

TROPICULTURA

1998-99 Vol.16-17 N°3

Trimestriel (3ième trimestre 1999)
Driemaandelijks (3de trimester 1999)
Se publica por ano (3nd. trimestral)



Credit : WORLD BANK PHOTO by Kay Muldoon

Editeur responsable / Verantwoordelijke uitgever :
M. VAN CRAEN
Rue Brederode 6, Brederodestraat
1000 Bruxelles / Brussel

DGCI

DGIS

BUREAU DE DEPOT / AFGIFTEKANTOOR
BRUXELLES X / BRUSSEL X

SOMMAIRE / INHOUD / SUMARIO, VOL. 16-17, 3

ARTICLES ORIGINAUX / OORSPRONKELIJKE ARTIKELS / ARTICULOS ORIGINALES

Genotype by Environment Interaction and Testing Environments for Plantain and Banana (<i>Musa</i> spp. L.) Breeding in West Africa Genotype-environnement interaction et évaluation des environnements pour l'amélioration génétique de plantain et banana (<i>Musa</i> spp. L.) en Afrique occidentale Genotype door milieu-interactie en evaluatie van de verschillende milieus voor de genetische verbetering van plantain en banaan (<i>Musa</i> spp. L.) in West-Afrika Genotipo ambiental interacción y evaluación de entornos para el mejoramiento genético del llantén y del plátano (<i>Musa</i> spp. L.) en Africa Occidental	97
R. Ortiz & Ilse de Cauwer	
Optimisation d'une enquête par sondage dans la recherche système Optimaliseren van een steekproefenquête in de systeemresearch Optimización de una encuesta por sondeo en la investigación sistema	103
H. De Groot & O. Traoré	
Effets du tractus digestif de chèvres sur la germination de <i>Zizyphus mauritiana</i> Lam. Invloed van het spijsverteringsstelsel van geiten op het kiemen van <i>Zizyphus mauritiana</i> Lam. Efectos del tracto digestivo de cabras sobre la germinación de <i>Zizyphus mauritiana</i> Lam.	109
M. Guèye, P.I. Samb & A. Nongonierma	
Le facteur risque et la réponse des producteurs - cas de la céréaliculture dans le Nord de la Tunisie De risicofactor en het antwoord van de producenten - geval van de graangewasenteelt in het Noorden van Tunesië El factor riesgo y la respuesta de los productores - caso del cultivo de cereales en el norte de Túnez	113
D. Méhouachi & R.F.J. Romain	
Etude des caractéristiques physico-chimiques de certains plats traditionnels dérivés du manioc (foutou, placali et kokondé) Studie van de fysisch-chemische eigenschappen van sommige traditionele maniokgerechten (foutou, placali en kokondé) Estudio de las características físico-químicas de ciertos platos tradicionales derivados de la mandioca (foutou, placali y kokondé)	120
Virginie Zoumenou, F. Aboua, D. Gnakri & A. Kamenan	
Essai sur l'effet de la densité sur la production de biomasse d'escargots géants africains (<i>Archachatina marginata</i>) au Bénin Proef over het effect van de densiteit op de productie van biomassa van Afrikaanse reuzenslakken (<i>Archachatina marginata</i>) in Benin Ensayo sobre el efecto de la densidad en la producción de biomasa de caracoles gigantes africanos (<i>Archachatina marginata</i>) en Benin	127
O.D Koukandé, M. Ehouinsou & G. Dossou-Gbété	
Synthèse des résultats de recherches sur l'agronomie du caféier arabica <i>Coffea arabica</i> L. au Rwanda au 31 mars 1994 Synthese op datum van 31 maart 1994 van de resultaten over het onderzoek van de bouw van arabica koffieplanten <i>Coffea arabica</i> L. in Rwanda Síntesis de resultados de investigaciones sobre la agronomía del caféto arábica <i>Coffea arabica</i> L. en Rwanda el 31 de Marzo de 1994.	130
V. Rutunga, F. Kavamahanga & C. Nsengimana	
Influence de divers traitements physico-chimiques de graines de <i>Mucuna pruriens</i> sur leur composition chimique en nutriments Invloed van verschillende fysisch-chemische behandelingen van <i>Mucuna pruriens</i> zaden op hun chemische en nutriënten samenstelling. Influencia de diversos tratamientos físico-químicos de granos de <i>Mucuna pruriens</i> sobre su composición química en nutrientes	141
C.S. Dossa, G.A. Mensah, A.D. Dossa & C. Adoun	
Rhodeps Grass Evaluation of Rhodes Grass Cultivars under Emirates Conditions Evaluatie volgens Rhodeps des plants d'herbe de Rhodes dans les conditions des émirats Grasevaluatie volgens Rhodeps van cultivars van Rhodes gras in de condities van de Emiraten Rhodes Grass. Evaluación de los cultivares de Rhodes Grass bajo condiciones de los Emiratos.	147
Y.M. Ibrahim	
Factors Involved in the Development of Nutfall Due to <i>Phytophthora katsurae</i> in Ivory Coast Facteurs impliqués dans l'accroissement des chutes de noix causées par <i>Phytophthora katsurae</i> en Côte-d'Ivoire Factoren betrokken bij de ontwikkeling van notenvaal veroorzaakt door <i>Phytophthora katsurae</i> in Ivoorkust Factores implicados en el aumento de la caída de nueces causada por <i>Phytophthora katsurae</i> en Costa de Marfil	150
J. Pohé	

NOTES TECHNIQUES/TECHNISCHE NOTA'S/NOTAS TECNICAS

Parc des ventilateurs et des résistances dans les techniques de séchage adaptées à l'environnement tropical Park voor ventilatoren en weerstanden in de droogtechnieken aangepast aan een tropisch milieu Parque de ventiladores y de resistencias en las técnicas de secado adaptadas al medio ambiente tropical	154
C. Kapseu, J.R. Puiggali, F. Broto, M. Roques & J.P. Nadeau	

BIBLIOGRAPHIE/BOEKBESPREKING/BIBLIOGRAFIA	159
---	-----

English Contents on back cover

Views expressed, and the form adapted are the sole responsibility of the author(s) concerned
opinions émises et la forme utilisée sont sous la seule responsabilité de leurs auteurs
opinionen en de gebruikte vorm zijn op de verantwoordelijkheid van de betrokken auteur(s)
opines emitidas y la forma utilizada conciernen únicamente la responsabilidad de los autores

Bibliothèque FUSAGx Gembloux



3 5030 00031468 8

ARTICLES ORIGINAUX

OORSPRONKELIJKE ARTIKELS

ORIGINAL ARTICLES

ARTICULOS ORIGINALES

Genotype-by-Environment Interaction and Testing Environments for Plantain and Banana (*Musa* spp. L.) Breeding in West Africa

R. Ortiz* & Ilse de Cauwer**

Keywords: *Musa* - Banana - Black sigatoka - Correlated response across environment - Plantain - Site rationalisation.

Summary

With reduced budgets allocated for international agricultural research, site rationalisation had become an important issue to consider when carrying out multilocal testing of promising selections. The aim of this paper was to determine the importance of the genotype-by-environment interaction in multilocal trials of plantains and bananas (*Musa* spp.L.) in selected sites of West Africa comprising the humid forest and the forest-savanna transition zones. A sample of plantain-banana hybrids, plantain landraces, exotic banana cultivars and diploid parental banana accessions were evaluated in three locations: Mbalmayo and Onne (humid forest) and Ibadan (forest-savanna transition). The experimental results of our research suggested that multilocal testing is more profitable than single site evaluation over several years in the *Musa* breeding station. Furthermore, based on correlated responses across environments for yield potential, we suggest that one of the selection sites in the humid forest (i.e., Mbalmayo) be dropped since selections in one site (Onne) may be well adapted to the other location in the same agroecozone. Conversely, the relatively poor performance of most genotypes in dry environments (e.g. Ibadan) reinforces the importance of early testing across a wide range of environments. In this way, selections with broad or specific adaptation may be identified for further release to targeted farmers.

Resumen

Genotipo ambiental interacción y evaluación de entornos para el mejoramiento genético del llantén y del plátano (*Musa* spp. L.) en Africa Occidental

La selección de localidades para los ensayos de nuevos genotipos se ha convertido en un asunto muy importante en esta época de escasos recursos para la investigación en la agricultura. El objetivo de este experimento fue determinar la importancia de la interacción genotipo-ambiente en los ensayos de plátanos y bananos (*Musa* spp.L.) en el bosque tropical húmedo y en la zona de transición del Africa Occidental. Una muestra de híbridos, cultivares locales de plátanos, cultivares exóticos de bananos y los progenitores bananos diploides de los híbridos fueron evaluados en tres localidades: Mbalmayo y Onne (en el bosque tropical húmedo) e Ibadan (en la zona de transición). Los resultados sugieren que los ensayos repetidos en diferentes ambientes son más importantes que un sólo ensayo repetido en una localidad por varios años. Asimismo, en análisis de correlación genética para rendimiento indica que una de las localidades en la zona del bosque tropical húmedo (Mbalmayo) puede ser eliminada porque las selecciones en la otra localidad (Onne) se adaptan ampliamente en esta zona agro-ecológica. Los rendimientos de varios genotipos en ambientes secos como Ibadan señalan la importancia de ensayos preliminares en un rango amplio de ambientes. De este modo los genotipos con adaptación amplia o específica podrán ser seleccionados para ser posteriormente ofrecidos como nuevos cultivares para los agricultores.

Introduction

Measurements of the genotype-by-environment (GE) interaction are a very important basis for determining the breeding strategy which is most appropriate for the development of genotypes for specific targeted environments. When GE interactions are not important, breeding materials may be safely tested in the most

convenient environment (8). Otherwise, the breeding material must be evaluated in the specific environments where they are expected to be grown by farmers (6).

When the effects of a particular environmental stress are not taken into account, the gains from a selection

* Plantain and Banana Improvement Program, International Institute of Tropical Agriculture, High Rainfall Station, Onne, Rivers State, Nigeria.

Current address: The Royal Veterinary and Agricultural University, Department of Agricultural Sciences, 40 Thorvaldsensvej, DK-1871 Frederiksberg C, Copenhagen, Denmark.

** Formerly at the Laboratory of Tropical Crop Improvement, Katholieke Universiteit Leuven, Kardinaal Mercierlaan 92, 3001 Heverlee, Belgium.

program may decrease as the level of that stress increases. Indeed, segregating populations characteristically exhibit low genetic variances in diverse or stressed environments (4,9). Consequently, this type of selected population is likely to produce low mean yields when grown in non-stressed environments. This type of effect can be accounted for in terms of the high metabolic 'cost' to plant of expressing additional traits for tolerance or resistance to abiotic or biotic stresses.

The environment plays an important role in the identification of promising genotypes adapted or resistant to specific stresses (3). For example, selection for increased efficiency of nitrogen uptake should take place in environments with a low fertility level (7). Optimum environments, where all individuals are phenotypically normal do not allow the differentiation between different genotypes. In contrast, the genetic differences may be masked during growth in extremely poor environments because all the entries tested will have their phenotypes adversely affected by the stress.

The ideal environment for breeders' selections would be the one which maximises phenotypic differences among genotypes, i.e., where breeders are able to do visual "genotyping" (8). For example, selection for resistance to black sigatoka (caused by the fungus *Mycosphaerella fijiensis* Morelet) in plantain seems to be more efficient during the rainy than in the dry season. This is probably related to the optimum environment for fungal infection prevailing during the rainy season. However, phenotypic differences between resistant and susceptible genotypes can be observed equally well during the dry season of certain environments (16), where there was no genotype-by-environment interaction. For example, there was no change in the ranking of order or in magnitude differences between the resistant hybrids and the susceptible landraces, in their host response to black sigatoka when evaluated in different seasons in a humid lowland environment in Cameroon (16).

The objective of this study was to determine what could be the best environments for multilocal testing of plantain and banana genotypes in West Africa. This will lead to rationalisation of testing sites for germplasm evaluation wherever possible, thereby improving the efficiency by reducing the costs of the breeding program.

Material and Methods

Eight plantain-banana tetraploid hybrids developed by the International Institute of Tropical Agriculture (IITA) (17,18), four exotic triploid cooking banana cultivars, three triploid plantain landraces, two diploid banana parents, and one dessert banana of world-wide cultivation ('Valery') were evaluated in the plant (PC) and ratoon (RC) crops at IITA stations in the humid forest (Mbalmayo in Cameroon and Onne in Nigeria) and forest-savanna transition (Ibadan in Nigeria) zones (Table 1). These locations have different rainfall patterns, soil characteristics and crop management practices. Mbalmayo has a bimodal annual rainfall (total 1500 mm) and an Ultisol derived from a schist band with low ex-

Table 1
Clones tested in multilocal trials in West Africa

Genotype	Genome ¹ or parentage	Black sigatoka response
Diploid bananas (2n = 22)		
Calcutta-4	AA	Highly resistant
Pisang lilin	AA	Resistant
Triploid landraces (2n = 33)		
Agbagba	AAB False Horn plantain	susceptible
Bluggoe	ABB cooking banana	less susceptible
Bobby Tannap	AAB French plantain	susceptible
Cardaba	ABB cooking banana	less susceptible
Fougamou	ABB cooking banana	partially resistant
Obino l'Ewai	AAB French plantain	susceptible
Pelipita	ABB cooking banana	less susceptible
Valery	AAA export dessert banana	susceptible
Tetraploid hybrids (2n = 44)		
TMPx 548-4	Obino l'Ewai (OL) X Calcutta 4 (C4)	partially resistant
TMPx 548-9	OL X C4	partially resistant
TMPx 582-4	Bobby Tannap (BT) X C4	partially resistant
TMPx 597-4	OL X C4	susceptible
TMPx 1112-2	Agbagba French Reversion X C4	partially resistant
TMPx 1658-4	OL X Pisang lilin (P1)	less susceptible
TMPx 2796-5	BT X P1	partially resistant
TMBx 612-74-OT	Bluggoe X C4	highly resistant

¹ AA for *Musa acuminata* Colla., and BB for *Musa balbisiana* Colla.

tractable P; whereas Onne, has a monomodal annual rainfall (2400 mm) and an Ultisol derived from coastal sediments, well drained and with high extractable P. Ibadan has a bimodal annual rainfall (1250 mm) and the experiment was planted in a hydromorphic area of a Ferric Luvisol with a water table (30-40 cm) during the rainy season. The trials at Mbalmayo and Onne were carried out under alley cropping with multispecies hedgerows while the experiment at Ibadan was on a sole crop. Cultural practices within each crop management system have been described elsewhere (11).

The experimental layout was the recommended randomised complete block design with two replications of five plants per location (13). Distance between plants within the same row was 2 m and between rows 3 m, thus 1667 plants ha⁻¹ was the planting density. All plots were surrounded by the same plantain landrace to assure uniform inoculum pressure for black sigatoka disease. Plant height at flowering (PH, cm), total number of leaves (TNL), days for fruit filling (DFF), days to harvest (DH), height of tallest sucker at harvest (HTS, cm), bunch weight (BW, kg), number of fruits per bunch (F), number of hands per bunch (H), fruit length (FL), circumference (FL) and weight (FW), were recorded in each individual plant.

Statistical analyses and site rationalisation

Analysis of variance. The data were analysed for each trait following the random model of the combined analysis of variance (ANOVA) for series of trials across environments (10). The following combined ANOVA were carried out: (i.) across environments, where environments were defined as location X growth cycle, i.e. six environments; (ii) across locations (over production

cycles), i.e., three locations, and (iii) within locations, i.e. two production cycles per location. All statistical analyses were performed with MSTAT-C (2), but F-tests were adjusted according to the random model (10).

Correlated responses across environments. The performance across two environments was considered as two different but correlated traits (5). The direct response to selection in the targeted environment Y is (R_Y) is $\tau_Y H_Y \sigma_{G_Y}$, where τ_Y is the intensity of selection, H_Y is the square root of the heritability of the trait under selection in the targeted environment Y, and σ_{G_Y} is the genetic standard deviation. The correlated response to selection (CR_Y) is $\tau_X H_X H_Y \rho_G \sigma_{P_X}$, where τ_X is the intensity of selection in alternative environment X, H_X and H_Y are the square roots of the heritability of the trait under selection in each environment, ρ_G is the genetic correlation between the two performances, and σ_{P_X} is the phenotypic standard deviation of the trait under selection in environment Y. The efficiency of selection in alternative environment X was measured by the ratio CR_Y/R_Y , i.e., $\rho_G(\tau_X H_X)/(\tau_Y H_Y)$. This methodology allowed the testing of whether or not selection in an environment may be efficient to develop cultivars adapted to other environments (i.e., correlated response across environments).

