benghalensis</i> L.			
27.	<i>Commelina diffusa</i> Burm. f.	Commelinaceae	2	2
28.	<i>Aneilema aequinoctiale</i> (P. Beauv.) Loudon			
29.	<i>Aneilema beniniense</i> (P. Beauv.) Kanth		2	0
30.	<i>Sida acuta</i> Burm. f.			
31.	<i>Sida rhombifolia</i> L.	Malvaceae	2	2
32.	<i>Malvastrum coromandelianum</i> (L.) Garcke			
33.	<i>Hibiscus asper</i> Hook. f.		2	0
34.	<i>Tephrosia bracteolata</i> Guill. & Perr.			
35.	<i>Aeschynomene indica</i> L.	Fabaceae		
36.	<i>Crotalaria retusa</i> L.		4	0
37.	<i>Zornia latifolia</i> Sm.			

38.	<i>Portulaca oleracea</i> L.			
39.	<i>Portulaca quadrifida</i> L.	Portulacaceae	2	2
40.	<i>Portulaca grandiflora</i> Hook.		1	0
41.	<i>Mimosa pudica</i> L.			
42.	<i>Mimosa invisa</i> Colla	Mimosaceae	3	0
43.	<i>Neptunia oleracea</i> Lour.			
44.	<i>Cassia abbreviata</i> Oliv.			
45.	<i>Senna obtusifolia</i> (L.) H.S. Irwin & Barneby	Caesalpiniaceae	3	0
46.	<i>Senna occidentalis</i> (L.) Link.			
47.	<i>Amaranthus spinosus</i> L.	Amaranthaceae	2	0
48.	<i>Celosia trygina</i> L.			
49.	<i>Euphorbia hirta</i> L.	Euphorbiaceae	2	0
50.	<i>Phyllanthus amarus</i> Schumach. & Thonn.			
51.	<i>Ipomoea asarifolia</i> (Desr.) Roem. & Schult.	Convolvulaceae	2	0
52.	<i>Ipomoea eriocarpa</i> R. Br.			
53.	<i>Luffa aegyptiaca</i> Mill.	Cucurbitaceae	2	0
54.	<i>Momordica charantia</i> L.			
55.	<i>Waltheria indica</i> L.	Sterculiaceae	2	0
56.	<i>Melochia corchorifolia</i> L.			
57.	<i>Sesamum indicum</i> L.	Pedaliaceae	2	0
58.	<i>Sesamum alatum</i> Thonn.			
59.	<i>Platostoma africanum</i> P. Beauv.	Lamiaceae	2	0
60.	<i>Hyptis suaveolens</i> (L.) Poit.			
61.	<i>Boerhavia diffusa</i> L.	Nyctaginaceae	1	1
62.	<i>Eichhornia natans</i> (P. Beauv.) Solms	Pontederiaceae	1	0
63.	<i>Icacina trichantha</i> oliv.	Icacinaceae	1	0
64.	<i>Cochlospermum planchonii</i> Hook. f. ex Planch.	Cochlospermaceae	1	0
65.	<i>Monechma ciliatum</i> (Jacq.) Milne-Redh.	Acanthaceae	1	0
66.	<i>Ludwigia abyssinica</i> A. rich	Onagraceae	1	0
67.	<i>Mitracarpus villosus</i> (Sw.) DC.	Rubiaceae	1	0
68.	<i>Nymphaea maculata</i> Raf.	Nymphaeaceae	1	0
69.	<i>Physalis angulata</i> L.	Solanaceae	1	0
70.	<i>Pistia stratiotes</i>	Araceae	1	0
71.	<i>Polygonum lanigerum</i> R. Br.	Polygonaceae	1	0
TOTAL		26	71	17

associée à l'oignon en culture comprend six Poaceae, quatre Cyperaceae, deux Commelinaceae, deux Malvaceae, deux Portulacaceae et une Nyctaginaceae.

Ces familles sont les plus importantes, en ce qui

concerne le nombre d'espèces, de toutes celles identifiées pour la flore générale ainsi que pour la flore des espèces associées à l'oignon en végétation.

Ethnobotanique des espèces

Les espèces sont nommées par les producteurs dans la langue locale «Dendi». Les noms attribués aux espèces varient selon l'espèce ainsi que les critères utilisés et ont diverses significations. Les critères de dénomination, les noms scientifiques, les noms locaux des espèces et leurs significations sont présentés au tableau 2.

Taxonomie locale des espèces recensées

a. Les critères de dénominations

Les dénominations locales des espèces obéissent à des critères de classification qui sont relatifs à l'écologie, à la morphologie, à la résistance au désherbage manuel, à l'usage médicinal, à l'usage aux fins d'occultisme, à l'alimentation humaine et à l'alimentation animale (Tableau 2). Il convient d'analyser la rationalité qui fonde ces dénominations adoptées par la communauté des producteurs.

b. La typologie adoptée pour la nomenclature

Les appellations locales des espèces revêtent des significations qu'il faut analyser afin d'en appréhender les sens, les considérations ethnobotaniques, les implications et la rationalité qui y sont rattachés et qui fondent la nomenclature adoptée par les producteurs.

c. Dénominations basées sur l'écologie

Cinq espèces sur 39 sont nommées par rapport à leurs caractères d'indicateur écologique. Leurs dénominations ont trait à leur présence en friche ou en jachère pour *Andropogon gayanus* dénommée «mère de friche», et en milieu humide pour *Commelina benghalensis* (Photo 1) appelé «Fadama hannei» qui signifie «herbe du bas-fond». *Luffa aegyptiaca* est appelé «Gorou hannei», c'est-à-dire qui pousse dans le fleuve et *Paspalum scrobiculatum* «Dei bonsoubou», c'est-à-dire «qui pousse à côté des points d'eau». *Pistia stratiotes* est nommé «Deidei kafandi», ce qui veut dire «recouvre la surface de l'eau du puits».

d. Dénominations basées sur la morphologie

Vingt deux espèces sont nommées par rapport à leurs traits morphologiques ou à leur ressemblance à d'autres espèces. Nous prendrons quelques exemples pour illustrer ce type de dénomination. Les traits morphologiques sont relatifs à la couleur comme c'est le cas d'*Ischaemum rugosum* ou «Bourougou rouge» avec «Bourougou» qui signifie *Echinochloa stagnina*. Certains noms traduisent la

taille de la plante, comme c'est le cas avec *Aneilema aequinoctiale* appelé «Balassè beri», ce qui veut dire «Grand Balassè» et qui est traduit par *Commelina diffusa* de grande taille. De la même façon, *Cassia abbreviata* est dénommé «Ganda bani», c'est-à-dire «Petit bani» avec «Bani» qui signifie *Acacia nilotica*. Par ailleurs, *Cyperus tuberosus* est appelée «Hanti beri» pour exprimer le Grand «hanti» qui traduit en fait *Cyperus rotundus* (Photo 2) de grande taille. D'autres appellations expriment le type de port. A titre d'exemple, *Mimosa pudica* est appelé «Goumbi bi», en d'autres termes «Buisson noir». Les noms locaux attribués à *Portulaca quadrifida* (Photo 3), *Boerhavia diffusa* et *Monechma ciliatum* qui sont respectivement «Dardare ou Daada», «Zibi beri» et «Nounougou déké déké» traduisent l'étendue du recouvrement foliaire de la surface du sol pour les deux premiers et l'épaisseur de ce recouvrement pour le troisième. Certains noms se rapportent à la ressemblance à l'organe d'un animal: *Kyllinga squamulata* est appelé «Tchon kabè» qui signifie «la barbe de souris»; *Mitracarpus villosus* est dénommé le genou du cabri, *Paspalum conjugatum* l'orteil d'oiseau, *Ipomoea asarifolia* l'herbe aux feuilles en forme de bottes d'âne, *Celosia trygina* la crête du coq, *Fimbristylis ferruginea* la langue de crapeau et *Ipomoea eriocarpa* l'oreille de chien. Par ailleurs, *Phyllanthus amarus* est dénommée «Hai da banda» qui signifie «produit ses fruits à l'arrière».

e. Dénominations basées sur la résistance au désherbage manuel

Les dénominations de trois espèces, *Dactyloctenium aegyptium*, *Elytrophorus spicatus* et *Portulaca oleracea* (Photo 4), se réfèrent à la résistance au désherbage manuel.

Les noms de ces espèces traduisent la difficulté qu'éprouvent les producteurs pour maîtriser ces espèces par un désherbage manuel. Les noms attribués à *Portulaca oleracea* «Arzaka doukou doudou» et «Koeyi ki m'baba manka» qui signifient respectivement «la richesse inépuisable» et «va dire à ton père de venir» reflètent la difficulté du contrôle de cette espèce liée à une exigence de temps pour le premier nom et de main d'œuvre ainsi que de temps pour le deuxième nom.

Le nom local de *Dactyloctenium aegyptium*, «Boro zangou sa dogou», signifie «100 hommes ne peuvent pas déterrre ça». De même, *Elytrophorus spicatus* est appelé «Nani Waniga» qui signifie «qui s'attaque à autrui» et traduit en d'autres termes le fait qu'il «s'arrache, mais subsiste quand même en



Photo 1: Plant de *Commelina benghalensis*.



Photo 3: Plant de *Portulaca quadrifida*.



Photo 2: Plant de *Cyperus rotundus*.

terre». Ces noms reflètent tous la résistance de ces espèces au désherbage manuel.

f. Dénominations basées sur les usages socio-culturels

Les appellations qui reflètent les usages socio-culturels sont basées sur les usages médicinal, alimentaire, occulte et domestique. Onze espèces sont concernées par ce type de dénomination. Les appellations de *Hyptis suaveolens*, puis d'*Amaranthus spinosus* et de *Waltheria indica* signifient respectivement «le médicament du moustique» pour la première espèce et «contre les brûlures de feu» pour les deux dernières.

Les noms locaux d'*Euphorbia hirta* (Kolonwin henni) et de *Pennisetum pedicellatum* (Zogo dolo) qui signifient «le mil (*Pennisetum glaucum* (L.) R.Br.) de la tourterelle» se rapportent à l'usage alimentaire de ces deux espèces par l'oiseau appelé «tourterelle». Pour l'alimentation humaine,



Photo 4: Plant de *Portulaca oleracea*.

Sesamum indicum et *Sesamum alatum*, sont appelés indistinctement «Fei Yoto», qui signifie «feuille gluante». De même, *Ludwigia abyssinica* est appelé «Allei fei», qui signifie «légume feuille» pour sa valorisation à des fins de sauce légume tout comme *Sesamum indicum* et *Sesamum alatum*. L'appellation «Fei bi» attribuée à *Physalis angulata* exprime la sauce noire qu'elle sert à obtenir. Le nom local de *Panicum subalbidum* «Kola windi boudou» traduit son usage domestique comme «tige de bois utilisée pour la clôture des maisons». Enfin, le nom local de *Crotalaria retusa* traduit par «le retour à l'envoyeur» est lié à son usage à des fins d'occultisme.