Yield potential of *Musa* germplasm (landraces and hybrids) was estimated using data from three IITA stations in the humid forest (Onne and Mbalmayo) and in the transition zone (Ibadan) to establish a strategy for site rationalisation in multilocational testing. Yield potential (YLD, $t\ ha^{-1}\ year^{-1}$) was calculated on a per plot basis as:

$$YLD = BW \times 365 \times 1667 / (DH \times 1000)$$

Results and Discussion

Significant differences ($P < 0.05$) between locations were observed for several characters (Table 2). In general the production cycle was longer at Onne than at Mbalmayo. Furthermore, the total number of leaves was generally highest at Onne, lower at Ibadan, and lowest at Mbalmayo. However, height of the tallest suc-

Table 2
Means for growth and yield parameters in each environment (location/cycle)

Location Cycle	DH	DF	DFF	TNL	PH	HTS
Onne	382	273	109	37	329	251
PC	488	376	112	38	305	242
RC	261	163	106	36	353	261
Ibadan	348	242	108	32	248	179
PC	432	320	113	32	241	175
RC	259	157	103	32	256	183
M'Balmayo	405	298	114	31	328	249
PC	450	348	109	28	306	235
RC	348	228	119	35	353	264
LSD _{0.05} (L)	13	12	NS	1	6	11
LSD _{0.05} (C/L)	18	17	4	1	9	NS
Location Cycle	BW	H	F	FL	FC	FW
Onne	10.8	7	87	16	12	126
PC	10.6	6	80	17	12	129
RC	11.0	7	95	16	12	123
Ibadan	6.4	5	62	17	11	103
PC	6.8	5	62	17	11	111
RC	6.0	5	62	17	11	96
M'Balmayo	12.3	6	87	15	13	144
PC	10.3	6	88	14	12	111
RC	14.3	7	86	16	14	179
LSD _{0.05} (L)	1	0.2	3	0.5	0.4	8
LSD _{0.05} (C/L)	1	0.2	5	1	1	11

PC = plant crop; RC = ratoon crop; DH = days to harvest; DF = days to flowering; DFF = days for fruit filling; TNL = total number of leaves; PH = plant height, cm; HTS = height of tallest sucker at harvest, cm; BW = bunch weight, kg; H = number of hands; F = number of fruits; FL = fruit length, cm; FC = fruit circumference, cm; FW = fruit weight, g; LSD_{0.05} (L) = least square difference between locations at the 5% level; LSD_{0.05} (C/L) = least square difference between environments at the 5% level.

ker was generally shorter at Ibadan than at the other two locations.

In addition, bunch weight and the number of hands per bunch were generally higher at Onne and Mbalmayo than at Ibadan (Table 3). This might reflect a limitation of the selections at Onne. Hybrids selected under a high rainfall regime cannot be expected to be well adapted to the longer dry season at Ibadan. These differences in bunch weight are likely to be a result of a

Table 3
Analysis of variance for growth and yield parameters of 18 *Musa* accessions grown in six environments (= location x production cycle)

Source of Variation	DH	Probability of F-test for respective source of variation				
		DF	DFF	TNL	PH	HTS
Environment (E)	P<0.001	P<0.001	P<0.001	P<0.001	P<0.001	P<0.001
Genotype (G)	P<0.001	P<0.001	P<0.001	P<0.001	P<0.001	P<0.001
GxE interaction	P<0.001	P<0.001	P<0.001	P<0.001	P<0.001	P<0.05
Coefficient of Variation (%)	10.1	13.9	7.8	6.9	6.2	14.4
Source of Variation	BW	Probability of F-test for respective source of variation				
		H	F	FL	FC	FW
Environment (E)	P<0.001	P<0.001	P<0.001	P<0.001	P<0.001	P<0.001
Genotype (G)	P<0.001	P<0.001	P<0.001	P<0.001	P<0.001	P<0.001
GxE interaction	P<0.001	P<0.001	P<0.001	P<0.05	P>0.05	P<0.001
Coefficient of Variation (%)	20.1	8.8	13.0	8.6	9.5	19.2

DH = days to harvest; DF = days to flowering; DFF = days for fruit filling; TNL = total number of leaves; PH = plant height, cm; HTS = height of tallest sucker at harvest, cm; BW = bunch weight, kg; H = number of hands; F = number of fruits; FL = fruit length, cm; FC = fruit circumference, cm; FW = fruit weight, g.

Table 4
Analysis of variance for growth and yield parameters of 18 *Musa* accessions grown in three locations

Source of Variation	DH	Probability of F-test for respective source of variation				
		DF	DFF	TNL	PH	HTS
Location (L)	P<0.001	P<0.001	P>0.05	P<0.001	P<0.001	P<0.001
Genotype (G)	P<0.05	P<0.01	P<0.001	P<0.001	P<0.001	P<0.001
GxL interaction	P>0.05	P>0.05	P<0.05	P>0.05	P<0.05	P>0.05
Coefficient of Variation (%)	29.0	38.9	10.1	3.4	9.4	15.9

Source of Variation	BW	Probability of F-test for respective source of variation				
		H	F	FL	FC	FW
Location (L)	P<0.001	P<0.001	P<0.001	P<0.001	P<0.001	P<0.001
Genotype (G)	P<0.001	P<0.001	P<0.001	P<0.001	P<0.001	P<0.001
GxL interaction	P<0.001	P<0.001	P<0.001	P<0.05	P>0.05	P<0.001
Coefficient of Variation (%)	23.4	9.1	16.4	10.0	10.6	25.0

DH = days to harvest; DF = days to flowering; DFF = days for fruit filling; TNL = total number of leaves; PH = plant height, cm; HTS = height of tallest sucker at harvest, cm; BW = bunch weight, kg; H = number of hands; F = number of fruits; FL = fruit length, cm; FC = fruit circumference, cm; FW = fruit weight, g.

Table 5
Analysis of variance for growth and yield parameters of 18 *Musa* accessions grown in three locations in two cycles for each location.

ONNE

Source of Variation	DH	Probability of F-test for respective source of variation				
		DF	DFF	TNL	PH	HTS
Cycle (C)	P<0.001	P<0.001	P<0.01	P<0.05	P<0.001	P>0.05
Genotype (G)	P<0.001	P<0.001	P<0.001	P<0.001	P<0.001	P<0.001
GxC interaction	P<0.01	P<0.01	P<0.01	P>0.05	P>0.05	P>0.05
Coefficient of Variation (%)	10.9	13.8	6.3	7.0	5.3	15.0

Source of Variation	BW	Probability of F-test for respective source of variation				
		H	F	FL	FC	FW
Cycle (C)	P>0.05	P<0.001	P<0.001	P<0.001	P>0.05	P>0.05
Genotype (G)	P<0.001	P<0.001	P<0.001	P<0.001	P<0.001	P<0.001
GxC interaction	P>0.05	P>0.05	P<0.01	P>0.05	P>0.05	p<0.05
Coefficient of Variation (%)	18.9	7.1	10.0	7.3	6.0	16.4

IBADAN

Source of Variation	DH	Probability of F-test for respective source of variation				
		DF	DFF	TNL	PH	HTS
Cycle (C)	P<0.001	P<0.001	P<0.001	P>0.05	P<0.001	P>0.05
Genotype (G)	P<0.01	P<0.001	P<0.001	P<0.001	P<0.001	P<0.001
GxC interaction	P>0.05	P>0.05	P>0.05	P>0.05	P>0.05	P>0.05
Coefficient of Variation (%)	12.6	17.4	10.1	7.5	8.7	14.1

Source of Variation	BW	Probability of F-test for respective source of variation				
		H	F	FL	FC	FW
Cycle (C)	P<0.01	P>0.05	P>0.05	P>0.05	P>0.05	P<0.001
Genotype (G)	P<0.001	P<0.001	P<0.001	P<0.001	P<0.001	P<0.001
GxC interaction	P>0.05	P>0.05	P<0.01	P>0.05	P>0.05	P>0.05
Coefficient of Variation (%)	29.9	10.8	15.3	10.6	15.1	27.5

M'BALMAYO

Source of Variation	DH	Probability of F-test for respective source of variation				
		DF	DFF	TNL	PH	HTS
Cycle (C)	P<0.001	P<0.001	P<0.05	P<0.001	P<0.001	P>0.05
Genotype (G)	P<0.001	P<0.001	P<0.001	P<0.001	P<0.001	P<0.001
GxC interaction	P<0.01	P<0.001	P<0.01	P<0.001	P>0.05	P>0.05
Coefficient of Variation (%)	4.8	7.4	6.4	5.5	4.9	13.4

Source of Variation	BW	Probability of F-test for respective source of variation				
		H	F	FL	FC	FW
Cycle (C)	P<0.001	P>0.05	P>0.05	P<0.001	P<0.001	P<0.001
Genotype (G)	P<0.001	P<0.001	P<0.001	P<0.001	P<0.001	P<0.001
GxC interaction	P<0.05	P>0.05	P>0.05	P<0.01	P<0.01	P<0.01
Coefficient of Variation (%)	15.6	8.7	14.3	6.8	5.3	14.7

DH = days to harvest; DF = days to flowering; DFF = days for fruit filling; TNL = total number of leaves; PH = plant height, cm; HTS = height of tallest sucker at harvest, cm; BW = bunch weight, kg; H = number of hands; F = number of fruits; FL = fruit length, cm; FC = fruit circumference, cm; FW = fruit weight, g.

higher number of fruits and a higher fruit weight (Table 2). Differences were also observed in fruit length; i.e., fruits were bigger in Onne and Ibadan than in Mbalmayo (Table 2).

The genotype-by-environment interaction did not affect fruit circumference (Table 3). There were significant differences between entries in different environments for all characters measured. The analysis of variance for location (L) and genotype (G) indicated that GL interaction was important, especially for bunch weight, number of hands, number of fingers and fruit weight ($P \leq 0.001$) (Table 4). Significant interaction effects ($P \leq 0.05$) were also observed for days for fruit filling, plant height and fruit length. These results showed the need for multilocal testing of cultivars before release. In contrast to all other parameters the number of days for fruit filling was not significantly affected by location.

Most of the characters were not affected by genotype-by-cycle interaction (GC) at Onne (Table 5). Bunch weight, number of hands, fruit length and circumference, as well as plant height, height of tallest sucker and total number of leaves did not show a significant GC in this location. These results suggest that trials at Onne do not necessarily need to be spread over several years to enable efficient selection of elite breeding material. Similarly at Ibadan, all of the characters, except the number of fruits, were not affected by GC. However, at Mbalmayo there was a significant GC for most traits, inferring that it may be necessary to also carry out early selection trials in this location. Hence, we might conclude that there is more need for multilocation trials than single site evaluation over several years in the *Musa* breeding station of IITA at Onne. This view agrees with Sandison (15), and Allard and Bradshaw (1) who indicated that it would be more important to cover the main environmental conditions than to achieve great precision in individual trials. This breeding philosophy may hold true for early selection and for later evaluation of elite material.

Correlated responses across environments. The need to select and evaluate *Musa* breeding material in all the target environments where new cultivars might be

Table 6
Genetic parameters of yield potential ($t\ ha^{-1}\ year^{-1}$) measured in *Musa* germplasm (landraces and hybrids) in three IITA stations in the humid forest (Onne and Mbalmayo) and in the forest-savanna transition zone (Ibadan) of sub-Saharan Africa

Agroecozone/Location	σ^2_G	σ^2_{GE}	σ^2_P	H ² (%)
<i>Humid Forest</i>				
Onne	13.43	1.80	14.34	93.71
M'Balmayo	13.84	3.31	15.50	89.29
<i>Transition Zone</i>				
Ibadan	3.86	0.64	4.18	92.30
Genetic correlations (ρ_G)				
	M'Balmayo	Ibadan		
Onne	0.80	0.40		
M'Balmayo		0.13		

σ^2_G , σ^2_{GE} and σ^2_P are the genetic, genotype-by-environment, and phenotypic variance, respectively, while H² is the broad sense heritability.

grown by farmers has been clearly shown above. However, budget constraints will ultimately compromise this ideal situation. Similarly, the identification or development of an environment which allows the optimum expression of all desirable characters, is equally difficult. The genetic parameters of yield potential were calculated as shown in Table 6. Based on this, CR_y and R_y were found to be 0.80 and 0.89, respectively, in the humid forest locations. These results suggest that selections at Onne will only effectively select genotypes capable of performing well in Mbalmayo when the intensity of selection at Onne is 10% higher than at Mbalmayo. This would seem considerably easier than establishing a separate site specifically for the selection of genotypes targeted at farmers in the Mbalmayo region. Similarly, selections from Onne or Mbalmayo are not expected to express their potential at Ibadan due to poor correlated responses (0.40 and 0.13 for Onne and Mbalmayo, respectively). Hence, selection in breeding stations at different agroecozones may lead to the development of different cultivars or populations. Indeed, *Musa* breeders should restrict their selection operations to their specific environments. In this regard, clustering of similar environments may assist in making recommendations for cultivar release across similar environments. When improving multiple traits, *Musa* breeders should locate their selection trials in the environment where they obtain the greatest heritability for all traits, or by independent culling in the optimum environment for each trait. For example selection for yield potential will be more efficiently pursued at Onne than in Mbalmayo (Table 6). However, when there is distinct priority ranking of traits for improvement, *Musa* breeders should pursue a tandem selection scheme. In this regard, selection for black sigatoka resistance, a highly heritable trait and easy to score (12), could be carried out in a location with high and uniform disease pressure (e.g., Onne) and later only black sigatoka resistant selections should be tested at specific location (e.g., Mbalmayo) for cultivar release in the targeted agroecozone.

Conclusions

The results suggest that one of the two sites used in for multilocal testing of *Musa* genotypes in the humid lowlands of West Africa (e.g. Mbalmayo) could be dropped. This finding appears very important in terms of site rationalisation for germplasm testing, especially in these days of short budgets allocated for agricultural research elsewhere. Also, since selections at Onne (humid lowland) did not perform well in a dry environment like Ibadan (forest-savanna transition zone), *Musa* breeders should identify genotypes adapted to drier conditions using testing sites in both the transition zone and the moist savanna. Currently, multilocal trials consisting of *Musa* hybrids (from Africa and Latin America) and African and Asian landraces are being carried out at IITA stations in Abuja (Southern Guinea Savanna of Nigeria), Ibadan and Onne (14). In this way, genotypes with wide stability across environments as well as specific adaptation to dry environments may be identified for further testing and release by national programs elsewhere.

Acknowledgements

Plantain and banana research at IITA has benefited from grants by several donors, particularly the Belgian Administration for Development Cooperation (BADC). IdC acknowledges the partial funding of the Laboratory

of Tropical Crop Improvement of the Katholieke Universiteit Leuven for her trip to Nigeria during this research.

Literature

- Allard R.W. & Bradshaw A.D., 1964. Implications of genotype-environmental interactions in applied plant breeding. *Crop Science* **4**, 503-508.
- Anonymous, 1989. MSTAT-C: A microcomputer program for the design, management and analysis of agronomic research experiments. Michigan State University, East Lansing, MI, USA.
- Bos I. & Caligari P.D.S., 1995. Selection methods in plant breeding. UK: Chapman and Hall.
- Comstock R.E. & Moll R.H., 1963. Genotype-by-environment interactions. In: *Statistical Genetics and Plant Breeding* pp. 164-194, in: W.D. Hanson & H.F. Robinson (Editors) Washington DC: National Academy of Sciences (USA). Pub. **982**.
- Falconer D.S. & Mackay T.F.C., 1996. Introduction to Quantitative Genetics, 4th edn. UK: Longman.
- Fox P.N. & Rosielle A.A., 1982. References sets of genotypes and selection for yield in unpredictable environments. *Crop Science* **22**, 1171-1175.
- Gotoh K. & Osana S., 1959. Efficiency of selection for yield under different fertiliser levels in a wheat cross. *Japanese Journal of Breeding* **9**, 7-11.
- Jensen N.F., 1988. Plant breeding methodology. New York: John Wiley and Sons
- Johnson G.R. & Frey K., 1967. Heritabilities of quantitative attributes of oats (*Avena* sp.) at varying levels of environmental stress. *Crop Science* **7**, 43-46.
- Nevado M. & Ortiz R., 1985. Prueba de hipotesis en serie de ensayos. *Agrociencia* **1**, 23-37
- Ortiz R., 1995. Plot techniques for assessment of bunch weight in banana trials under two systems of crop management. *Agronomy Journal* **87**, 63-69.
- Ortiz R. & Vuylsteke D., 1994. Inheritance of black sigatoka disease resistance in plantain-banana (*Musa* spp.) hybrids. *Theoretical and Applied Genetics* **89**, 146-152.
- Ortiz R. & Vuylsteke D., 1995. Recommended experimental designs for selection of plantain hybrids. *Info Musa* **4(1)**, 11-12.
- PBIP, 1995. Plantain and Banana Improvement Program 1994 Annual Report. Ibadan, Nigeria: Crop Improvement Division, IITA.
- Sandison A., 1959. Influence of site and season on agricultural variety trials. *Nature* **184**, 834.
- Vuylsteke D., Foure E. & Ortiz R., 1993. Genotype-by-environment interaction and black sigatoka resistance in the Humid Forest Zone of West and Central Africa. *MusAfrica* **2**, 6-7.
- Vuylsteke D., Ortiz R., Ferris R.S.B. & Swennen R., 1995. PITA-9: a black sigatoka resistant hybrid derived from the 'False Horn' plantain gene pool. *HortScience* **30**, 395-397.
- Vuylsteke D., Swennen R. & Ortiz R., 1993. Registration of 14 improved tropical *Musa* plantain hybrids with black sigatoka resistance. *HortScience* **28**, 957-959.

R. Ortiz, Peruvian. Ph.D. degree from the University of Wisconsin - Madison, MSc. Biol. an Bsc degrees from Universidad Nacional Agraria - La Molina (Peru) and currently holds a Nordic Professorship on Plant Genetic Resources at the Royal Veterinary and Agricultura University (Denmark). Former Leader Plantain and Banana Improvement Program & Officer-in-Charge High Rainfall Station, IITA, Nigeria.
Ilse de Cauwer, Belgian. Former MSc student of the Katholieke Universiteit Leuven, Belgium.

52ste Internationaal Symposium over Fytofarmacie en Fytiatrie

Zal plaats vinden op dinsdag 9 mei 2000 aan de Faculteit Landbouwkundige en Toegepaste Biologische Wetenschappen, Universiteit Gent (België).

De samenvattingen van de mededelingen zullen aan de deelnemers beschikbaar gesteld worden in het Engels.

De voorgestelde mededelingen zullen gepubliceerd worden in de "Mededelingen Faculteit Landbouwkundige en Toegepaste Biologische Wetenschappen, Universiteit Gent".

The 52nd International Symposium on Crop Protection

Will take place on Tuesday the 9th May 2000 at the Department of Crop Protection of the Faculty of Agricultural and Applied Biological Sciences, University Ghent (Belgium).

The summaries of the papers will be made available to the participants in English.

The proceedings will be published in the "Mededelingen Faculteit Landbouwkundige en Toegepaste Biologische Wetenschappen, Universiteit Gent".

Le 52^e Symposium International de Phytopharmacie et de Phytatrie

Se tiendra le mardi 9 mai 2000 à la Faculté des Sciences Agronomiques et Biologiques Appliquées de l'Université de Gand (Belgique)..

Le recueil des résumés des communications sera mis à la disposition des participants en anglais.

Les compte-rendus seront publiés dans les "Mededelingen Faculteit Landbouwkundige en Toegepaste Biologische Wetenschappen, Universiteit Gent".

**Alle briefwisseling dient gericht te worden aan Prof. Dr. ir. P. De Clercq, Faculteit Landbouwkundige en Toegepaste Biologische Wetenschappen, Universiteit Gent, Coupure Links 653, B-9000 Gent (België)
e-mail: patrick.declercq@rug.ac.be, tel. 32 (0)9 264.61.58, fax 32 (0)9 264.62.39.**

Optimisation d'une enquête par sondage dans la recherche système

H. De Groot* & O. Traoré**

Keywords: Optimization - Sample surveys - Farming systems research - Agricultural surveys

Résumé

La collecte des données agro-économiques, essentielle pour la recherche système, est très coûteuse et la qualité des estimations est directement liée aux moyens investis. Il est démontré comment la précision des estimations peut être calculée, à partir de quelques paramètres de base, et comparée avec les coûts nécessaires pour optimiser l'allocation des ressources.

Les paramètres ont été calculés pour les variables clés à base des données de l'Equipe Systèmes de Production et Gestion des Ressources Naturelles de Sikasso, Mali. La précision de l'estimation a été calculée pour différentes options et les résultats montrent que la précision des enquêtes agricoles est très modeste. La petite taille typique de ces enquêtes (12 villages et 8 exploitations par village) ne permet pas de bonne précision des moyennes: une erreur de 5%, souvent même 10%, est minimale. Une augmentation du nombre de villages a un effet positif important, tandis que l'effet d'augmenter le nombre d'exploitations diminue vite au-delà de six à huit exploitations par village.

Ces enquêtes ne sont donc pas indiquées pour obtenir des statistiques agricoles précises. Elles offrent des indicateurs de faible précision, mais indépendants et facilement accessibles. Elles sont mieux indiquées pour évaluer des relations entre variables, comme les causes de certaines contraintes, et les tendances dans l'évolution du système.

Summary

Optimizing Sample Surveys in Farming Systems Research

The collection of agricultural data, essential for Farming Systems Research, is expensive and the quality of the estimated statistics directly linked to the available budget. This paper shows how to calculate estimator precision of sample surveys from a small number of basic parameters, and how to compare it to a cost function for an optimal resource allocation.

Basic parameters are calculated for key variables of the data base of the Farming System Research Team of Sikasso, Mali, and the estimator precision is derived for a number of options. It is shown that this precision can only be very modest with a minimal mean square error of 5% to 10%, for the typical small sample size (12 villages, each with 8 farms). Increasing the number of villages diminishes this error, but the effect of an increasing number of farms per village decrease quickly above six to eight farms per village.

This type of surveys should therefore not be used for agricultural statistics. They do produce indicators of limited precision, but independent and readily accessible. They are better suited to analyze relationships between variables, to link causes with constraints and reasons with technology adoption, and to follow major changes in the system's evolution.

Introduction

La collecte de données socio-économiques fait partie intégrante de la recherche des systèmes de production. Ces enquêtes se confrontent à plusieurs problèmes. La collecte et la gestion des données sont perçues comme étant lourdes et onéreuses, et l'analyse des données dépasse rarement le stade préliminaire. Des réflexions quant aux objectifs de la collecte des données dans la recherche système, et des moyens à investir pour obtenir ces objectifs s'imposent.

En général, les enquêtes en milieu rural sont exécutées pour obtenir des informations sur son économie,

mieux comprendre le milieu et son évolution, et mieux cibler les actions. Dans les pays en voie de développement ces enquêtes sont confrontées à des problèmes particuliers. Le milieu est peu accessible et souvent il y a un manque des données de base. En plus, la variation est très grande, ce qui rend la collecte des données difficile et coûteuse, surtout vu les moyens très limités de ces pays. L'importance de la qualité des données a récemment reçu une nouvelle attention (7), et l'importance de faire le bilan entre les coûts et les bénéfices des enquêtes est reconnue (6). Néanmoins, des méthodes simples pour faire ce bilan et donc optimiser les enquêtes, manquent.

* IITA, BP 08-0932, Cotonou, Bénin, avant ESPGRN-Sikasso

** ICRISAT, BP 320 Bamako Mali, avant ESPGRN-Sikasso

Adresse de correspondance: Hugo De Groot, IITA, BP 08-0932, Cotonou, Bénin - tél. 229 350 553/350188, fax 229 350 556, E-mail IITA-Benin@cignet.com

Reçu le 31.07.97 et accepté pour publication le 24.03.98.

Il existe plusieurs livres sur la collecte des données en milieu rural dans les pays en voie de développement (1) ainsi que des manuels de statistiques agricoles (5). Ils donnent des informations importantes sur les techniques de base, mais n'approfondissent pas le problème d'optimisation. D'autre part, il y a des manuels d'enquêtes et de statistiques avancées, écrits pour un cadre agricole spécifique (2,3). Ces derniers sont malheureusement très techniques et peu accessibles pour les non-techniciens.

Ces dernières années, un intérêt grandissant pour l'estimation de la production agricole a été constaté (8,9,10, 12). Des efforts ont été faits pour rassembler les méthodes et les résultats d'une analyse coût-bénéfice des enquêtes (6), et des méthodes numériques d'optimisation ont été développées dans ce but (4).

Il reste toutefois à faire un grand effort pour rendre ces techniques statistiques et mathématiques accessibles aux praticiens et aux chercheurs sur le terrain, effort qui doit tenir compte de leur connaissance limitée de la théorie, et de l'utilisation de l'ordinateur qui permet le calcul des formules complexes. Le problème est dans le choix des techniques, des méthodes de calcul et l'interprétation des résultats. L'objectif de cet article est de contribuer à une utilisation optimale de la théorie statistique et d'enquêtes dans le domaine de la recherche système. Sur la base des données du Mali-Sud et des méthodes de calculs simples, la précision d'une enquête peut être calculée d'avance. Ces calculs, combinés avec un calcul simple des coûts, permettent des simulations à l'ordinateur aboutissant à une optimisation du problème et à des recommandations pratiques.

Méthodologie

D'abord un modèle simple est développé pour calculer la précision des estimateurs statistiques sur la base des données secondaires ou des simples suppositions, et les fonctions de coûts pour ces estimateurs. Ce modèle est alors appliqué sur les données de base de l'Equipe Systèmes de Production et Gestion des Ressources Naturelles de Sikasso (ESPGRN) de l'Institut d'Economie Rural au Mali qui suit, de façon systématique depuis 1988, 96 exploitations dans 12 villages (voir carte en Figure 1).

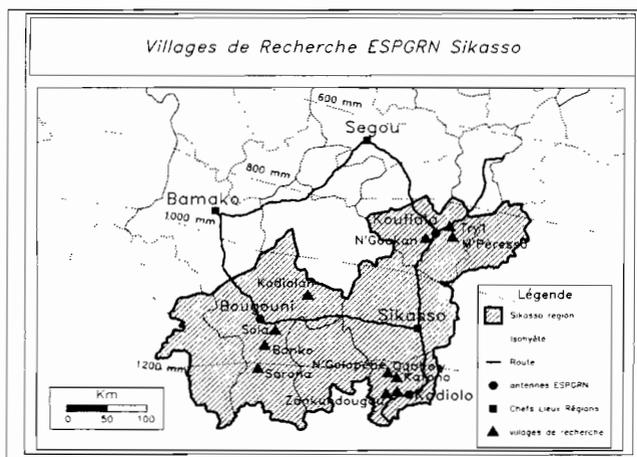


Figure 1

Théorie

En statistique, on appelle population une collection d'unités dont les caractéristiques sont à étudier, comme p.e. toutes les exploitations d'une zone. Une variable est une caractéristique ayant une valeur spécifique pour chaque élément de la population, par exemple la superficie cultivée par exploitation. Les statistiques sommaires comme la moyenne et la variance permettent de décrire une population avec quelques paramètres. On se limite ici aux variables quantitatives. Supposons une population de N éléments dont on veut étudier la variable X. Chaque élément i a une valeur X_i , et la moyenne de la variable X est définie par:

$$\bar{X} = \sum_{i=1}^N \frac{X_i}{N}$$

et la variance de X est:

$$\sigma^2 = \sum_{i=1}^N \frac{(X_i - \bar{X})^2}{N}$$

La racine de la variance est appelée écart-type, et l'écart-type divisé par la moyenne donne le coefficient de variation (CV), intéressant comme nous allons voir parce que indépendant de l'unité de mesure.

Comme la collecte de mesures pour chaque élément d'une population est fastidieuse et onéreuse, on a souvent recours à des enquêtes par sondage. On sélectionne un sous-groupe représentatif de la population, l'échantillon, et on estime les paramètres statistiques de la population sur la base des valeurs de l'échantillon. La formule pour estimer ces paramètres est appelée estimateur. Par exemple, la moyenne de l'échantillon est un estimateur de la moyenne de la population. On accepte que l'estimateur ne correspond pas au paramètre de la population et qu'il y a donc une erreur, appelée erreur de sondage.

On appelle biais l'erreur systématique, égale à la différence entre l'espérance de l'estimateur et le paramètre qu'on veut estimer. Pour le cas de la moyenne:

$$B = E(\bar{x}) - \bar{X} \quad \text{avec} \quad B = \text{biais}$$

On peut montrer qu'avec le sondage aléatoire simple (SAS), la moyenne de l'échantillon est un estimateur non biaisé de la moyenne de la population, en cas d'absence d'erreurs de mesure.

Le grand avantage d'un échantillon aléatoire est que la précision de l'estimation peut être calculée, en se basant sur la distribution de l'erreur de sondage. On peut prouver que cette distribution tend vers la distribution normale avec une moyenne de zéro et un écart-type, appelé erreur-type, donné par:

$$\sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

Optimisation d'une enquête de Sondage Aléatoire Simple

Optimiser signifie obtenir un maximum de résultat avec des moyens limités. Pour les sondages, on cherche à obtenir la meilleure estimation possible avec un bud-

get minimal et dans le temps disponible. On désire maximiser la précision, ou donc minimiser l'erreur d'estimation. Un indicateur convenable est le carré moyen d'erreur (CME), ou l'espérance de la différence entre l'estimateur et le paramètre qu'on veut estimer, élevée au carré. Pour la moyenne, on peut prouver que:

$$CME(\bar{x}) = E(\bar{x} - \bar{X})^2 = \frac{\sigma_x^2}{n} + B^2$$

Pour mieux juger de cette erreur, il est intéressant de la diviser par la moyenne, ce qui donne le CME relatif ou CMER. De la même façon on définit le biais relatif BR, et pour un sondage aléatoire simple de n éléments, avec un biais B , on peut calculer

$$CMER = \frac{1}{\bar{X}} \sqrt{\frac{\sigma_x^2}{n} + B^2} = \sqrt{\frac{CV^2}{n} + BR^2}$$

La contrainte essentielle d'une enquête est le plus souvent le budget. Les coûts pour un sondage aléatoire simple peuvent se diviser en frais fixes C_0 et en coûts variables, C_1 par élément de l'échantillon. Avec un budget Bud la contrainte peut être exprimée par:

$$C_0 + nC_1 \leq \text{Bud}$$

Dans l'équation (7) il n'y a qu'une inconnue: la taille de l'échantillon n . Elle est déterminée par le budget, ce qui détermine à son tour le CMER ou l'erreur minimale qu'on peut obtenir. En pratique, il convient de calculer le CMER pour différentes options de budget, pour trouver le meilleur ratio de qualité (précision) sur prix (budget). On remarque qu'une estimation du coefficient de variation est nécessaire pour le calcul de CMER.

Une première estimation de l'erreur peut se faire à l'aide de l'abaque en Figure 2. Ceci permet, à partir d'une estimation de l'écart-type relatif, de calculer l'erreur type de l'estimation de la moyenne en fonction de la taille de l'échantillon. A travers l'estimation des deux paramètres de la fonction budgétaire (formule 7), un premier bilan précision-coût peut se faire. Sans compliquer, on peut tenir compte du biais des estimations en ajoutant un pourcentage arbitraire pour cette erreur.

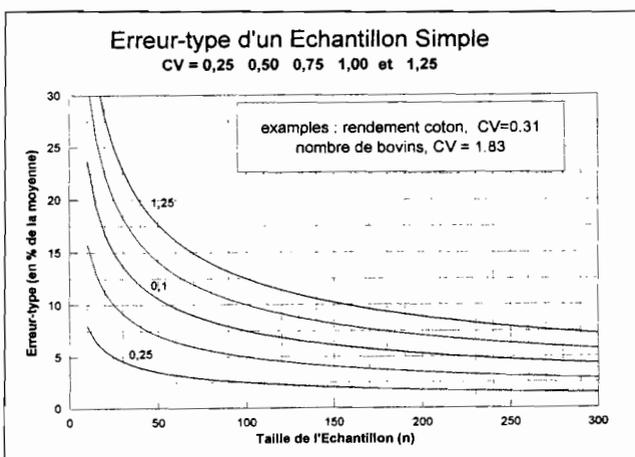


Figure 2

Malheureusement, il existe peu d'études qui ont publié ces estimations.

On souhaite par exemple connaître la surface en céréales par exploitation dans une région donnée. De par les enquêtes précédentes ou dans d'autres régions, on sait que le CV = 60% de la moyenne et on évalue que les paysans surestiment les surfaces avec 5%. Ceci permet de calculer

$$CMER = \sqrt{\frac{CV^2}{n} + BR^2} = \sqrt{\frac{0,60^2}{n} + 0,05^2}$$

Avec un coût fixe pour une telle enquête de 100.000 FCFA par exemple, et un coût variable de 1000 FCFA par exploitation, on peut calculer la précision maximale qu'un budget donné peut obtenir. La figure 2 présente la courbe typique pour cet exemple. Au début, à partir du coût fixe C_0 , l'erreur est très large (60% pour $n=1$), mais diminue très vite avec une augmentation du budget (déjà 27% pour $n=5$, et moins de 10% à partir de $n=50$). Cette amélioration diminue graduellement pour arriver au biais relatif de BR.

Optimiser les enquêtes de sondage dans la recherche système

1. Principes

Dans la recherche système, on utilise surtout le sondage à deux degrés (SDD). Si la population d'intérêt est organisée sur plusieurs niveaux, on peut d'abord tirer un échantillon d'un ensemble d'unités primaires du niveau supérieur. Dans une deuxième étape, on tire dans chaque unité retenue des éléments des unités secondaires (11). Dans la pratique de la recherche système de production, on choisit d'abord les villages comme unités primaires, puis les exploitations dans ces villages. Ce système a des avantages évidents. Les exploitations ne sont pas dispersées dans la zone étudiée, diminuant ainsi les frais de transport. Le nombre de villages est réduit, permettant de mieux connaître le milieu et ses habitants. Dans le cadre de la recherche participative, une meilleure collaboration entre paysans, paysannes et chercheurs est ainsi possible.

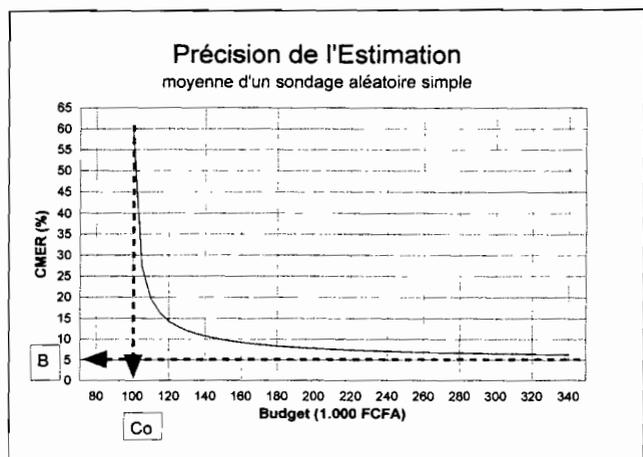


Figure 3

Si les villages et les exploitations sont tous deux tirés au hasard, la précision des estimateurs peut être calculée. Supposons que la zone étudiée contient N villages, dont on tire un échantillon de n. Tous les villages ont approximativement le même nombre d'exploitations M et on en tire m de chaque village.

Sous certaines conditions, la moyenne de l'échantillon \bar{x} est un estimateur non-biaisé de la moyenne de la population, \bar{X} .