Discussion

La présence avant le labour au sein de la flore générale de 20 Poaceae, de cinq Cyperaceae, de quatre Commelinaceae, de quatre Malvaceae, de quatre Fabaceae, de trois Caesalpiniaceae, de deux Convolvulaceae, de deux Euphorbiaceae, de

Tableau 2
Critères de dénomination, noms scientifiques, noms locaux et leurs significations pour les espèces recensées.

Critères de dénomination	Noms scientifiques	Noms locaux en langue locale Dendi	Signification
Ecologie	<i>Andropogon gayanus</i>	Lali gna	Mère de friche (indicateur du niveau de fertilité)
	<i>Commelina benghalensis</i> ^(*)	Fadama hannei	L'herbe du bas-fond
	<i>Paspalum scrobiculatum</i>	Dei bonsoubou	Pousse à côté des points d'eau
	<i>Pistia stratiotes</i>	Deidei kafandi	Recouvre la surface de l'eau du puits
	<i>Luffa aegyptiaca</i>	Gorou hannei	Qui pousse dans le fleuve
Morphologie	<i>Ischaemum rugosum</i>	Bourougou tchia	Bourougou rouge avec Bourougou= <i>Echinochloa stagnina</i>
	<i>Oryza barthii</i>	Béou	Riz sauvage à tige veloutée
	<i>Kyllinga squamulata</i>	Tchon kabè	Barbe de souris
	<i>Mimosa pudica</i>	Goumbi bi	Buisson noir
	<i>Mitracarpus villosus</i>	Hantchinin kanguéi	Genou du cabri
	<i>Paspalum conjugatum</i>	Tchiotché	Patte ou orteil d'oiseau
	<i>Phyllanthus amarus</i>	Hai da banda	Produit ses fruits à l'arrière
	<i>Rottboellia cochinchinensis</i>	Zanka satibi	L'enfant ne peut pas toucher (à cause des poils piquants)
	<i>Ipomoea asarifolia</i>	Farka tchékonsi	Feuilles en forme de bottes d'âne
		-Dardare	Qui s'étend, qui couvre
	<i>Portulaca quadrifida</i>	-Aloubassa mali	Striga de l'oignon
		-Bilalazi	
	<i>Aneilema aequinoctiale</i>	Balassè beri	Grand «Balassè» (Balassè signifie <i>Commelina diffusa</i>)
	<i>Cassia abbreviata</i>	Ganda bani	Petit bani (Bani signifie <i>Acacia nilotica</i> (L.) Delile)
	<i>Celosia trygina</i>	Gougari yollo	Crête du coq
	<i>Cyperus rotundus</i>	Hanti	La même appellation est attribuée à <i>Cyperus esculentus</i>
	<i>Cyperus tuberosus</i>	Hanti beri	Grand hanti (Hanti signifie <i>Cyperus rotundus</i>)
	<i>Fimbristylis ferruginea</i>	Ganga Tiri	Langue de crapeau
		Korobata déné	
	<i>Hyparrhenia involucrata</i>	Korokondi	Retient l'eau de rosée
	<i>Ipomoea eriocarpa</i>	Hansi hanga	Oreille de chien
	<i>Portulaca quadrifida</i>	Dardare ou Daada	Qui s'étend, qui couvre
	<i>Boerhavia diffusa</i>	Zibi beri	Grande saleté (par analogie à son recouvrement abondant)
	<i>Monechma ciliatum</i>	Nounougou déké déké	Qui s'entasse
	<i>Portulaca oleracea</i> ^(*)	Mourou Maradjé ou Mourou Madjé Djiré hamey	Foie du lépreux
	<i>Commelina benghalensis</i> ^(*)	Balassè beri	Grand Balassè (Balassè signifie <i>Commelina diffusa</i>)

Résistance au désherbage manuel	<i>Dactyloctenium aegyptium</i>	Boro zangou sa dogou Arzaka doukou doudou <i>Portulaca oleracea</i> (*)	100 hommes ne peuvent pas le déterrer Richesse inépuisable Va dire à ton père de venir Qui s'attaque à autrui (Il s'arrache, mais subsiste en terre)
Médicinal	<i>Hyptis suaveolens</i> <i>Waltheria indica</i> <i>Amaranthus spinosus</i>	Sorobo safari Ninébasa Sosso karidji	Médicament du moustique Contre les brûlures de feu Contre les brûlures de feu
Alimentation animale	<i>Pennisetum pedicellatum</i> <i>Euphorbia hirta</i>	Zogo dolo Kolonw in henni	Le mil (<i>Pennisetum glaucum</i> (L.) R.Br.) de la tourterelle Le mil (<i>Pennisetum glaucum</i> (L.) R.Br.) de la tourterelle
Alimentation humaine	<i>Sesamum indicum</i> <i>Sesamum alatum</i> <i>Ludwigia abyssinica</i> <i>Physalis angulata</i>	Fei Yoto Dogo si na mari Fei Yoto Allei fei Féi bi	Feuille gluante L'élançé n'a pas de moutarde Feuille gluante Légume feuille Sauce noire
Usage domestique	<i>Panicum subalbidum</i>	Kola w indi boudou	Tige utilisée pour la clôture des maisons
Occultisme	<i>Crotalaria retusa</i>	Dou ma dabou hinga faouco ga	Le retour à l'envoyeur

(*): Signifie qu'un nom est répété au moins une fois pour une raison de double appellation.