La variance de la population σ^2 peut être décomposée en deux parties: la variance entre les villages

$$\sigma_e^2 = \sum_{i=1}^N \frac{(\bar{X}_i - \bar{X})^2}{N}$$

et la variance dans les villages:

$$\sigma_i^2 = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M \frac{(X_{ij} - \bar{X}_i)^2}{MN}$$

Ce dernier peut être estimé par la moyenne de la variance de l'échantillon dans les villages:

$$\hat{\sigma}_i^2 = s_i^2 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \frac{(x_{ij} - \bar{x}_i)^2}{n(m-1)}$$

La variance des moyennes des villages, calculée sur l'échantillon comme

$$s_e^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(\bar{x}_i - \bar{\bar{x}})^2}{(n-1)}$$

n'est pas un estimateur non-biaisé de la variance entre villages σ_e^2 . Celui-ci peut être calculé avec la formule

$$\hat{\sigma}_e^2 = s_e^2 - \frac{s_i^2}{m}$$

Finalement, ces paramètres peuvent être utilisés pour calculer la précision de l'estimateur, toujours exprimée par l'erreur-type, calculée comme

$$\sigma_{\bar{x}} = \sqrt{\left(1 - \frac{n}{N}\right) \frac{\sigma_e^2}{n} + \left(1 - \frac{nm}{NM}\right) \frac{\sigma_i^2}{nm}}$$

En général, on n'a pas accès à ces paramètres avant d'entamer une enquête, et pour cette raison nous proposons d'utiliser l'erreur relative CMER, qui peut être calculée comme

$$CMER(\bar{x}) = \frac{1}{\bar{x}} \sqrt{\left(1 - \frac{n}{N}\right) \frac{\sigma_e^2}{n} + \left(1 - \frac{nm}{NM}\right) \frac{\sigma_i^2}{nm} + B^2}$$

Cette approche permet d'utiliser deux paramètres relatifs et donc plus facile à obtenir: le CV et la variance relative entre les villages

$$\rho = \sigma_e^2 / \sigma^2$$

On reformule

$$\frac{\sigma_e^2}{\bar{X}^2} = CV^2 \rho \quad \text{et} \quad \frac{\sigma_i^2}{\bar{X}^2} = CV^2(1-\rho)$$

pour obtenir:

$$CMER(\bar{x}) = \sqrt{\left(1 - \frac{n}{N}\right) \rho \frac{CV^2}{n} + \left(1 - \frac{nm}{NM}\right) (1-\rho) \frac{CV^2}{nm} + BR^2}$$

La précision dépend donc de la variance, exprimée en CV, et de la division de cette variance entre villages et dans les villages, la taille de l'échantillon (n et m) et de la population (N et M). Dans la pratique, la proportion des villages sélectionnée (n/N) est souvent petite, et on pourrait négliger les facteurs de correction, ce qui donne la simple formule

$$CMER(\bar{x}) = \sqrt{\rho \frac{CV^2}{n} + (1-\rho) \frac{CV^2}{nm} + BR^2}$$

Maintenant, on n'a plus besoin de connaître le nombre ou la taille des villages. La précision relative de l'estimation de la moyenne peut être calculée en fonction de la taille de l'échantillon, ρ , CV et BR. Ces paramètres peuvent être estimés des enquêtes précédentes ou en faisant des suppositions basées sur des calculs comme Tableau 1 dans la section suivante.

Pour faire le bilan, on a besoin des coûts. Les coûts d'un sondage à deux degrés peuvent être décomposés en un coût fixe C_0 , un coût variable C_1 par unité primaire (village) et un coût variable C_2 par unité secondaire (exploitation). La contrainte budgétaire devient maintenant

$$C_0 + nC_1 + nmC_2 \leq Bud$$

Il y a maintenant donc deux variables de choix, le nombre d'unités primaires n et le nombre d'unités secondaires par unité primaire, m. La taille de l'échantillon est alors donné par nm. En calculant les précisions de l'estimateur avec le CMER d'un côté, et les coûts avec la formule précédente, on peut faire le bilan et optimiser l'enquête. Saisir les formules dans un logiciel tableur et simuler différents scénarios donnant très vite des résultats. Alternativement (la théorie est expliquée en référence 2), on peut calculer la taille optimale de l'échantillon avec la formule:

$$m = \sqrt{\frac{c_1 \hat{\sigma}_i}{c_2 \hat{\sigma}_e}} = \sqrt{\frac{c_1 (1-\rho)}{c_2 \rho}}$$

2. Application: l'ESPGRN de Sikasso

Prenons un exemple, la superficie moyenne par exploitation dans la zone Mali-Sud. Pour les villages de l'ESPGRN-Sikasso, on a accès aux données des enquêtes précédentes qui permettent de calculer la taille moyenne (9,56 ha), le CV (0,53) et la variance entre villages relative ρ (0,19). La variance entre villages ne représente donc que 19% de la variance totale, ce qui diminue l'effet d'augmenter le nombre de villages. A

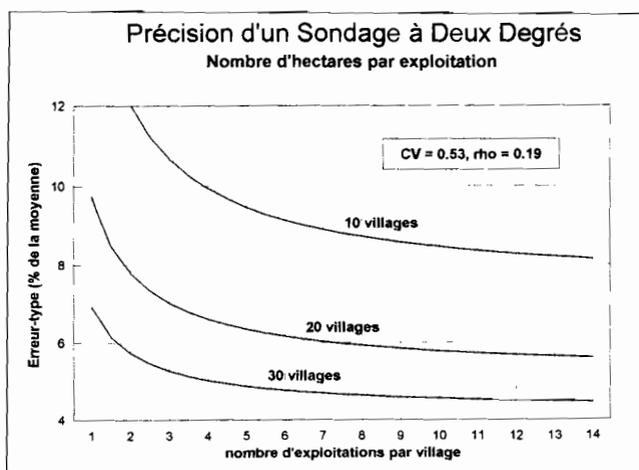


Figure 4

partir de l'équation (15) le bilan entre nombre de villages et nombre d'exploitations peut être calculé. Ces calculs sont démontrés dans la Figure 4.

La précision de l'estimation de la surface moyenne par exploitation est calculée pour un nombre d'options. La ligne la plus haute représente la précision qu'on peut obtenir avec un échantillon de 10 villages ($n=10$), en fonction du nombre d'exploitations par village (m). On constate qu'avec 4 exploitations par village on obtient une erreur de plus de 10% (en négligeant ici les erreurs de mesures), et l'erreur peut être réduite jusqu'à 8% en augmentant le nombre d'exploitations par village jusqu'à 10, mais il n'est pas possible d'aller plus loin. En général, l'effet d'augmenter le nombre d'exploitations diminue vite au-delà de 6 ou 8 exploitations par village. Augmenter le nombre de villages, par contre, a de fortes répercussions sur l'erreur, même avec le petit ρ . Dix villages de plus diminuent l'erreur de 2-3% (de la moyenne), et encore 10 villages avec 1%. Il est important d'étudier la limite des estimations. même avec 30 villages et 10 exploitations par village l'erreur reste supérieure à 4%, avant même d'inclure les erreurs de mesure, ou un intervalle de confiance de $\pm 8\%$ (niveau de confiance de 95%).

Le tableau 3 donne encore quelques variables clés de la base de données de l'ESPGRN-Sikasso avec les différentes composantes de la variance. La précision est calculée pour un échantillon de 12 villages, et 8 exploitations par village. On voit que les variables dont la variance est petite et située surtout dans les villages même, comme "nombre de personnes dans l'exploitation" peuvent être estimées avec une précision relativement bonne. Les variables liées à la zone agro-écologique (superficie ou production de coton et de maïs) varient beaucoup entre les villages ($\rho > 0.30$) tandis que les variables de taille (nombre de personnes, bovins ou hectares cultivées) varient surtout dans les villages ($\rho < 0.20$). Le nombre de membres ou d'hectares varie peu entre les exploitations (CV = 0.54 et 0.52) tandis que la taille des troupeaux est très variable (CV = 1.82).

Tableau 1
Moyenne et variance relative de quelques variables clés

variable	unités	\bar{X}	C.V.	ρ	$CMER_{(\bar{X})}^*$
personnes	nbre/exploitation	15.11	0.51	0.06	0.06
bovins	nbre/exploitation	9.53	1.73	0.13	0.24
bœufs de labour	nbre/exploitation	2.39	0.87	0.29	0.15
superficie en maïs	ha/exploitation	1.28	0.99	0.48	0.21
superficie en coton	ha/exploitation	2.20	0.82	0.37	0.16
superficie totale	ha/exploitation	10	0.53	0.19	0.08
maïs produit	kg/exploitation	1538	1.01	0.46	0.21
coton produit	kg/exploitation	1763	1.14	0.42	0.23
rendement coton	kg/ha	1125	0.29	0.25	0.05
rendement maïs	kg/ha	1360	0.68	0.29	0.12
production céréalière	kg/membre	284	0.55	0.43	0.11

* ($n=12, m=8$)

Ces résultats nous permettent d'estimer l'ordre de grandeur d'un bon nombre de paramètres et ainsi calculer la précision approximative des enquêtes futures.

Jusqu'ici nous avons traité seulement des sondages aléatoires. Dans la réalité de la recherche système, malheureusement, les éléments sont souvent tirés de façon raisonnée. Puisque le raisonnement est nécessairement subjectif, il n'existe pas de calcul objectif pour estimer la précision. En général, on espère que l'erreur d'une estimation de la moyenne d'un choix (bien) raisonné ne devrait pas dépasser celle d'un tirage au hasard. Par contre, comme on évite généralement les extrêmes, la variabilité sera sous-estimée.

Conclusions

Dans cet article une nouvelle approche est testée pour optimiser des enquêtes de sondage dans la recherche système. Il a été démontré qu'à la base de quelques paramètres clés sur la structure et la variation de la population, un indicateur pratique des erreurs, le Carré Moyen d'Erreurs Relatif, peut être calculé. Comme l'erreur est ici exprimé en pourcentage de la moyenne de la population, son calcul ne nécessite que des paramètres relatifs, qu'on peut obtenir assez facilement. De la même façon on calcule les coûts avec quelques paramètres de base. Le calcul sous différents scénarios avec un simple modèle de tableur permet de faire le bilan entre précision désirée et moyens disponibles.

Cette approche s'applique facilement sur les sondages typiques à la recherche système: le sondage aléatoire simple et à deux degrés, et permet d'inclure de simples suppositions sur les erreurs de mesures et le biais. La méthode ne nécessite qu'une connaissance de base des statistiques et la manipulation d'un tableur sur un ordinateur de base.

Une application sur les données de l'ESPGRN de Sikasso montre bien les faiblesses et les avantages de ces enquêtes. La taille, typiquement petite, ne permet pas de bonne précision des moyennes, avec des erreurs rarement inférieures à 5%, même 10%. Ces enquêtes ne se prêtent donc pas à des statistiques agricoles comme la comparaison des zones. De l'autre côté, les données sont d'une qualité élevée, et les résultats sont indépendants et vite accessibles aux cher-

cheurs. Toujours, ce ne sont que des indicateurs, et il est donc indiqué de se limiter aux variables jugées nécessaires pour comprendre et suivre le système. Ici, la recherche système profiterait de son réseau d'agents de terrain déjà basés dans les villages de recherche.

Les données ainsi collectées sont bien adaptées pour des calculs statistiques autres que les moyennes. La précision des calculs des tendances et les analyses de régression multiple sont moins dépendantes de la taille de l'échantillon et sont donc plus indiquées.

Finalement, la base de donnée de la recherche système se laisse facilement combiner avec d'autres enquêtes sur des thèmes spécifiques, formelles aussi bien qu'informelles. Le réseau des agents de terrain permet de réaliser très vite des enquêtes informelles, en groupes ou individuelles, sur des thèmes actuels, par exemple le taux d'adoption d'une nouvelle variété

ou technologie. Ces enquêtes montrent facilement les facteurs clefs et les variables nécessaires à ajouter dans la base pour approfondir les connaissances ou pour tester formellement certaines hypothèses. Cette sorte d'étude peut intéresser un bon nombre de services et de bailleurs de fonds, ce qui peut générer des revenus, sans trop gêner la vocation centrale de la recherche système.

Remerciements

Nous voulons remercier nos collaborateurs à l'Equipe Systèmes de Production et Gestion des Ressources Naturelles-Sikasso, particulièrement le chef d'équipe Dr. Demba Kébé, nos collègues économistes Hamady Djouara et Johan Brons, les enquêteurs, les superviseurs et les chefs d'antenne pour leur support dans ce travail; ainsi que deux lecteurs anonymes pour leurs commentaires critiques et constructifs.

Références bibliographiques

1. Casley Dennis J. & Denis D. Lury, 1981. Data collection in developing countries. Cambridge MA: Oxford University Press.
2. Cochran William G., 1977. Sampling Techniques. New York NY: John Wiley and Sons.
3. Dagnelie Pierre, 1973. Théorie et méthodes statistiques, applications agronomiques. Les Presses Agronomiques de Gembloux, Gembloux (Belgique).
4. De Groote H., 1996. "Optimal Survey Design for Rural Data Collection in Developing Countries." Quarterly Journal of International Agriculture Vol. 35, No.2, pp. 163-175.
5. FAO, 1982. Estimation of crop areas and yields in agricultural statistics, FAO Economic and Social Development Paper 22. Rome: Food and Agriculture Organization.
6. Groves Robert M., 1989. Survey Errors and Survey Costs. New York: John Wiley & Sons.
7. Kelly V., J. Hopkins, T. Reardon & E. Crawford, 1995. Using Micro Data to Improve the Measurement and Analysis of African Agricultural Productivity, Michigan State University, Dept. of Agricultural Economics Staff Paper No. 95-24.
8. Murphy, Josette, Dennis J. Casley & John J. Curry, 1991. Farmers' Estimations as a Source of Production Data: Methodological Guidelines for Cereals in Africa. Washington, D.C.: World Bank.
9. Poate D., 1988. A review of methods for measuring crop production from smallholder producers. Experimental Agriculture, 1988, 24 (1).
10. Poate C.D. & Casley Dennis J., 1985. Estimating crop production in development projects, methods and their limitations. World Bank, Washington.
11. Snedecor George & William Cochran, 1957. Méthodes Statistiques. Association de Coordination Technique Agricole, Paris.
12. Verma Vijay, Marchant Tim and Scott Chris, 1988. Evaluation of crop-cut methods and farmer reports for estimating crop production, results of a methodological study on five African countries. London: Longacre Agricultural Development Centre Limited.

Dr. Ir. H. De Groote: Belge. Ingénieur agronome de l'université de Gand, Doctorat en agro-économie de University of Wisconsin-Madison, travaille actuellement pour l' International Institute of Tropical Agriculture (IITA) au Bénin, avant à l'Equipe Systèmes de Production et Gestion des Ressources Naturelles-Sikasso de l'Institut d'Economie Rurale, Mali.

Ir. O.F. Traoré: Malien. Ingénieur agronome de l'Institut Polytechnique Rural de Katibougou, Mali, travaille pour l' International Crop Research Institute for the Semi-Arid Tropics (ICRISAT) au Mali, avant agro-économiste pour l'Equipe Systèmes de Production et Gestion des Ressources Naturelles-Sikasso de l'Institut d'Economie Rurale, Mali.

Effets du tractus digestif de chèvres sur la germination de *Zizyphus mauritiana* Lam.

M. Guèye*, P.I. Samb** & A. Nongonierma*

Keywords: Seeds - Germination - Seed dormancy - Breaking seed dormancy - Goat digestive tract - *Zizyphus mauritiana*.

Résumé

Le jujubier africain (*Zizyphus mauritiana* Lam.), plante à usages multiples, originaire de l'Afrique tropicale sèche et subaride est une espèce très menacée. En effet, sa régénération naturelle est limitée du fait d'un endocarpe lignifié, peu perméable à l'air et à l'eau rendant ainsi la germination des graines très aléatoire. Sa sauvegarde passe par une bonne maîtrise des différents facteurs de sa germination. Les mécanismes mis en jeu pour la levée de la dormance tégumentaire ont été étudiés en tenant compte des facteurs de scarification naturelle. Les meilleurs résultats sont obtenus avec les graines seules après concassage des fruits. Elles permettent d'obtenir une germination en cinq jours et d'atteindre un taux de germination de 88%. Les fruits ayant transité par le tractus digestif des chèvres présentent un taux de germination de 69% significativement plus important que celui des fruits entiers avec pulpe (61%). Bien que le taux de germination de ces fruits récupérés dans les fèces de chèvres soit plus élevé en moyenne par rapport à celui des fruits avec endocarpe après concassage (65%), il n'en est pas pour autant significativement différent.

Summary

Effect of Goat Digestive Tractus on the Seeds Germination of *Zizyphus mauritiana* Lam.

The jujube tree (*Zizyphus mauritiana* Lam.), a plant of numerous uses, native of Africa is threatened to extinction. The presence of lignified endocarpe scarcely permeable to water and to air inhibits seed germination and consequently limits its regeneration. Its preservation requires good knowledge of various factors controlling seed dormancy. The mechanisms involved in breaking seed dormancy were studied in light of natural scarification. The results showed that isolated seeds obtained after breaking endocarpe gave the highest germination rate (88%). In this case, seeds germinated sooner, five days after sowing. The fruits which have passed in transit in the digestive tube of goat presented germination rate (69%) significantly more important than those of intact fruits (61%). However, the germination rate of ingested fruits was, in average, more important than those of the seeds with endocarpe and no ingested (65%).

Introduction

Les espèces du genre *Zizyphus* sont des arbrisseaux, parfois des arbustes sarmenteux ou même des arbres. Elles sont très fréquentes en régions soudanienne et sahélienne. Certaines pénètrent dans la région soudano-guinéenne. Le genre *Zizyphus* comprend entre 80 (1) et 100 espèces (22) réparties dans différentes régions d'Afrique, d'Amérique, d'Asie, d'Europe et d'Australie (22). Les jujubiers à fruits comestibles furent cultivés sur une grande échelle alors que la culture des céréales n'était pas encore pratiquée partout. Cette domestication très ancienne serait la cause de leur vaste dispersion actuelle (5).

Zizyphus mauritiana, qui fait l'objet de la présente étude, est, de toutes les espèces, celle qui couvre l'aire la plus étendue à la surface du globe (5). Il est originaire d'Afrique où il occupe une immense aire de dispersion. Dans les zones sahéliennes, il constitue l'espèce dominante d'associations climatiques caractéristiques qui s'étendent au sud du Sahara, de

l'Atlantique (Sénégal, Mauritanie) jusqu'à la Somalie. Il est par ailleurs présent en Arabie et en Inde (5). La plasticité écologique de l'espèce est donc très importante. Elle est considérée comme l'espèce africaine de jujubier la plus répandue. On la trouve fréquemment dans les terrains sablonneux, rocheux, de culture et les bords de rivières (1).

Depuis quelques décennies, les écosystèmes sahéliens et leurs ressources naturelles sont soumis à une dégradation sans cesse croissante qui est pour une large part imputable à la sécheresse mais également aux actions anthropiques. Les espèces utiles pour l'homme sont surexploitées.

Zizyphus mauritiana, qui est une plante à usages multiples, est particulièrement menacée du fait de sa régénération difficile. Son fruit constitue un important produit de cueillette et fait l'objet d'une large exploitation. Il peut se conserver jusqu'à 5 ou 6 mois (2) et est

* Institut Fondamental d'Afrique Noire (IFAN) Ch. A. DIOP, UCAD, B.P. 206, Dakar (Sénégal).

** Département de Biologie Végétale, Faculté des Sciences et Techniques, UCAD, B.P. 5005, Dakar (Sénégal).

Reçu le 24.01.97 et accepté pour publication le 16.02.98.

mangé frais ou sec. Les fruits secs sont farineux, riches en vitamines A et C (2) et ils contiennent jusqu'à 75% de glucides (14). Plusieurs usages de la pulpe sèche dont la fabrication de pâtisseries, de boissons acidulées désaltérantes ou encore de pains mangés seuls ou mélangés avec du lait ou à des sauces sont également signalés (5).

En médecine traditionnelle, les feuilles pilées servent à mûrir les furoncles (14) et sont aussi utilisées contre le diabète, l'hypertension et les troubles visuels. Les racines quant à elles sont utilisées contre les maladies vénériennes (14) et seraient également vermifuges et antirhumatismales. De même, les écorces sont anti-entéralgiques (14) et vermifuges. Les feuilles et les fruits de *Z. mauritiana* sont également très appréciés par les ovins et les caprins. Cette exploitation importante et les aléas climatiques constituent des obstacles supplémentaires à une régénération déjà rendue hasardeuse par la germination limitée des graines.

En zone aride et semi-aride, la germination des semences est limitée par des conditions hydriques peu favorables et/ou par des problèmes de dormance ou d'inhibition dus à l'imperméabilité des téguments à l'air et à l'eau ou à des toxines endogènes (7). C'est ainsi que différentes tentatives ont été faites pour améliorer la germination des graines de *Z. mauritiana* (3,4,16,18,19,20). Aucune d'entre elles ne s'est intéressée aux effets du tractus digestif de chèvres sur la germination des semences de *Z. mauritiana* qui constitue cependant une voie naturelle de levée de la dormance des graines. Le présent travail tente de mieux comprendre ce phénomène sur la germination de *Z. mauritiana*.

Matériel et méthodes

Le fruit de *Z. mauritiana* est une drupe subsphérique, jaune doré à marron clair, d'un diamètre moyen d'environ 5 mm (14) pouvant atteindre exceptionnellement 1 cm voire 2 cm (flora Zambica). Il comprend un exocarpe fin, un mésocarpe charnu (pulpe) et un ou deux loges carpellaires très rarement trois (contenant chacune une graine) noyées dans un endocarpe lignifié, donc très dur. Les fruits de *Z. mauritiana* ont été récoltés au cours d'une mission botanique à Saint-Louis (Nord Ouest du Sénégal) aux mois d'avril et mai 1996. Ces fruits ont été récoltés mûrs secs dans le Département de Matam situé entre 13° et 13,5°W et 15,5° et 16°N à 693 km de Dakar. Ils ont ensuite été stockés en chambre froide à 4°C jusqu'au mois de juillet 1996. Ce travail a été effectué au Département de Botanique de l'IFAN Cheikh Anta DIOP et en collaboration avec le Département de Biologie Végétale de la Faculté des Sciences et Techniques de Dakar. Les essais de germination sont effectués sur des fruits mûrs entiers avec pulpe et exocarpe (Traitement 1: T1), ou débarrassés de leur pulpe au laboratoire à l'aide d'un scalpel (Traitement 2: T2). Les graines seules extraites des fruits débarrassés de leur pulpe et dont l'endocarpe ligneux est concassé à l'aide d'un marteau sont également semées (Traitement 3: T3). Enfin, des fruits avec endocarpe ramassés après passage dans le tractus digestif de chèvres (Traitement 4: T4) sont mis en

germination.

Les semis ont été effectués dans les gaines plastiques de 0,5 litre, de 15 cm de diamètre, remplies de sol sablo-argileux dont les caractéristiques physico-chimiques sont mentionnées dans le tableau 1. Les gaines sont ensuite placées sous ombrière et quotidiennement arrosées à 9h pendant 60 jours. Chaque matin, le nombre de graines germées est compté. Une graine sera considérée comme ayant germé lorsque les cotylédons sortent de terre. Quatre répétitions de 25 graines chacune ont été effectuées par traitement. Les pourcentages cumulés des graines ayant germé pour chaque traitement ont été transformés en Arc-Sin (9) avant d'être comparés au moyen de l'analyse de la variance (ANOVA) en utilisant le logiciel Statview (11).

Tableau 1
Caractéristiques physico-chimiques du sol

Texture (%)	
Argile	: 11,58
Limon fin	: 4,50
Limon grossier	: 6,77
Sable fin	: 41,97
Sable grossier	: 35,18
Matière Organique	
Matière organique total (%)	: 4,980
C/N	: 9,633
Bases Echangeables en meq pour 100 g de sol	
Calcium	: 4,67
Magnésium	: 1,77
Potassium	: 0,06
Sodium	: 0,28
S	: 6,78
T	: 6,54
S/T = V (%)	: > 100
Minéraux	
CO ₃ Ca %	: 1,68
P ₂ O ₅ total %	: 2,70
pH	: 8,00

S = Somme des bases échangeables

T = C.E.C. = Capacité d'Echange Cationique

S/T = V = Taux de Saturation

Résultats et Discussion

Les graines isolées présentent une germination précoce intervenant 5 jours après semis (4%, fig.1). La vitesse de germination est plus importante pour les graines isolées puis suivent dans l'ordre les fruits consommés par les chèvres et enfin les fruits entiers. La germination ne commence que 18 jours après semis pour le T1 et T2 et 10 jours pour les T4. Il est alors observé un taux de germination de 1,25% (en % du taux cumulé journalier de germination) pour les fruits entiers (T1), de 2% pour les graines recouvertes de l'endocarpe du fruit issues de fruits non ingérés par les chèvres (T2) et de 1,25% pour les fruits consommés par les chèvres dont les graines, enfermées dans l'endocarpe du fruit, ont été ramassées dans les fèces (T4). Dans le cas des graines obtenues par concassage (T3), la germination est assez rapide et le taux maximum est obtenu au bout de 18 jours. A ce moment, la germination ne vient que de commencer pour les autres types de semences utilisées et les taux de germination restent faibles: 4,25% pour les fruits entiers (T1), 5,5% pour T2 et 7% pour T4 (fig.1).

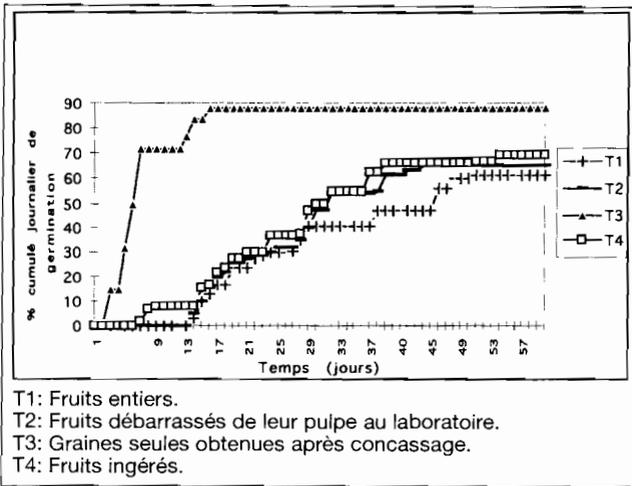


Figure 1 Vitesse de germination de *Z. mauritiana* en fonction du type de traitement.

En ce qui concerne le taux de germination, le lot constitué par les graines a permis d'obtenir le meilleur taux (88%) (fig.2). Les graines issues de fruits ingérés réalisent un taux de germination (69%) qui dépasse les pourcentages obtenus avec les autres traitements mais qui n'est significativement différent que de celui des graines de fruits entiers (61%). Le taux de germination des graines provenant de fruits débarrassés de leur pulpe au laboratoire (65%) est plus élevé que celui des graines de fruits entiers (61%) mais, n'en diffère pas de façon significative.

Les graines isolées de l'endocarpe germent plus vite et avec un taux plus grand que celui des graines de tous les autres traitements. Le retard et la baisse des taux de germination observés pour les lots expérimentaux différents des graines nues sont probablement dus à une inhibition tégumentaire endocarpique. L'endocarpe est, en effet, fortement sclérenchymatisé, très dur, imperméable à l'air et à l'eau. Ainsi, il constitue d'une part, une barrière à la pénétration de l'eau et de l'air et d'autre part, une barrière mécanique à la sortie de la radicule et de la tigelle et donc à la germination. Pour qu'une graine puisse germer, il lui faut s'imbiber et respirer. L'imbibition et la respiration entraînent une reprise du métabolisme cellulaire devant aboutir à des mitoses intenses et à la sortie de la radicule. Ce type d'inhibition est dit tégumentaire car émanant des téguments contrairement à celle dite embryonnaire (absente chez *Z. mauritiana*) car liée à l'embryon. Ces résultats confirment ceux obtenus sur les semences de bois puant (*Foetida mauritiana* Lam.) (12) qui a le même type de fruit.

Les graines prisonnières de l'endocarpe du fruit ramassées dans les déjections des caprins germent plus rapidement que celles issues de fruits ayant conservé leur pulpe, même si leur taux de germination ne montre aucune différence significative avec les semences débarrassées de leur pulpe au laboratoire. Toutefois, elles germent plus tôt et avec un taux significativement plus élevé que celui des fruits entiers car 10 jours après semis, les premières germinations ont été notées alors que les graines germées pour les traitements T1 et T2. Cette précocité serait due, d'une part, aux sucs digestifs par

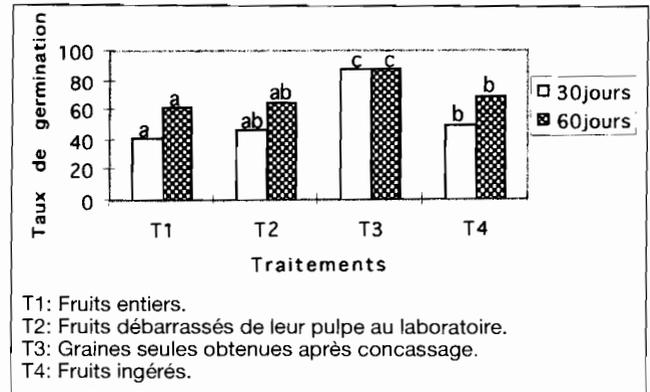


Figure 2. Taux cumulés de germination de *Z. mauritiana* à 30 et 60 jours, après semis, en fonction du type de traitement.

une action de ramollissement et d'autre part, aux effets mécaniques de la mastication qui ont comme résultantes, une augmentation de la porosité à l'air et à l'eau de l'endocarpe et une interruption de la dormance et donc une germination plus rapide plutôt qu'un taux de germination amélioré (21). L'action soutenue des acides doux aurait les mêmes effets ramollissants que l'action des acides concentrés comme l'acide sulfurique (17). En effet, il faut 10 jours pour voir les premières germinations et 48 jours pour obtenir 69% de germination chez les graines ayant séjourné dans le tractus digestif des chèvres alors qu'il a fallu 18 jours pour le début de la germination et 51 jours pour avoir des taux de 65% et 61% respectivement pour les graines issues de fruits débarrassés de leur pulpe au laboratoire et les fruits entiers. Les fruits débarrassés de leur pulpe au laboratoire et les fruits entiers ont un comportement similaire: la germination de leurs graines s'effectue dans les mêmes délais et ne présente aucune différence significative car l'exocarpe et le mésocarpe sont peu résistants et, également très perméables à l'air et à l'eau.

Cette rapidité de germination observée pour les graines de fruits ingérés peut avoir un effet bénéfique car les pluies annuelles sont très irrégulières et concentrées sur une période très courte de l'année (1 à 3 mois) dans les régions sahéennes où pousse *Z. mauritiana*. Les graines provenant des fèces des animaux peuvent germer rapidement dès la première pluie suffisante et profiter au maximum des conditions climatiques favorables de la courte saison des pluies pour grandir et emmagasiner des réserves afin de mieux faire face aux rigueurs de la saison sèche qui dure de 9 à 11 mois. L'ingestion des fruits présente aussi d'autres avantages car elle donne une répartition des graines plus régulière et plus étendue que la dissémination par le vent (8,10). Cette répartition va dépendre du comportement des animaux c'est-à-dire de la territorialité ou des déplacements saisonniers ainsi que de leur stabilisation ou divagation et enfin du temps nécessaire à la digestion (21). Les effets du tube digestif sont ainsi très importants sur la levée de la dormance tégumentaire et sur la vitesse de germination. Cette dernière apparaîtrait comme prépondérante dans la réponse germinative des graines dans les conditions climatiques et édaphiques sahéennes (21). Nos résultats confirment les hypothèses préalablement avancées (6,13,15).

Le passage des graines par le tractus digestif des polygastriques favoriserait la germination aussi bien en ce qui concerne sa vitesse et l'amélioration des taux obtenus. En effet, il provoque l'accélération de la vitesse de germination et permet ainsi de réduire le temps disponible aux phytoparasites pour causer des dégâts en même temps qu'il favorise la dissémination des semences dans l'espace.

Conclusions

Le concassage mécanique des fruits de *Z. mauritiana* permet d'atteindre un taux de germination très élevé (88%) et dans un bref délai (18 jours maximum). Le

passage des fruits par le tractus digestif de chèvres accélère la germination des graines tout en améliorant son taux par rapport aux fruits entiers ou avec endocarpe obtenus par concassage au laboratoire. Cet accroissement de la vitesse de germination pourrait constituer un avantage intéressant pour la régénération de cette espèce en zone sahélienne où la saison pluvieuse est très courte. Il constitue ainsi chez *Z. mauritiana* un moyen naturel de levée de la dormance tégumentaire. Cette dernière est due à un endocarpe lignifié, imperméable à l'air et à l'eau. Il serait intéressant de comparer cette scarification naturelle à la scarification chimique utilisant l'acide sulfurique et l'éthanol.

Références bibliographiques

1. Aubreville, 1950. Flore forestière soudano-guinéenne. A.O.F., Cameroun, A.E.F. Paris, Soc. d'Edt. Geogr. Maritime et Colon. 523 p.
2. Baumer, 1995. Arbres, arbustes et arbrisseaux en Afrique Occidentale. Dakar, Enda-Editions, 1995. Série Etudes et Recherches N° 168-160-170, 260 p.
3. Bhambhota, J.R. & Singh, A., 1971. A quick method of raising ber rootstocks. Punjab Horti. J., **11**: 251-253.
4. Casini, E. & Salvadori, S., 1980. The germination of seeds of jujuba (*Zizyphus sativa*). I. The effect of gibberellic acid on seeds with and without endocarp. Review of Agriculture for Sub-tropics and Tropics, **74**: 39-47.
5. Chevalier, A., 1947. Les jujubiers ou *Zizyphus* de l'ancien monde et l'utilisation de leurs fruits. Rev. Bot. Appl., **27**: 470-483.
6. Coe, M. & Coe, C., 1987. Larges herbivores, acacia trees and bruchid beetles. S. Afr. J. Sci., **83**: 624-635.
7. El Sharkawi, H.M. & Farghali, K.A., 1985. Interactive effects of water potential and temperature in the germination of seeds of the desert perennials. Seed Science and Technology, **13**: 265-283.
8. Fenner, M., 1985. Seed ecology-chapman and hall, London.
9. Freese, F., 1967. Elementary Statistical Methods for Foresters. US Department of Agriculture Forest Service, Agricultural handbook 317. US Government Print, Washington, DC.
10. Harper, J.L., 1977. Population biology of plants. Academic Press, London.
11. Heith H., Jay R., Jim G., & Phil S., 1918. Statview. Ed. Abacus concepts, Inc. Bonita Avenue, Berkeley California, 94704-1014.
12. Hermet, M. & Tassin J., 1995. Germination des semences du bois puant. Bois et Forêts des Tropiques, **213**: 41-49.
13. Janzen, D.H., 1969. Seed-eaters versus seed size, number toxicity and dispersal. Evolution, **23** (1): 1-27.
14. Kheraro, J. & Adam, G., 1974. La pharmacopée sénégalaise traditionnelle: plantes médicinales et toxiques. Edition Vigot frères, 1011 p.
15. Lamprey, H.F., Halevy, G. & Machaka, S., 1974. Interactions between *Acacia*, bruchid seed beetles and large herbivores. E. Afr. Wildl. J., **12**: 81-85.
16. Murthy, B.N.S. & Reddy, Y.N., 1989. Temperature dependence of seed germination and seedling growth in ber (*Zizyphus mauritiana* Lam.) and their modification by pre-sowing treatments. Seed Sci. & Technol., **18**: 621-627.
17. Nongonierma, A., 1978. Contribution à l'étude biosystématique du genre *Acacia* Miller en Afrique occidentale. Thèse de Doctorat d'Etat, 3 tomes, 822 p. Faculté des Sciences et Techniques de l'Université de Dakar.
18. Pareek, O.P., 1978. Quicker way to raise ber orchards. Indian Horticulture, **23**: 5-7.
19. Prins, H. & Maghembe, J.A., 1994. Germination studies on seed of fruit trees indigenous to Malawi. Forest Ecology and Management, **64**: 111-125.
20. Shanmugavelu, K.G., 1970. Effect of gibberellic acid on seed germination and development of seedlings in some tree plant species. Madras Agricultural Journal, **57**: 311-314.
21. Tybirk, K., 1991. Régénération des légumineuses ligneuses du Sahel. Aarhus Reports 28, Botanical Institute, Aarhus University, Danemark, 86 p.
22. Willis, J.C., 1985. Dictionary of the flowering plants & Ferns. Student edition. Eighth Edition. Revised by H.K. Airy Shaw. 1245 p.