deux Lamiaceae, de deux Pedaliaceae, de deux Sterculiaceae et d'une Nyctaginaceae traduit que ces familles botaniques, de par le nombre d'espèces qu'elles représentent dans la flore recensée, sont les plus importantes. Ce résultat concorde avec ceux de Ahanchédé *et al.* (2) qui avaient inventorié quinze Poaceae, quatre Commelinaceae, quatre Euphorbiaceae, quatre Fabaceae, trois Nyctaginaceae, deux Malvaceae, deux Caesalpiniaceae, deux Cyperaceae, une Pedaliaceae, une Sterculiaceae et une Convolvulaceae dans la flore des systèmes de cultures pluviales à base de coton au Nord-est du Bénin. Ahanchédé *et al.* (2) avaient identifié aussi sept espèces d'Asteraceae alors que la présente étude n'a identifié aucune. Bien que les deux études aient été conduites dans la même région du Nord-est du Bénin, les résultats de Ahanchédé *et al.* (2) se réfèrent à des cultures pluviales en zone cotonnière alors que ceux de la présente étude ont porté sur l'oignon, une culture maraîchère irriguée en zone de cultures vivrières. En considérant que les espèces recensées se retrouvent aussi en cultures pures de piment et de tomate irriguées dans la région d'étude et que certaines d'entre elles sont communes à des agro-systèmes en Côte

d'Ivoire (8), on peut admettre qu'il n'y a pas une spécialisation des espèces à une région donnée (11, 19). Cette constatation infirme l'observation selon laquelle «les cultures maraîchères ont tendance à sélectionner une flore plus ciblée, adaptée au travail régulier du sol, des rotations courtes et de forts apports d'engrais (10)».

La taxonomie paysanne utilise des appellations doubles ainsi que des synonymies. C'est ainsi que le nom local «Balassè beri» qui signifie «grand Balassè» désigne à la fois *Commelina benghalensis* et *Aneilema aequinoctiale*. Il évoque en fait une double appellation, c'est-à-dire un même nom local attribué à deux espèces. Cette double appellation se fonde en fait sur la comparaison de ces deux espèces à *Commelina diffusa*. Dans le même ordre d'idée, *Sesamum indicum* et *Sesamum alatum* ont été nommés «Fei Yoto» qui signifie «feuille gluante» pour signifier leur usage alimentaire aux fins de sauce légume. Dans la même logique, les noms locaux «Ninébassa» et «Sosso karidji» utilisés pour désigner respectivement *Waltheria indica* et *Amaranthus spinosus* traduisent la même utilisation de ces plantes pour «traiter les brûlures de feu».

Par ailleurs, *Sesamum alatum* est aussi appelé «Dogo si na mari» qui traduit littéralement «l'élancé n'a pas de moutarde», une expression qui explique le goût amer de sa sauce lorsque celle-ci n'est pas assaisonnée à la moutarde. Cette double appellation d'une même espèce par deux noms locaux qui lui sont attribués se réfère plutôt à une synonymie.

Il a été observé une certaine application de savoirs techniques locaux à la connaissance et à la valorisation de la flore recensée par les producteurs. Cette taxonomie traditionnelle appréhendée concerne 39 espèces sur les 71, soit 55% des espèces de la flore générale dont les noms locaux ont une certaine signification. La double appellation de *Commelina benghalensis* et d'*Aneilema aequinoctiale* qui est liée à leur comparaison à *Commelina diffusa* au plan morphologique par rapport à la taille peut s'expliquer par leur appartenance à la même famille des Commelinaceae. Le qualificatif «d'herbe du bas-fond» attribué à *Commelina benghalensis* par les producteurs est certainement basé sur sa présence sur les terrains humides propices au maraîchage dans la région d'étude. Les appellations locales des espèces dans des régions différentes présentent des similitudes. C'est le cas de *Portulaca quadrifida* nommé dans la région d'étude «Dardare ou Daada», ce qui veut dire «qui s'étend ou qui couvre». Cette espèce est appelée dans la région sud du pays, en langue locale Fon, «Handoukpo» qui signifie littéralement «le porc le broute et il en reste malgré son appétit vorace». Contrairement à *Sesamum indicum*, *Sesamum alatum* et *Ludwigia abyssinica* retrouvés seulement dans la flore générale, *Portulaca oleracea* est encore retrouvé en association avec l'oignon en végétation. Son désherbage est sélectif et permet de valoriser la biomasse aux fins de légume feuille en raison de ses valeurs nutritives (18). Les usages alimentaires de *Sesamum indicum*, de *Physalis angulata* et de *Portulaca oleracea* ont été documentés par plusieurs auteurs. La consommation de *Sesamum indicum* L. appelé aussi Dossi et Wari en langue Bariba comme sauce gluante est plus développée dans les régions centrale et nord du pays où les feuilles fraîches sont seulement disponibles en saison pluvieuse, mais la plante peut être séchée, réduite en poudre et conservé pour un usage en saison sèche (1). Akoègninou et al. (4) avaient inventorié cette espèce à Karimama au Nord-est du Bénin. *Physalis angulata* L. est consommé comme un légume feuille par le groupe sociolinguistique «Anii» dans la commune de Bassila au Nord-ouest du Bénin. Cependant, cette espèce est assez

répandue dans les trois zones phytogéographiques du Bénin dont Malanville (1). *Portulaca oleracea* L. a été identifié au Sud par Akoègninou et al. (4) et au Nord du pays notamment à Karimama et à Malanville où les feuilles et tiges fraîches sont récoltées dans la nature et consommées par les communautés Gourmantché, Dendi et Boko en saison pluvieuse (1).