M. Guèye, Sénégalais, Assistant de Recherches, Laboratoire de Botanique, IFAN Ch.A. Diop.

P.I. Samb, Sénégalais, Docteur d'Etat, Maître de conférences, UCAD, Dakar.

A. Nongonierma, Burkinabé, Docteur d'Etat, Professeur Titulaire, Chef du Département de Botanique et Géologie de l'IFAN.

Le facteur risque et la réponse des producteurs: cas de la céréaliculture dans le Nord de la Tunisie

D. Mehouchi* & R.F.J. Romain**

Keywords: Acreage - Risk - Variability - Tunisia

Résumé

Cette étude a tenté de déterminer l'effet d'un changement dans le risque associé à la production céréalière sur les superficies ensemencées. Un modèle de réponse des ensemencements fut développé pour la production des céréales dans le Nord de la Tunisie. La variabilité non anticipée par les agriculteurs, s'est avérée une bonne approximation de la variable reflétant le risque. Les résultats empiriques montrent que le risque joue un rôle important dans l'affection (les décisions d'ensemencement des agriculteurs). L'impact du risque est plus prononcé sur les ensemencements en blé tendre et orge que sur les ensemencements en blé dur. Les résultats montrent également qu'une diminution du risque stimule la production et pourrait réduire en conséquence les importations des céréales.

Summary

Supply Response to Risk: The Case of Cereal Sector in the North of Tunisia

This article tries to determine the effect of changes in the production of cereal's acreage decisions of farmers. An acreage supply response model is developed for durum wheat, soft wheat and barley for the North of Tunisia. The risk variable is incorporated in the model a long different specifications. The relative unexpected variability in yields in the preceding year, is shown to be a good approximation for the variable risk. The empirical results indicate that risk play an important role in wheat-barley acreage decisions and that soft wheat and barley are more responsive to change in risk than durum wheat. The analysis show also that risk reduction constitutes a priority for government to stimulate production and to reduce consequently imports of cereals production.

Introduction

Le risque qui relève de la production (climat) ou de la finance (variabilité du taux d'intérêt) est une caractéristique qui ne cesse d'avoir de l'importance dans la pratique d'une agriculture en développement surtout au niveau des conditions de production. Les sources de risque sont multiples. On distingue généralement quatre catégories: les risques financiers liés à l'augmentation des taux d'intérêt; les risques de commercialisation causés par la variabilité des prix de marché des produits et des intrants et finalement, les risques politico-économiques (9).

L'impact du risque sur les décisions prises par les agriculteurs en matière de production a été et fait encore l'objet de plusieurs investigations théoriques et empiriques (1,6). La théorie néoclassique de l'entreprise sous l'incertitude du prix fut développée en utilisant l'approche de l'espérance de l'utilité du profit. Les conditions de premier ordre du problème de maximisation de l'utilité du profit espéré permettent de dériver les fonctions de demande des intrants et la fonction offre. Les deux fonctions sont reliées aux prix des intrants, au prix attendu du produit et aux autres moments de la distribution de probabilité des prix du produit (variance, ...).

Généralement, le risque associé aux prix, aux rendements et aux revenus est introduit dans les études empiriques de deux façons:

- Une variabilité associée aux estimateurs des prix, des rendements et des revenus au cours des périodes les plus récentes¹;
- Une fonction de la différence entre le prix (rendement) espéré et celui qui est effectivement observé. C'est donc la variabilité non anticipée par l'agriculteur.

En Tunisie, la céréaliculture est dans son ensemble pluviale. La variabilité pluviométrique est donc une source de risque qui pourrait mettre en danger le développement du secteur céréalier. A la variable risque s'ajoutent d'autres facteurs pouvant affecter les décisions d'ensemencement des agriculteurs dont les prix des produits récoltés et des intrants agricoles. Pour ces derniers, le gouvernement a décidé en 1989 de supprimer graduellement les subventions qui leur étaient accordés. Une telle décision pourrait affecter le niveau de production.

De ces affirmations, on pourrait poser le problème que

¹ Cette mesure constitue une bonne approximation pour la variable risque uniquement dans le cas où l'essentiel de la variabilité des rendements est attribué à des éléments aléatoires dont la pluviométrie.

* Assistant de l'enseignement supérieur à l'École Supérieure d'Agriculture du Kef (Tunisie)

** Professeur agrégé; Université Laval, Québec (Canada)

Reçu le 04.09.96 et accepté pour publication le 24.02.98.

soulève le présent article comme suit: le risque de production est-il une variable déterminante dans les décisions d'ensemencement des céréales? Si oui, comment peut-on le réduire? Les autres facteurs précédemment mentionnés seront à discuter et à introduire dans une analyse de la production céréalière dans le Nord de la Tunisie. L'objectif de cet article serait donc une réponse à la question posée et une saisie du comportement des céréaliculteurs par l'estimation des fonctions d'ensemencement pour le blé dur, le blé tendre et l'orge, on présentera dans ce qui suit le modèle théorique permettant d'atteindre l'objectif de la recherche, les résultats empiriques et les implications des résultats au niveau de l'analyse.

L'approche méthodologique

Le modèle théorique

La théorie néo-classique de la firme suggère qu'en absence de toute contrainte physique ou politique l'agriculteur ayant à prendre des décisions en matière de production cherche à maximiser son profit. Pour des productions non jointes, la traduction mathématique de ce modèle de comportement se présente comme suit:

$$\text{Max } Z = \sum_{j=1}^m P_j Y_j(X_{ij}) - \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n W_i X_{ij} \quad (1)$$

où Z est le profit, Y_j et P_j sont respectivement le niveau de production et le prix du produit de la culture j , W_i est le prix de l'intrant i utilisé dans la production j , m et n sont respectivement le nombre de produits et d'intrants. Les conditions de premier ordre de la maximisation du profit sont:

$$\delta Z / \delta X_{ij} = p_j (\delta Y_j / \delta X_{ij}) - W_i = 0 \quad i = 1 \text{ à } n \text{ et } j = 1 \text{ à } m \quad (2)$$

L'équation (2) indique que la valeur de la productivité marginale de l'intrant i dans la production du bien j est égale au prix de l'intrant (W_i). En supposant que les productivités marginales de tous les intrants sont décroissantes (les conditions de second ordre sont satisfaites pour un problème de maximisation), il est possible de résoudre le système de $m \times n$ équations et de $m \times n$ inconnues. Les solutions donnent $m \times n$ fonctions de demandes des intrants (X_{ij}). En général, chacune de ces fonctions est reliée à tous les prix des intrants et des produits.

Le modèle ci-dessus est statique, ne tenant pas compte de la nature dynamique du processus de production. Les variables prix et le niveau de production sont supposées connues avec certitude, et le changement technologique n'est pas explicitement pris en considération. Ces hypothèses étant restrictives peuvent être relâchées, et prises en considération dans une analyse de la production céréalière.

Pour introduire le risque dans le modèle on peut supposer que les agriculteurs maximisent l'utilité du profit attendu reflétant ainsi le comportement des producteurs vis-à-vis du risque, ils demandent une prime et cette hypothèse peut être introduite dans l'analyse de la façon suivante.

Supposant une corrélation nulle entre le prix et le niveau de production et également aucune production jointe, l'équation (1) devient:

$$\text{Max } U(\Pi) = \sum E(P_j) * E(Y_j(X, T)) - \sum \sum W_i * X_{ij} - R(Y) \quad (3)$$

où U est l'utilité, Π est le profit attendu, $E(P_j)$ et $E(Y_i)$ sont respectivement les prix et les niveaux de production attendus, T est la technologie, et R est le coût du risque associé à la production j . Les conditions nécessaires à la maximisation de l'utilité du profit sont:

$$P_j \delta E(Y_j) / \delta X_{ij} - \delta R(Y) / \delta X_{ij} = 0 \quad (4)$$

L'équation (4) montre que la valeur attendue de la productivité marginale de chaque intrant est égale au prix de l'intrant plus une prime pour le risque. Dans ce cas, pour une fonction de production concave, le niveau d'intrant utilisé à l'optimum est moins élevé que le cas de certitude. Il en est de même pour le niveau de production.

La résolution du système d'équations (4) donne les $m \times n$ fonctions de demande des intrants:

$$X_{ij} = f(E(P_j), W_i, S_i, T) \quad (5)$$

où X_{ij} est la quantité de l'intrant i utilisée dans la production de l'output j , étant reliée à tous les prix attendus des produits $E(P_i)$, aux prix des inputs (W_i), aux impacts marginaux du coût du risque (S_i), et au changement technologique (T). L'incorporation des équations de demande des intrants dans la fonction de production donne les fonctions d'offre associées à chaque culture.

Afin d'analyser l'impact d'une variation des variables du côté de l'équation (5), il est possible d'estimer directement pour la culture j une fonction de demande de la terre. En effet, comme la production totale est le nombre d'hectare emblavé multiplié par le rendement moyen, il est possible d'estimer une fonction des superficies et une fonction de rendement qui est une fonction d'offre par hectare. L'élasticité prix de la production peut-être déterminée comme étant la somme des élasticités prix des rendements et des superficies.

Dans la majorité des études empiriques, l'élasticité de l'offre par rapport au prix est assimilée à l'élasticité-prix des ensemencements. Cette mesure peut-être une bonne approximation uniquement dans le cas où l'élasticité des rendements par rapport au prix du produit est nulle. Dans la présente étude, aussi bien des fonctions de rendement que des fonctions d'ensemencement seront estimées.

L'estimation des fonctions d'ensemencement nécessite des hypothèses quant aux formes fonctionnelles et aux variables à inclure dans l'estimation comme le risque, les rendements attendus et les prix attendus, seront abordés dans la section suivante.

Formes fonctionnelles

Les décisions d'ensemencement des agriculteurs sont affectées en partie par les prix relatifs anticipés puisqu'au moment du semis, les prix des produits ne sont pas connus. Les caractéristiques physico-chimiques du sol, la pluviométrie de la saison et l'irrigation sont parmi les facteurs agronomiques affectant les décisions d'ensemencement des producteurs. L'aversion au risque de la part des agriculteurs affectera également les niveaux des superficies ensemencées. Amamou (1) a montré que les céréaliculteurs dans le Nord de la Tunisie sont averses au risque pour l'adoption de nouvelles variétés à haut rendement.

La fonction de demande de la terre pour les ensemencements est dans la majorité des études empiriques estimées en utilisant le modèle d'ajustement partiel de Nerlove (8). Ce modèle permet de distinguer entre l'élasticité à court terme et celle à long terme. La distinction du court terme et du long terme se base en général sur l'effet dynamique des facteurs de production. A court terme, certains facteurs sont fixes et imputés sur plusieurs années de production alors qu'à long terme tous les intrants sont variables.

La demande de la terre (X_{jt}) pour la culture j , quantifiée par le nombre d'hectares emblavés peut être reliée aux prix réels attendus (P_j) du produit et des cultures alternatives, aux prix réels des intrants autres que la terre (W_i), aux variables pluviométriques (PLVC), à la technologie (T) et à une variable risque (S). En considérant l'hypothèse de Nerlove (8) selon laquelle des contraintes aussi bien technologiques qu'institutionnelles affectent l'ajustement des ensemencements à leur niveau optimal durant une période donnée, la variable endogène retardée (X_{t-1}) est incluse dans l'équation à estimer qui se présente comme suit:

$$X_{jt} = f(P_j, W_i, X_{t-1}, PLVC, S, T) \quad (6)$$

L'hypothèse de Nerlove selon laquelle le taux d'ajustement dépend de la différence entre le niveau actuel de plantations et celui désiré est représentée de la façon suivante:

$$X_t - X_{t-1} = \mu(X^* - X_{t-1}) \quad (7)$$

où X_t est l'ensemencement observé, X^* est l'ensemencement optimal et μ est le coefficient d'ajustement. Si on prend à titre d'exemple la fonction de demande de la terre à long terme du type Cobb-Douglas, $X^* = A \sum Z_i^{\beta_i} e^{\nu t}$, et l'équation d'ajustement des ensemencements est de la forme: $(X_t/X_{t-1}) = X^*/X_{t-1} \mu$, la fonction de demande des plantations est la suivante:

$$X_{jt} = A^\mu X_{t-1}^{(1-\mu)} \sum Z_i^{\beta_i \mu} e^{\mu \nu t} \quad (8)$$

La transformation logarithmique de l'équation (8) donne la relation suivante:

$$\ln X_{jt} = \mu \ln A + \mu \sum \beta_i \ln Z_i + (1-\mu) \ln X_{t-1} + \mu \nu t \quad (9)$$

où β_i est l'élasticité à long terme, $\mu \beta_i$ est l'élasticité à court terme et μ est le coefficient d'ajustement que l'on

obtient à partir du paramètre estimé $(1-\mu)$. De la même façon, on peut dériver l'équation de demande de la terre lorsque l'équation d'ajustement est du type linéaire (équation 7) et la fonction de demande à long terme des ensemencements est de la forme semi-exponentielle: $e^{X^*} = A \sum Z_i^{\beta_i} e^{\nu t}$. La fonction de la demande transformée se présente ainsi:

$$X_{jt} = \mu \ln A + \mu \sum \beta_i \ln Z_i + (1-\mu) X_{t-1} + \mu \nu t \quad (10)$$

La dérivée première de l'équation (10) par rapport à Z_i donne l'impact marginal de la variable i sur les superficies emblavées de la culture j et il est donné par la relation suivante:

$\partial X_{jt} / \partial Z_i = \mu B / Z_i$. Théoriquement, une augmentation du prix réel du produit j aura un impact marginal positif sur la demande de la terre pour la culture j . Donc on s'attend a priori à ce que le coefficient estimé (μB_j) soit positif. Toutefois, selon l'équation (10), l'impact marginal de ce prix est positif décroissant², c'est-à-dire que des augmentations successives du prix du produit j font croître les superficies ensemencées pour la culture j d'une manière décroissante.

La forme fonctionnelle suivante a été également utilisée pour estimer la fonction d'ensemencement et elle est donnée par la relation suivante:

$$X_{jt}^* = a B_j^{\lambda_j} \prod W_i^{\beta_i} P_j^{\phi_j} e^{(00 + 01 T + 02 S_j + 03 PLVC)} \quad (11)$$

où B_j est la variable reflétant la contrainte budgétaire et elle est incorporée dans cette étude par une mesure du revenu brut à l'hectare retardée d'une année.

Concernant la variable risque, la variance et l'écart-type des rendements durant les années les plus récentes ont été utilisés comme premières approximations du risque. Différentes longueurs de retards ont été également essayées. Afin de quantifier les écarts de variation des rendements, le coefficient de variation permettant de neutraliser les effets tendanciels des rendements est également utilisé comme mesure de risque.

Comme mesure alternative du risque, la variabilité relative attendu des rendements retardés d'une année a été utilisée. Cette mesure se présente comme suit:

$$S_j = (Y_{t-1} - Y_{et-1}) / Y_{et-1} \quad (12)$$

où S_j est le risque associé à la production j , Y_{t-1} est le rendement observé au temps $t-1$ et Y_{et} est le rendement attendu au temps $t-1$. Le rendement attendu au temps t est donné par la valeur au temps t de l'équation estimée suivante: $Y_{ejt} = K^* e^{-\beta_1 PLVC} * PLVC^{\beta_2} \beta_1 > 0, \beta_2 < 0$; où K est un terme qui englobe les effets des autres variables. Il s'agit, en effet, de remplacer dans l'équation des rendements de la culture j :

$Y_{jt} = K^* e^{-\beta_1 PLVC} * PLVC^{\beta_2}$. La valeur de la pluviométrie anticipée (PLVCE) est exprimée par l'équation suivante:

$PLVCE = \phi_1 + \phi_2 PLVC_{t-1} + \phi_3 TEND$; où ϕ_1, ϕ_2, ϕ_3 sont les paramètres à estimer.

² La dérivée seconde de l'équation 10 par rapport au prix réel espéré du produit j est: $\partial^2 X_{jt} / \partial P_j^2 = -\mu B / P_j^2$. Si B est positif (conditions de premier ordre), l'impact marginal du prix sur les superficies ensemencées est décroissant.

Les prix réels espérés des produits sont définis par les prix retardés d'une année et ajustés à l'indice des Prix des Moyens de Production (IPMP). Les prix réels (prix observé dégonflé par l'IPMP) de la viande bovine (PRVB) et de la viande ovine (PRVOV) sont incorporés dans l'estimation afin de permettre une substitution où une complémentarité possible avec les cultures céréalières. Dans la section suivante, on présentera les résultats empiriques et les implications au niveau des conclusions.

Les résultats empiriques et les implications des résultats

Le modèle d'ajustement partiel de Nerlove (8) est souvent utilisé dans l'estimation des fonctions d'ensemencement des denrées agricoles. Les hypothèses des anticipations adaptatives en matière de prix et d'ajustement partiel des ensemencements à leur niveau optimal lorsque des facteurs aussi bien technologiques qu'institutionnels varient, constituent les principales caractéristiques du modèle nerlovien. Ce dernier a été conçu dans une optique dynamique permettant de distinguer entre les élasticités à court et à long terme. La méthode des moindres carrés ordinaires a été utilisée pour estimer les fonctions d'ensemencement des trois principales cultures céréalières dans le Nord de la Tunisie. Deux séries de données sont utilisées, de 1960 à 1988 où les prix des intrants et des produits alternatifs sont ajustés au prix du produit, et de 1970 à 1988 où tous les variables prix sont dégonflés par l'IPMP. Seuls les résultats estimés de la période 1970 à 1988 sont reportés dans cette étude.