La traduction des appellations de *Dactyloctenium aegyptium*, *Elytrophorus spicatus* et *Portulaca oleracea*, et même de *Portulaca quadrifida* (qui s'étend ou qui couvre) est révélatrice de la pénibilité de leur maîtrise par le désherbage manuel. En effet, cette méthode est demeurée jusqu'à présent la seule pratique de lutte réalisée par la quasi-totalité des producteurs et qui se révèle d'ailleurs inefficace (5, 12, 13, 14). Les résultats de cette étude relatifs aux critères de taxonomie locale des espèces de mauvaises herbes de l'oignon sont comparables à ceux qui avaient été obtenus dans le cadre d'une étude sur la diversité variétale du niébé en région centrale du Nord-Bénin. En effet, cette étude avait rapporté que les critères de morphologie, d'écologie, de main-d'œuvre utile pour la récolte à temps en rapport avec le niveau du rendement ainsi que les usages socioculturels fondent les dénominations locales des différentes variétés de niébé recensées (7). C'est ainsi que les producteurs du groupe sociolinguistique Bariba ont nommé les variétés à graines blanches «Sui Kpika», qui signifie «niébé blanc». Les graines de couleur rouge sont valorisées pour le met appelé «Ataci» qui est un mélange de grains de riz et de niébé bouillis. Le nom de la variété «Maata kanawa» signifie en langue Haoussa «tu as combien de femmes pour récolter à temps», en raison de son rendement élevé qui exige de la main d'œuvre. Le nom «Nibodilè» qui signifie «garde l'étranger» en langue Boo a été attribuée à une variété en raison de sa cuisson rapide qui permet de servir rapidement un plat de niébé à un étranger, afin qu'il s'en régale avant de partir (7).

Il apparaît donc que la nomenclature locale des mauvaises herbes de l'oignon tire sa rationalité dans les savoirs techniques locaux liés à diverses perceptions ou considérations ethnobotaniques et aux modes de gestion de la flore. Par ailleurs, la flore recensée constitue non seulement une contrainte agronomique aux systèmes de culture d'oignon au regard du défi que représente l'enherbement, mais aussi de façon potentielle, des ressources alimentaires, médicinales et de valeur socio-culturelle.

Conclusion

Cette étude a permis de recenser la flore générale et la diversité floristique des cultures d'oignon au Nord-est du Bénin et de mettre en exergue les familles botaniques les plus importantes en termes de nombre d'espèces. Elle a en outre mis en évidence les critères de dénominations des espèces recensées et les considérations ethnobotaniques qui fondent cette taxonomie locale qui est soutenue par une rationalité basée sur des perceptions et des savoirs techniques locaux. Cette nomenclature qui s'applique à plus de la moitié des espèces de la flore est aussi caractérisée par l'usage de synonymies et de doubles appellations.

Elle mérite d'être documentée et généralisée à plusieurs contextes agro-écologiques pour en déduire les implications scientifiques avec la botanique et la systématique végétale. L'absence de nom local pour les 32 autres espèces des 71 recensées est liée d'une part au fait qu'elles ne représentent pas une menace pour les systèmes de culture d'oignon en terme d'envahissement ou de nuisance, et d'autre part au fait qu'elles ne présentent pas un grand intérêt aux plans écologique et socioculturel selon les producteurs. Cependant, il convient d'évaluer l'importance agronomique de la flore au cours du cycle végétatif de l'oignon afin de contribuer à une meilleure maîtrise de l'enherbement de cette culture.

Références bibliographiques

1. Achigan-Dako E.G., Pasquini M.W., Assogba-Komlan F., N'danikou S., Yédomonhan H., Dansi A. & Ambrose-Oji B., 2010, Traditional vegetables in Benin. Achigan-Dako et al. (éd.), *Institut National des Recherches Agric. du Bénin. Imprimeries du CENAP*, Cotonou. 282 p.
2. Ahanchédé A. & Gasquez J., 1997, Weeds of rainfed cropfields in northeastern Benin. In: Agriculture et développement. Weeds and weed control, special issue. May 1997, 68 p.
3. Akobundu I. Okezie & Agyakwa C.W., 1989, *Guide des adventices de l'Afrique de l'Ouest*. IITA, Ibadan, Nigéria; 522 p.
4. Akoègninou A., Van Der Burg W.J., Van Der Maesen L.J.G., Adjakidjé V., Essou J.P., Sinsin B. & Yédomonhan H. (ed.), 2006, *Flore du Bénin*. Backhuys Publishers, Cotonou, Benin & Wageningen, Netherlands.
5. Bello S., 2004, *Rapport d'achèvement des contrats de recherche-action du programme oignon au titre des campagnes 2001-2004*. INRAB-CRAN/PADSE, 106 p.
6. Bello S., Assogba-Komlan F. & Baco M.N., 2004, Guide pratique pour la production de bulbes d'oignon dans le département de l'Alibori. INRAB/AFD/PADSE (éds), 54 p. ISBN N° 99919-51-64-4.
7. Bello S., 2005, *Test de quelques approches méthodologiques d'évaluation de la diversité des ressources phylogénétiques: application au niébé (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) dans le Nord-est du Bénin*. Mémoire de DEA, FSA/UAC, 152 p.
8. Boraud N.T. K.M. & Kadio A.G., 2007, Les principales adventices de la canne à sucre en Côte d'Ivoire, similitudes et différences. *Ann. Bot. Afr. Ouest*, 4, 91-102. AISA (éds).
9. Carder B., 1991, Rapport annuel de la campagne 1990-1991. MDR, 82 p.
10. CIRAD, 2004, Adventices des cultures et plantes envahissantes. In: Endémisme et invasions biologiques des écosystèmes terrestres en milieu insulaire. CIRAD Réunion (éd). *Rapport annuel 2004*, pp.: 76-77.
11. CIRAD-Réunion, 2004, Endémisme et invasions biologiques des écosystèmes terrestres en milieu insulaire: adventices des cultures et plantes envahissantes, in: CIRAD, 2004 (éd). *Rapport annuel CIRAD-Réunion, 2004*, pp: 76-77.
12. Gnanglé C., Bello S. & Ogodja J.O., 2002, *Diagnostic participatif du village de Tomboutou dans la commune de Malanville*. Rapport technique RD Alibori/CRAN/IRAB, 12 p.
13. INRAB., 2001, *Programme Régional Sud-Centre du Bénin: actes de l'atelier scientifique*, GTZ, SNRA-Bénin, FSA-UAC, INRAB (éds). Niaouli, du 11 au 12 janvier 2001; 497 p.
14. INRAB., 2005, Assises du Comité Régional de Recherche et de Développement (CRRD) du Centre et du Nord; Edition 2005. Rapport, 55 p.
15. Le Bourgeois T. & Merlier H., 1995, *Adventrop: Les adventices d'Afrique soudano-sahélienne*, CIRAD, pp.: 54-65 et 500-503.
16. M'biandoun M., Guibert H. & Olina J.P., 2003, Caractérisation de la fertilité des sols en fonction de la présence des mauvaises herbes présentes. In: Jamin J.Y., Seyni Boukar L., Floret C. (éditeurs scientifiques). *Savanes africaines: des espaces en mutation, des acteurs face à de nouveaux défis. Actes du colloque, 27 au 31 mai 2002, Garoua, Cameroun. Prasac, N'Djamena, Tchad-Cirad*, Montpellier, France.
17. Mathieu B. & Marnotte P., 2000, L'enherbement des sols à Muskuwaari au Nord Cameroun. *Xème colloque international sur la biologie des mauvaises herbes*. Dijon, du 6 au 8 septembre 2000.
18. Testudomaniac.net, 2009, Le pourpier: *Portulaca oleracea*. In: l'alimentation des tortues: La fiche du pourpier, 2 p. Site Web: <http://www.google.net> (éd).
19. Traoré H., 1991, *Influence des facteurs agro-écologiques sur la constitution des communautés adventices des cultures céréalières du Burkina Faso*. Thèse de doctorat USTL, Montpellier 2, 180 p + annexes.

S. Bello, Béninois, MSc. Ir, Chercheur au Laboratoire de Défense des Cultures de - l'INRAB-Etudiant en Thèse de doctorat en Malherbologie.

A. Ahanchédé, Béninois, Dr. Ir., Professeur titulaire de Malherbologie à la Faculté des Sciences Agronomiques de l'Université d'Abomey-Calavi, Bénin, (FSA/UAC).

G. Gbèhounou, Béninois, Dr. Ir., Weed Officer au siège de la FAO/AGPM, Rome, Italie.

G. Amadji, Béninois, Dr. Ir., Professeur à la Faculté des Sciences Agronomiques de l'Université d'Abomey-Calavi, Bénin, (FSA/UAC).

N. Aho, Béninois, Dr. Ir., Professeur à la Faculté des Sciences Agronomiques de l'Université d'Abomey-Calavi , Bénin, (FSA/UAC).

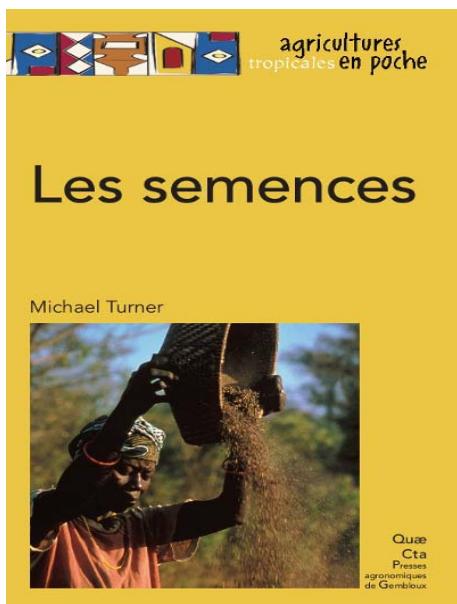
BIBLIOGRAPHIE

BIBLIOGRAPHY

BOOKBESPREKING

BIBLIOGRAPHIA

Les semences



Auteurs: Turner Michael

Edition: 2013

Collection: Agricultures tropicales en poche

Editeur: Quae/Cta/Presses agronomiques de Gembloux

ISBN 978-2-87016-123-4

224 p., 46 tabl., 7 fig.

BEL/ ETR: 25 € + frais de port

Commandes

- par le site internet www.pressesagro.be
- par mail pressesagro.gembloux@ulg.ac.be
- par téléphone 00.32.81.62.22.42
- chez les libraires

Résumé

Durant des milliers d'années, la production et la circulation des semences ont largement contribué au progrès de l'agriculture. Les hommes ont cherché à améliorer les performances des cultures en réservant les graines des plantes donnant les meilleurs rendements. Au xxe siècle, les progrès de la génétique ont accéléré considérablement cette évolution et ouvert de nouvelles perspectives à l'amélioration des plantes.