1. Présentation et interprétation des résultats

Les principaux résultats sont reportés dans les tableaux 1, 2 et 3 de l'annexe respectivement pour les ensemencements en blé dur, en blé tendre et en orge.

Pour les ensemencements en blé dur (XEBD), on constate que:

- Le coefficient associé au prix réel du blé dur (PRFBD) est de signe positif et il est statistiquement significatif au seuil 1%. La valeur de ce coefficient, qui est une mesure d'élasticité est de 0,54. Le paramètre relié au prix réel attendu de l'orge (PREOR) est de signe négatif et il est statistiquement significatif au seuil 1%. Ce résultat indique que, pour l'utilisation de la terre, l'orge est une culture compétitive pour le blé dur.

- Le coefficient associé à la variable endogène retardée (XEBDR), est non significatif, ce qui signifie que le coefficient d'ajustement n'est pas différent de l'unité. Ce résultat indique que, pour une variation des variables explicatives, les producteurs ajustent de façon optimale leurs superficies ensemencées au cours de la même année.

- Le risque de production (RKPBD) est une variable qui affecte de façon significative les ensemencements en blé dur. En effet, le coefficient associé au ratio du risque du blé dur et du blé tendre (RKPBD/RKPBT) est de signe négatif et significatif au seuil 5%. Pour une valeur moyenne de ce ratio risque, cette élasticité est de -0,017 pour le risque associé aux rendements du blé

dur³. Ce résultat signifie également, que vis-à-vis la variable risque, le blé tendre est une culture alternative pour le blé dur.

- La pluviométrie attendue est une variable significative dans l'explication des niveaux des ensemencements en blé dur. Le coefficient associé à cette variable est de signe positif et il est significatif au seuil 1%. L'élasticité des ensemencements par rapport à cette variable est de 0,563.

Pour les ensemencements en blé tendre (XEBT), on constate que:

- Le risque de production (RKPBT) affecte de façon négative et significative la variation des superficies ensemencées en blé tendre.

- le coefficient associé à la variable endogène retardée (XEBTR) est statistiquement significatif au seuil de 1%, ce qui signifie que les agriculteurs ne parviennent pas à ajuster de façon optimale leurs superficies ensemencées au cours d'une année.

- La pluviométrie attendue (PLYCE) est une variable qui affecte de façon négative et significative les superficies ensemencées en blé tendre. Cet impact négatif pourrait expliquer par le fait que, pour des années où les précipitations espérées sont élevées, l'agriculteur affectera plus de terre aux ensemencements en blé dur qu'à ceux en blé tendre.

- Les prix réels espérés du blé dur (PREBD) et du blé tendre (PREBT) sont non significatifs dans l'explication de la variation des ensemencements en blé tendre. Il en est de même pour la variable reflétant le changement technologique (TEND) et le prix réel de la viande ovine (PRVOV).

Pour les ensemencements en orge (XEOR), on constate que:

- Le coefficient relié à la variable endogène retardée d'une année (XEORR) est significatif au seuil 1%, ce qui implique que l'ajustement des superficies ensemencées à leur niveau optimal se fait de façon partielle en une année. L'élasticité d'ajustement est de 0,473.

- Le coefficient associé au prix réel de la viande ovine (PRVOV) est de signe positif et statistiquement significatif au seuil 1%. Ce résultat signifie que vis-à-vis le prix réel espéré de l'orge (PREOR), production ovine est une activité complémentaire pour l'orge.

- Le coefficient associé à la variable risque (RKPOR) est de signe négatif et statistiquement significatif au seuil 1%. Pour une valeur moyenne du risque l'élasticité est de -0,381, ce qui signifie qu'une diminution de 1% dans le niveau moyen du risque entraîne une augmentation relative des niveaux des ensemencements en orge de 0,381%.

³ Il est à mentionner que, par l'incorporation des variables risque en ratio, on force les élasticités des ensemencements relatives à ces deux variables à être égales en valeur absolue.

- Contrairement à la variable risque, le prix réel attendu de l'orge s'est avéré non significatif dans l'explication de la variation des ensemencements en orge. Même si l'on incorpore le prix réel espéré du blé tendre (PREBT) et la variable risque en terme relatif avec celle du blé dur (RKROR/RKRBD), l'impact du prix de l'orge sur la variation des superficies ensemencées demeure non significatif. Le coefficient relié au prix réel attendu du blé tendre est de signe négatif et il est significatif au seuil 10% (équation 2, tableau 3 de l'annexe). Ce résultat suggère une compétitivité entre les deux cultures pour l'utilisation de la terre.

- Le changement de la technologie (TEND) affecte de façon significative les ensemencements en orge (équation 1, tableau 3 de l'annexe).

2. Impact des élasticité et implications des résultats

L'estimation des fonctions d'ensemencement pour les trois cultures céréalières révèle la signification de certaines variables dans l'explication du comportement des producteurs. Les prix, le risque associé aux rendements et, de façon moindre la pluviométrie sont les variables auxquelles l'agriculteur s'est montré le plus sensible pour sa prise de décision. Cette sensibilité n'a pas été la même à court et à long terme, surtout pour le blé tendre et l'orge ou l'ajustement des superficies à leur niveau optimal se fait de façon partielle en une année.

Relativement aux variables prix et risque et pour chaque culture, des élasticité à court et à long terme ont été calculées et reportées dans le tableau 1. Les élasticité à long terme ont été obtenues en divisant les coefficients élasticité à court terme par le coefficient d'ajustement. Pour le blé dur et le blé tendre, l'élasticité des ensemencements par rapport au prix réel attendu (E_{prix}) est supérieure à celle relative au risque de production (E_{risque}). Ce constat n'est concluant que pour le blé dur où les deux variables prix et risque ont été significatives dans l'affectation des ensemencements. Pour le blé tendre et l'orge, la comparaison entre les élasticité prix et risque n'est

Tableau 1
Elasticité à court et à long terme des ensemencements en blé dur, en blé tendre et en orge par rapport aux prix réels espérés et au risque de production.

	C.A ^a	E _{prix} ^b		E _{risque} ^c	
		ECT	ELT	ECT	ELT
Blé dur	0,844	0,5625	0,6665	-0,017 -0,032	-0,020 -0,038
Blé tendre	0,097	0,3063	3,158	-0,178 -0,130	-1,835 -1,34
Orge	0,528			-0,381 -0,256	-0,7216 -0,485
	0,467	0,1338	0,2866		

a. C. A Coefficient d'ajustement

b. E: Elasticité ECT, ELT: élasticité à court terme et à long terme.

c. Pour chaque culture, la première ligne est une moyenne des élasticité calculées pour chaque année.

Source: Coefficient calculés à partir des résultats des équations 1, 2 appartenant respectivement aux tableaux 4, 5 et 6 de l'annexe.

Tableau 2
Variation dans les ensemencements pour différents niveaux de risque

Δ Risque	-10%	-50%	-100%
Δ XEBD (ha)			
C.T	804,1	4020,5	8041,0
L.T	953,0	4764,0	9527,0
Δ XEBT (ha)			
C.T	3559,0	17794,0	35588,0
L.T	36691,0	183444,0	366887,0
Δ XEOR (ha)			
C.T	12852,0	64260,0	128520,0
L.T	24341,0	121705,0	243410,0

Notes

Δ: Variation XEBD est l'ensemencement en blé dur; XEBT est l'ensemencement en blé tendre; XEOR est l'ensemencement en orge. C.T: court terme et L.T: long terme.

cependant pas possible étant donné la non signification (les prix dans l'explication de la variation des ensemencements).

Si l'on prend pour chaque culture une valeur moyenne des ensemencements attendus en 1986, 1987 et 1988 ainsi qu'une valeur moyenne de l'élasticité-risque durant ces mêmes années et qu'on maintient les autres variables à leur niveau de 1988, on constate qu'une diminution du risque de 10% aura pour effet d'augmenter à court terme les ensemencements de 473.000 ha à 473.804 ha, de 124.000 ha à 127.558,8 ha et de 237.638 ha à 250.470,45 ha respectivement pour le blé dur, le blé tendre et l'orge (tableau 2).

Si l'on diminue le niveau du risque de 50%, les superficies ensemencées augmenteront relativement de 473.000 ha à 477.020,5 ha, de 124.000 ha à 141.000 ha et de 238.000 ha à 302.260 ha respectivement pour le blé dur, le blé tendre et l'orge. Si on suppose le cas limite où le risque est complètement éliminé (diminution de 100%), l'impact est beaucoup plus élevé comme le montre les résultats reportés dans le tableau 2. Pour ces différents niveaux de risque ont été calculés les effets à long terme sur les niveaux des ensemencements de ces trois cultures et les résultats figureront également dans le tableau 2. Lorsque le risque diminue de 50%, les superficies ensemencées augmenteront de 4764 ha, de 183.444 ha et de 121.405 ha respectivement pour le blé dur, le blé tendre et l'orge.

En supposant également que les rendements à court terme demeurent à leur niveau de 1988 et qu'à long terme ils augmenteront à un taux annuel moyen de 10%/an, il est possible d'examiner l'impact de différents niveaux de diminution du risque sur la production totale en blé dur, en blé tendre et en orge et les implications possibles qui en découlent en matière de coût que l'on peut évaluer par rapport à la valeur des importations substituées.

Le tableau 3 présente l'augmentation relative dans le niveau de production de chaque culture. Elle est plus élevée pour le blé tendre et l'orge que pour le blé dur. Si la fixation d'un rendement minimum garanti permettrait une diminution d'au moins 50% du risque as-

Tableau 3
Variation dans les niveaux de production pour différents niveaux de risque

Δ Risque	-10%	-50%	-100%
Δ PTBD (tonne)			
C.T	579,00	2894,80	5789,50
L.T	762,25	3811,11	6859,63
Δ PTBT (tonne)			
C.T	3131,92	15658,72	31317,44
L.T	35590,30	177940,70	355880,40
Δ PTOR (tonne)			
C.T	8096,80	40483,80	80967,60
L.T	17038,70	85193,50	170387,00

Notes:

Δ: Variation; PTBD: est la production totale en blé dur, PTBT: est la production totale en blé tendre, PTOR: est la production totale en orge. C.T: court terme et L.T: long terme.

socié aux rendements, l'augmentation de la production devient sensiblement importante et on pourrait donc envisager l'instauration d'un programme d'assurance-récolte dont il est possible d'évaluer l'opportunité de sa mise en œuvre.

Il est à noter que l'élasticité-risque des superficies ensemencées en blé dur est, malgré sa signification statistique, relativement faible (-0,02 à long terme), et conséquemment la fixation d'un rendement minimum garanti peut ne pas être efficace relativement à une politique qui ferait intervenir les prix.

En effet, une augmentation de 1% du prix réel espéré du blé dur entraîne une augmentation supérieure dans les niveaux des ensemencements qu'une diminution de 1% dans le niveau de la variable risque. L'instauration d'un prix de soutien qui augmenterait pour des années de sécheresse est donc une autre alternative à envisager (la perte des rendements sera compensée par une augmentation équivalente du prix).

Conclusion

L'offre céréalière a fait l'objet de plusieurs études dont le but était de sensibiliser les preneurs de décision sur les facteurs pour lesquels les efforts doivent être mobilisés. De ces facteurs, les prix du produit et des produits alternatifs ainsi que les prix des intrants agricoles sont le plus souvent considérés dans l'explication du comportement des agriculteurs pratiquant des cultures annuelles.

Dans ces études, le risque est rarement pris en considération. Dans la présente étude, le risque de production a été intégré par une mesure de la variabilité non anticipée des rendements retardés d'une année. En utilisant cette approximation, les résultats ont montré que le risque de production est une variable significative dans l'explication de la variation des ensemencements en blé dur, en blé tendre et en orge.

L'impact des élasticités à court et à long a montré la possibilité de l'implantation d'un programme d'assurance-récolte, essentiellement pour l'orge le blé tendre. Cette possibilité a été évaluée par rapport à l'accroissement des superficies ensemencées et des niveaux de production. Un tel programme, certes, pas facile à concevoir, mettre en application nécessite une étude plus approfondie.

Bien sûr les résultats de cet étude doivent être interprétés avec prudence entre autre pour l'hypothèse que tous les céréaliculteurs ont même coefficient d'aversion au risque est une hypothèse trop restrictive et pourrait affecter les résultats estimés et les implications qui en découlent.

En effet, certains agriculteurs diversifient leurs cultures, alors que d'autres se spécialisent dans la production céréalière. Procéder par échantillonnage permettra de tenir compte de l'effet de diversification.

Une autre difficulté est le manque de données et l'inexistence pour des années particulières des informations associées à l'évolution de certaines variables.

Tableau 4
Résultats de l'estimation de la fonction d'ensemencement en blé dur - 1970 à 1988

Variable expliquée LnXEBD	1	2
Equations		
Origine	1,564	1,552
LnXEBCD	0,1561 (0,77)	0,1515 (0,73)
LnPREBD	0,5365*** (3,33)	0,5575*** (3,25)
LnPREOR	-0,4220*** (-2,78)	-0,4204*** (-2,69)
LnPRVOV		0,0388 (0,51)
LnPLVCE	0,5625*** (2,93)	0,5575*** (2,82)
RKPBD/RKPBT	-0,0107** (-2,25)	-0,0099** (-1,94)
R ²	0,727	0,733
R ² ajusté	0,622	0,599
F calculée	6,92	5,48
F théorique	4,86	4,82
D. Watson	1,54	1,52
Statistique h	2,14	2,13

a. Les données entre parenthèses représentent les valeurs de la t de Student.

b. ***, **, *: le coefficient est significatif aux seuils 1%, 5% et 10% respectivement. Tests unilatéraux.

Tableau 5
Résultats de l'estimation de la fonction d'ensemencement en blé tendre - 1970 à 1988

Variable expliquée: LnXEED	Equations	
	1	2
Origine	-146,227	177,150
LnXEBTR	0,9027*** (4,01)	0,8169*** (4,58)
LnPREBT	0,3036 (0,66)	0,0898 (0,18)
LnPREBD		-0,3481 (-0,63)
LnPRVOV	-0,3120 (-0,83)	-0,3413 (-1,10)
PLVCE	-0,00217 (-0,86)	
LnPLVCER		2,9121*** (-3,02)
RKPBT	0,5128* (-1,41)	0,5836** (-1,99)
LnTEND	19,4730 (0,60)	-20,7848 (-0,70)
R ²	0,701	0,83
R ² ajusté	0,552	0,725
F calculée	4,69	7,78
D. Watson	1,74	1,75
Statistique h	2,94	0,87

a. Les données entre parenthèses représentent les valeurs de la t de Student.

b. ***, **, *: le coefficient est significatif aux seuils 1%, 5% et 10% respectivement. Tests unilatéraux.

Tableau 6
Résultats de l'estimation de la fonction des ensemencements en orge - 1970 à 1988

Variable expliquée: LnXEED	Equations:	
	1	2
Origine	-32,713	-31,847
LnXEORR	0,4725** (2,57)	0,5353 (1,68)
LnPREOR	-0,0454 (-0,10)	0,1338 (0,47)
LnPREBD	-0,3229 (-0,57)	
LnPREBT		0,5131* (-1,61)
LnPRVOV	0,4466*** (2,37)	0,0758 (0,37)
LnPLVCE	-0,3335 (-0,58)	0,0978 (0,16)
PKROR	0,8121*** (-3,83)	
RKPOR/RKPBD		0,0005 (0,11)
TEND	0,0190** (1,75)	0,0172 (1,27)
R ²	0,91	0,83
R ² ajusté	0,85	0,72
F calculée	15,92	7,69
D. Watson	1,39	1,85
Statistique h	2,22	Nd ^c

a. Les données entre parenthèses représentent les valeurs de la t de Student.

b. ***, **, *: le coefficient est significatif aux seuils 1%, 5% et 10% respectivement. Tests unilatéraux.

c. ND signifie que la statistique h est non défini.

Références bibliographiques

- Amamou, H., 1993. Imperfect Knowledge Risk and Efficiency Wheat Production in North Tunisia. Thèse de Doctorat, PH.D, University of Minnesota, U.S.A.
- Baron, D., 1970. "Price Uncertainty, Utility and Industry Equilibrium in Pure Competition", *International Economic Review*, **11**: 443-480.
- Batra R.M. & A. Ullah, 1974. "Competitive Firms and the Theory of Input Demand Under Price Uncertainty", *Journal of Political Economy*, **82**: 537-548.
- Ben Senia, M., 1981. Supply Response of Cereals in Tunisia. Thèse de Doctorat, PH.D, Iowa State University. USA.
- Brennan, J.P., 1982. "The Representation of Risk in Econometric Models of Supply: Some Observations", *Australian Journal of Agricultural Economics*, **26**: 151-156.
- Chavas, J.P. & Holt, H.M., 1990. "Acreage Decisions Under Risk: The Case of Corn and Soybeans" *American Journal of Agricultural Economics*, Août, 1990: 529-538.
- Just, R.E., 1974. "An Investigation of the Importance of Risk in Farmers Decisions". *American Journal of Agricultural Economics*, **56** (1) 14-25.
- Nerlove, M., 1956. "Estimates of the Elasticities of Supply of Selected Agricultural Commodities", *Journal of Farm Economics (JFAE)*, **38**: 496-509.
- Romain, R.F., 1988. Agricultural Output Response in Tunisia: The Case of Vegetables Crops. Rapport de recherche soumis à ABT Associates. Tunis, Tunisie.
- Traill, W.B., 1978. "Risk Variables in Econometric Supply Response Models", *Journal of Agricultural Economics* **39** (1): 53-61.