Cet ouvrage présente les aspects techniques et l'organisation de la production des semences, avec une attention particulière aux conditions tropicales, plus exigeantes que celles des milieux tempérés. Il aborde les principes de l'amélioration des plantes et de la biologie des semences ainsi que la gestion des opérations liées à la production, à la récolte et au conditionnement post-récolte des semences en vue de maintenir un haut niveau de qualité. Il traite également des procédures d'assurance-qualité, des règles de mise en marché des semences et de la gestion des entreprises semencières. Tout en mettant l'accent sur les grandes cultures, notamment les céréales et les légumineuses, l'auteur s'intéresse également aux productions de semences de cultures plus spécialisées, telles que celles des plantes potagères et des plantes fourragères.

Outre l'intérêt qu'il présente pour les agriculteurs eux-mêmes, cet ouvrage sera une aide pour tous les professionnels de la distribution de semences sélectionnées au travers de petites entreprises, de groupements de producteurs ou de coopératives.

Les auteurs

Michael Turner, consultant dans le domaine des semences, a été directeur d'un cycle de formation en technologie des semences à l'Université d'Edimbourg et chef de la division semences de l'Icarda en Syrie.

Henri Feyt est le traducteur de cet ouvrage. Agronome-généticien, il a été enseignant-chercheur en amélioration des plantes à l'université Paris XI-Orsay, puis a exercé des responsabilités au sein d'un institut français (ITCF-Arvalis), d'une entreprise privée de sélection et du Cirad.

ORGANISATION

Concept of editors and objectives of TROPICULTURA

Agri-Overseas is an association created in order to establish common-interest professional relationships between people working on overseas rural development. It publishes the scientific and information publication "Tropicultura" which covers rural problems in developing countries. This publication is published every three months with the financial support of the Brussels-Capital Region and the voluntary contribution of institutions or members. It benefits from the scientific patronage of the Belgian Royal Academy for Overseas Sciences (RAOS), of the support of the "Commission universitaire pour le développement" of the "Conseil interuniversitaire de la Communauté française de Belgique (CUD-CIUF)", the authority of "Universitaire/ Ontwikkelingssamenwerking" of the "Vlaamse Interuniversitaire Raad" (VLIR-UOS), and the "Brussels-Capital Region".

Agri-Overseas is composed of both individual members and members of the following Belgian Institutions: the Belgian Royal Academy for Overseas Sciences (RAOS), the "Commission universitaire pour le développement" of the "Commission universitaire pour le développement du Conseil interuniversitaire de la Communauté française" (CUD-CIUF), the authority of "Universitaire/Ontwikkelingssamenwerking" of the "Vlaamse Interuniversitaire Raad" (VLIR-UOS), the four Faculties of Agronomy (Liège/Gembloux, Ghent, Leuven and Louvain-la-Neuve), the two Faculties of Veterinary Medicine (Ghent and Liège), the Department of bio-medical sciences of the Institute of Tropical Medicine in Antwerp, the Inter-faculty Section of Agronomy of the Université Libre de Bruxelles (Brussels), the Facultés Universitaires Notre-Dame de la Paix (Namur), the Department of Environment Sciences and Management from the University of Liège.

Board

The Board of Agri-Overseas is composed as follows: Professor Dr J. Vercruyse, President; Professor Dr Ir G. Mergeai, managing director; Dr E. Thys, Secretary; Professor Dr B. Lossen, Treasurer; Professor J. Bogaert, CIUF-CUD representative member; Honorary Professor Dr S. Geerts, RAOS representative member; Professor R. Merckx, VLIR-UOS representative member and Honorary Professor Dr Ir J. Hardouin, member.

Editorial Staff

The Publication Committee of TROPICULTURA is made up of Professor Dr Ir G. Mergeai, Chief editor, and the following editorial staff: Professor Ch. De Cannière for "forestry, Landscape Ecology and plant production", Professor Dr J.-P. Dehoux for "Animal Production and Animal Life Control", Dr D. de Lame for "Sociology", Honorary Professor Dr Ir F. Malaisse for "Forestry and Ecology", Professor Emeritus Dr J.-C. Micha for "Fishing and Pisciculture", Professor Emeritus Dr Ir E. Tollens for "Rural Economy", Professor Dr Ir P. Van Damme for "Agronomy and Forestry", Professor Dr E. Van Ranst for "Soil Science", Professor Dr P. Dorni for "Animal Health" and Ir. F. Maes, associate scientist. The secretariat deals directly with the other topics relevant to the journal (economy, sociology, etc.).

Publication secretariat

231, Avenue Louise B- 1050 Brussels – Belgium
Telephone: +32.2.540 88 60/ 61; Fax: +32.2.540 88 59
Email: ghare.tropicultura@belgacom.net / clouvet.tropicultura@belgacom.net
Website: <http://www.bib.fsagx.ac.be/tropicultura/>

GUIDE TO AUTHORS

Manuscript content

The topics covered in articles published in Tropicultura focus on all issues affecting rural development and sustainable environment management in the hot regions of the planet. Priority is given to articles on original subjects, which have the widest possible scope. In other words, it is especially important that their content includes methodological aspects, which can be transferred to a wide range of environments and regions around the world. Particular emphasis is also placed on the reliability of the published information. For example, when reference is made to results obtained from experiments, importance is attached to the number of tests that were repeated at different times and places, which form the basis of the resulting data.

The manuscripts must be original and must not have been simultaneously submitted for publication to another scientific periodical. They can be written in one of the following four languages: English, Spanish, French and Dutch.

Submission procedure

Manuscripts must be sent to the editor-in-chief by post, in triplicate, in the form of a paper document, or directly to the electronic mail address of the editorial office as file attachments.

If possible, after the article is approved for publication, the author must provide his final proofread and revised version in electronic format. It is recommended that Word is used, but ASCII or RTF files are also acceptable.

Style

Manuscripts must be printed on single sides, double-spaced, using Times New Roman font (size 11), with a 2.5 cm margin around the printed area. They should include a maximum of twenty pages of text (not including the cover page).

The cover page must include the title, short title (maximum of 55 characters), the authors' full names, together with their qualifications, position, nationalities, full work/e-mail addresses and any acknowledgements. The corresponding author's name must be marked with a *** and his address should include a telephone number.

The pages following the cover page must comprise:

(i) the summaries (max. 200 words) in the language of the manuscript and in English, preceded by a translation of the title and followed by a maximum of six key words in each of the two languages;

(ii) the body of the text;

(iii) the bibliography;

(iv) tables, which should be numbered using Arabic numerals;

(v) illustrations, which must be clearly marked with a number on the reverse, if they are not sent electronically;

(vi) table headings and illustrations.

All pages must be numbered consecutively.

The text must be divided into longer chapters (Introduction, Materials and Methods, Results, Discussion, Conclusions), but must not be subdivided into more than two levels (one single level following the chapters). The chapter headings and paragraph subtitles must be very concise and should never be underlined.

The references must be quoted in the text, using numbers between brackets. If several references are quoted, their numbers should be indicated in increasing order.

Images must be of a professional standard. Photographs must be unmounted, with clear contrast on glossy paper. Photos provided as .jpg files must be of good quality, with a minimum of 300 pixels per inch (dpi).

Excel files must be provided, containing the relevant table and chart data, when the manuscript is submitted.

Bibliographical references must be listed in alphabetical order, according to the authors' names and in chronological order for individual authors. They must be numbered consecutively, beginning with "1".

Bibliographical references must be quoted in the text in the form of numbers.

The number of bibliographical references must not exceed fifty.

In the case of periodical articles, references must include the authors' surnames, followed by their initials, year of publication, full title of the article in its original language, the name of the periodical, with the volume number underlined and the first and last page numbers separated by a hyphen.

Example: Poste G., 1972, Mechanisms of virus induced cell fusion. Int. Rev. Cytol. 33, 157-222.

For monographs, the following details are essential: the authors' names followed by their initials, year of publication, full title of the monograph, the editor's name, place of publication, first and last page of the chapter quoted and total number of pages.

Conference minutes should be treated in the same way as monographs. In addition, the location, date of the meeting and scientific editor(s) should be mentioned.

Example: Korbach M.M. & Ziger R.S., 1972, Heterozygote detection in Tay-Sachs disease: a prototype community screening program for the prevention of recessive genetic disorders pp 613-632, in: B.W. Volks & S.M. Aronson (Editors), *Sphingolipids and allied disorders*, Plenum, New York, 205 p.

Statement of publication

In order to ensure that the manuscript is original and approved for publication by his supervisory body, the principal author is requested to sign and return the statement.

Copyright

If the article is accepted, the editorial office will require a commitment from the various authors associated with the article, stating that they agree to assign their rights of publication to Tropicultura.

Contribution to publication costs

The total contribution made by authors to the cost of publishing the article amounts to 200 Euros. Before the article is processed, the corresponding author must sign and return the statement.

International reviewers

When submitting articles, the authors must suggest three internationally renowned reviewers who could assess their manuscripts.

TROPICULTURA

2013 Vol. 31 N° 2

Four issues a year (April-May-June)

EDITORIAL

Some news from the front (*in French* and *in English*)

G. Mergeai 89

ORIGINAL ARTICLES

Impact of African Cassava Mosaic Disease on the Production of Fourteen Cultivars of Cassava in Yangambi,
Democratic Republic of Congo (*in English*)

G. Monde, P. Bolonge, F. Bolamba, J. Walangulu, S. Winter & C. Bragard 91

Honey Production for Assessing the Impact of Climatic Changes on Vegetation (*in English*)

P. Schweitzer, I. Nombré & J.I. Boussim 98

Adoption of the Tenera Hybrid of Oil Palm (*Elaeis guineensis* Jacquin.) among Smallholder Farmers in Cameroon (*in English*)

M.R. Assoumou Mezui, I.R. Tchouamo & M. Baudouin 103

Acclimatation of Banana's Vitroplants (*Musa* sp.) in Hydroponic Culture: Effects of Different Concentrations Copper on Growth of Vitroplants (*in French*)

M.K. Mazinga, M. Van Koninckxloo, M. Godoy Jara, L. Baboy Longanza & J. Louvieaux 110

Resources Management for Income Optimization in Smallholder Food Crop Farms in South-Western Nigeria (*in English*)

O.R. Adeniyi & T.G. Oyewole 121

Efficiency of Traditional Maize Storage and Control Methods in Rural Grain Granaries: a Case Study from Senegal (*in English*)

M.T. Gueye, G. Goergen, S. Ndiaye, E.A. Asiedu, J.-P. Wathelet, G. Lognay & D. Seck 129

Socio-economic and Institutional Variables that Affect Adoption of Technical Innovations Concerning Maize Production in Western Cameroon (*in French*)

G. L. M. Tene, M. Havard & L. Temple 137

Floristic Diversity, Ethno-botanic and Local Taxonomy of Onion's Weeds in the North East of Benin (*in French*)

S. Bello, A. Ahanchédé, G. Gbèhounou, G. Amadji & N. Aho 143

BIBLIOGRAPHY 153

TROPICULTURA IS A PEER-REVIEWED JOURNAL INDEXED BY AGRIS, CABI, SESAME AND DOAJ