D. Mehouchi : Tunisien. Assistant à l'ESA Kef, Titulaire d'un M.Sc. de l'Université de Laval.

R. Romain : Canadien. Professeur en Economie agricole, Département d'économie rurale, Université de Laval, G1K7P4 Sainte-Foy, Québec, Canada. Titulaire d'un PH.D.

Etude des caractéristiques physico-chimiques de certains plats traditionnels dérivés du manioc (*foutou*, *placali* et *kokondé*)

Virginie Zoumenou*, F. Aboua.**, D. Gnakri* & A. Kamenan*

Keywords: Cassava (*Manihot esculenta* CRANTZ) - Food preparation - Cyanhydric acid - Chemical composition - Viscosity.

Resumé

Le *foutou*, le *placali* et le *kokondé* sont des aliments à base de manioc (*Manihot esculenta* CRANTZ) largement consommés en Côte-d'Ivoire. Le manioc qui contient des glucosides cyanogénétiques subit plusieurs traitements technologiques (le broyage, le séchage, la cuisson et la fermentation) lors de la préparation de ces divers aliments. Les traitements technologiques (broyage, séchage, cuisson et fermentation) entraînent quelques modifications de la composition chimique, particulièrement une baisse remarquable de la teneur en acide cyanhydrique. Cette teneur passe de 9mg/100g à une valeur comprise entre 3 et 0,4mg/100g. La fermentation augmente la teneur relative en protéine. Le manioc est très riche en amidon (90%). Après traitement des racines tubéreuses ces aliments contiennent encore environ 65% d'amidon. Ces aliments contiennent non seulement de la matière organique mais aussi des éléments minéraux tels que le calcium, le phosphore et le potassium à des teneurs variables. Les trois préparations n'ont pas la même viscosité selon la variété de manioc utilisée. La détermination de la viscosité a donc permis le choix de la variété pour chaque préparation.

Summary

Physical-Chemical Characteristics of some Cassava Traditional Meals (*foutou*, *placali* and *kokonde*)

Foutou, *placali* and *kokonde* are cassava foods widely consumed in Ivory Coast. During foods processing many technological treatments (grinding, drying and cooking) affect the cyanogenetic glucosides content and the chemical composition of cassava tubers. These treatments reduced cyanogenetic material from 9mg/100g to 3 or 0,4mg/100g. The fermentation process increases the protein value. Cassava tubers are rich in starch and after processing it varied from 90% to 65%. They contain various minerals calcium, phosphorus and potassium and organic compounds. The three foods (*Foutou*, *Placali* and *Kokonde*) have not the same viscosity according to the cassava variety used in this processing. The viscosity determination therefore allowed to choose the cassava variety for each preparation.

Introduction

Les aliments à base de manioc sont consommés sous diverses formes. Les formes les plus répandues en Côte-d'Ivoire sont l'*attiéké*, le *placali*, le *foutou*, le *kokondé* et le *gari*. Plusieurs travaux de recherches ont été effectués sur le *gari* (9, 10, 17, 18, 21). Quelques travaux ont été réalisés sur l'*attiéké* (2, 4, 5, 15). Peu de recherches existent sur les autres préparations précitées (3, 6). Ailleurs en Afrique, des travaux ont été effectués sur des aliments dérivés du manioc tel que le *bâton de manioc*, le *chikwangué* (15, 16); le *foufou* au Ghana et au Nigéria (25). Par ailleurs le manioc renferme des glucosides cyanogéniques qui absorbés à une certaine dose sont à long terme potentiellement toxique (22). Ces différents auteurs précités se sont intéressés aux diagrammes de fabrication des aliments traditionnels et à la détermination de leur valeur alimentaire.

Certains se sont intéressés à l'influence de quelques étapes de fabrication sur l'élimination de l'acide cyanhydrique.

Les aliments traditionnels ivoiriens (*foutou*, *placali* et *kokondé*) sont des pâtes de consistance différente et devraient donc présenter des propriétés physiques différentes.

Le travail a plusieurs objectifs. Les méthodes de préparation de ces plats traditionnels (le *foutou*, le *placali* et le *kokondé*) seront décrites. Ensuite l'influence des traitements technologiques sur les caractéristiques physico-chimiques des racines tubéreuses de manioc lors de la préparation de ces aliments sera étudiée. Ceci permettra de déterminer la valeur alimentaire de ces aliments comme cela a été fait par les auteurs précités sur d'autres aliments à base de manioc. Enfin l'influence de certaines étapes de fabrication (fermenta-

*: Université d'Abobo- Adjame (UAA) 02 BP 801 Abidjan 02 Côte d'Ivoire

** : Centre Ivoirien de Recherches Technologiques (CIRT) 08 BP 881 Abidjan 08 Côte d'Ivoire

tion, séchage et cuisson à l'eau) sur le comportement thermodynamique et hydrodynamique des grains d'amidon contenus dans ces aliments sera étudiée.

Matériel et méthodes

1. Matériel et modes de préparation

Trois variétés de manioc (Bonoua, Ouanga, Akaman) ont été utilisées. Les racines tubéreuses étaient âgées de 9 à 12 mois.

Toutes les préparations et toutes les analyses ont connu trois répétitions

Modes de préparation

Le *foutou traditionnel* est obtenu à partir de la pulpe fraîche cuite à l'eau, puis pilée au mortier de bois.

Le *placali traditionnel* est préparé à partir de la pâte fermentée. Cette pâte est délayée dans l'eau froide puis mise à cuire. Tout en tournant à l'aide d'une spatule en bois, on obtient une pâte souple qui est consommée accompagnée de sauce. La pâte fermentée est obtenue à partir de morceaux de manioc frais. A ces morceaux on ajoute du ferment ou "*magnan*" (8%, p/p) puis on procède au broyage. Ensuite on laisse fermenter pendant un ou trois jours dans des cuvettes fermées hermétiquement. Le broyat fermenté est ensuite pressé et constitue la pâte fermentée.

Notons que le ferment ou "*magnan*" est du manioc, bouilli ou braisé, laissé fermenté dans des sacs de jute pendant deux ou trois jours.

Le *kokondé* est de la farine de cossettes délayée dans de l'eau bouillante. Il faut tourner à l'aide d'une spatule jusqu'à l'obtention d'une pâte. Les cossettes sont des morceaux de tubercules frais séchés au soleil. Le séchage au soleil se fait pendant trois ou quatre jours. Il s'agit de la pratique traditionnelle. Les cossettes ont une épaisseur de 1,5 à 2cm.

Les diverses phases de préparation sont résumées sur le diagramme de fabrication (figure 1). Ce diagramme permet de constater que les tubercules ont subi divers traitements technologiques (épluchage, broyage, cuisson à l'eau, fermentation, séchage, pilage etc) selon le type d'aliment considéré. Il montre aussi que le *placali* traditionnel provient du manioc fermenté, le *foutou* du manioc cru et enfin le *kokondé* du manioc séché.

2. Méthodes d'analyses

La teneur en eau a été obtenue par séchage à l'étuve à 100°C jusqu'à poids constant. La matière sèche a été pesée à poids constant. La teneur en amidon total a été déterminée par la méthode polarimétrique dont le principe est décrit par Ewers (13). La méthode de Van Soest (27) a permis de déterminer la teneur en cellulose brute. La technique de Kjeldahl a été utilisée pour doser la matière azotée totale. Les lipides totaux ont été extraits à partir de la matière sèche par l'éther diéthylique selon la méthode de Soxhlet. Le dosage des cendres est effectué après calcination à 550°C et refroidissement. Le dosage des éléments minéraux a été fait par la méthode de BIPEA (7). L'acidité directement titrable de l'échantillon a été mesurée avec une solution de soude 0,1N après extraction à l'eau chaude. Le dosage de l'acide cyanhydrique a été fait selon la méthode de la FAO (14).

Etude de la viscosité

Elle a été réalisée sur les farines entières de *foutou*, *placali* et *kokondé*. L'appareil utilisé est le viscoamylographe Brabender OHG DUISBURG, model 8025. L'échelle de sensibilité utilisée est de 250 Cmg. Chaque préparation introduite dans le viscoamylographe contient 6 % de matière sèche du produit à tester pour un poids total de 485 g. La vitesse de rotation de la tête de mesure est de 75 tours/min. La température a connu une variation de 30 à 95°C. Elle a été maintenue constante pendant 15 min à 95°C avant d'être rabaisée à 50°C. La vitesse de chauffage est de 1,5°C /min.

Résultats

1. Influence des traitements technologiques sur la composition chimique

Le séchage a une influence sur la teneur en eau et sur la teneur en acide cyanhydrique alors que le broyage n'influence que la teneur en acide cyanhydrique. Seules la cuisson et la fermentation entraînent des modifications au niveau de tous les constituants.

Après séchage la teneur en eau de la farine de cossettes est de l'ordre de 9 à 10%.

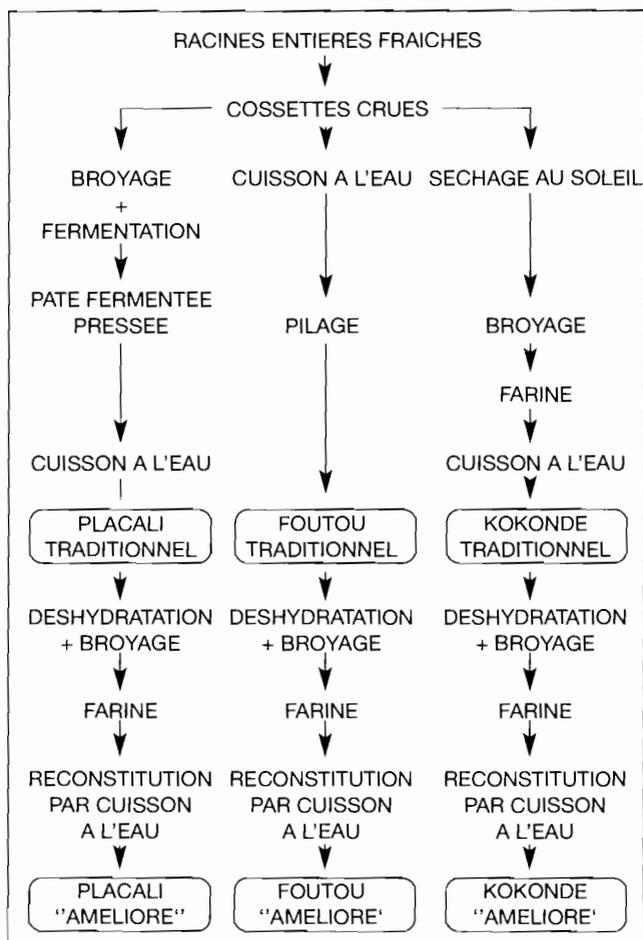


Figure 1. Diagramme de fabrication des différents plats : Foutou, Placali et Kokondé

Tableau I
Evolution de la composition chimique en fonction du traitement du cultivar Bonoua

Traitement	Frais	Broyage	Cuisson	Séchage au soleil	Fermentation 3jours
eau (%MS)	69,8 ± 1,99	69,5 ± 1,83	70,1 ± 1,80	10,8 ± 1,31	54,4 ± 1,44
amidon (%MS)	83,1 ± 1,80	82,9 ± 1,83	81,9 ± 1,85	83,1 ± 1,9	79,0 ± 1,67
cellulose (%MS)	1,7 ± 0,13	1,7 ± 0,16	0,9 ± 0,06	1,7 ± 0,16	1,4 ± 0,14
azote total (%MS)	3,9 ± 0,26	3,9 ± 0,24	2,3 ± 0,22	3,9 ± 0,20	4,5 ± 0,40
matière grasse (%MS)	0,4 ± 0,03	0,4 ± 0,02	0	0,4 ± 0,02	0
cendres (%MS)	2,1 ± 0,10	2,1 ± 0,10	1,7 ± 0,07	2,1 ± 0,09	1,3 ± 0,06
pH	5,9 ± 0,26	5,9 ± 0,17	-	-	4 ± 0,17
HCN (mg/100g)	9,0 ± 0,03	8,6 ± 0,03	3,6 ± 0,06	2,4 ± 0,02	3,0 ± 0,03
calcium (%MS)	0,03 ± 0,01	0,03 ± 0,01	0,03 ± 0,01	0,03 ± 0,01	0,02 ± 0,01
phosphore (%MS)	0,14 ± 0,03	0,14 ± 0,02	0,11 ± 0,02	0,14 ± 0,03	0,07 ± 0,01
Ca/P	0,21 ± 0,03	0,21 ± 0,03	0,27 ± 0,01	0,21 ± 0,03	0,28 ± 0,01
potassium (%MS)	0,5 ± 0,03	0,5 ± 0,03	0,35 ± 0,01	0,5 ± 0,03	0,26 ± 0,03

La cuisson à l'eau entraîne une perte de 2% d'amidon, 0,3% de cellulose brute, 1% de protéines et une perte totale de la matière grasse. La teneur en cendre diminue de 19%. Alors que la teneur en calcium demeure constante (tableau I), une perte de 21% est constatée pour le phosphore et de 30% pour le potassium. La teneur en amidon, cellulose brute et protéines devient respectivement, après trois jours de fermentation, 79%, 1,4% et 4,6%. L'augmentation de la teneur en protéines est en moyenne de 15%. A la fin de cette période de fermentation la matière grasse n'est plus dosable. La teneur en cendres n'est plus que de 1,3% dont 0,02% de calcium, 0,07% de phosphore et 0,26% de potassium, soit une perte respective de 38%, 50%, 33% et 50%. Au cours de la fermentation l'acidité augmente et le pH est compris entre 5,9 et 4 (tableau II).

2. Evolution de la teneur en acide cyanhydrique (HCN)

Le tableau III reprend l'évolution de la teneur en acide

Tableau II
Evolution de l'acidité et du pH en fonction du temps de fermentation

Variété	Temps de fermentation	Acidité (meq/100g)	pH
BONOUA	0 hf	1,5 ± 0,05	5,9 ± 0,01
	24 hf	4,6 ± 0,02	4,3 ± 0,02
	48 hf	5,2 ± 0,02	4,2 ± 0,03
	72 hf	6 ± 0,07	4 ± 0,02

hf: heures de fermentation

Tableau III
Evolution de la teneur en acide cyanhydrique (HCN) en fonction du traitement

Traitement	HCN (mg/100g)	Perte (%)
Frais	9,0 ± 0,03	-
Cuisson à l'eau	3,6 ± 0,06	60
Séchage au soleil	2,4 ± 0,02	74
fermentation 24h	4,9 ± 0,08	45
Fermentation 48h	3,1 ± 0,04	65
Fermentation 72h	3,0 ± 0,03	66
<i>placali</i> cuit	0,9 ± 0,03	90
<i>kokondé</i> cuit	0,6 ± 0,02	94
<i>foutou</i> traditionnel	2,8 ± 0,02	64

en HCN selon les traitements appliqués.

Le broyage provoque une diminution du taux de HCN de 5%. Avec la cuisson à l'eau on observe une perte de 60%. La fermentation induit également des pertes en fonction du temps de contact avec les micro-organismes. Pendant les 24 premières heures, 45% d'HCN sont éliminés,

Les diverses analyses effectuées ont permis de déterminer la composition chimique des différents plats étudiés (*foutou*, *placali* et *kokondé*) (tableau IV). Ces aliments contenaient en général 65% d'amidon, une quantité résiduelle d'acide cyanhydrique qui variait entre 0,6 et 2,8 mg/100g et étaient très pauvres en lipides et en protides. Ils contenaient aussi de la matiè-

Tableau IV
Composition chimique de trois aliments à base de manioc : *foutou*, *placali* et *kokondé*

	Frais	Foutou traditionnel	Placali traditionnel	kokondé traditionnel
eau (%)	69,8 ± 1,99	70,2 ± 1,87	60,5 ± 1,76	72 ± 1,73
amidon (%MS)	83,1 ± 1,80	81,8 ± 1,99	77 ± 1,74	82,4 ± 1,74
cellulose (%MS)	1,7 ± 0,13	0,9 ± 0,03	1,1 ± 0,06	1,7 ± 0,11
azote total (%MS)	3,9 ± 0,26	2,4 ± 0,17	4 ± 0,26	3,9 ± 0,26
matière grasse (%MS)	0,4 ± 0,03	0	0	0,4 ± 0,02
cendres (%MS)	2,1 ± 0,10	1,7 ± 0,03	1,2 ± 0,4	2,1 ± 0,11
HCN (mg/100g)	9 ± 0,03	3 ± 0,04	0,9 ± 0,03	0,6 ± 0,02
calcium (%MS)	0,03 ± 0,01	0,03 ± 0,02	0,01 ± 0,002	0,03 ± 0,2
phosphore (%MS)	0,14 ± 0,03	0,11 ± 0,02	0,05 ± 0,01	0,14 ± 0,3
Ca/p	0,21 ± 0,03	0,27 ± 0,01	0,2 ± 0,01	0,21 ± 0,01
potassium (%MS)	0,5 ± 0,03	0,3 ± 0,03	0,2 ± 0,02	0,5 ± 0,03

Tableau V
Evolution des caractéristiques des viscoamylogrammes des farines entières de cossettes

Variété	Tg (°C)	Tc (min)	Vm (UB)	Vr (UB)	Ve (UB)	Ve-Vr (UB)	Vm-Vr (UB)
Bonoua	70	13 min 48"	328 ± 1,1	189 ± ,15	220 ± 1,15	31	139
Ouanga	69	4 min 48"	286 ± 0,94	161 ± 0,94	180 ± 0,94	19	125
Akaman	70	4 min	250 ± 0,94	65 ± 0,94	85 ± 0,94	20	185

tg°C : Température du début de gélatinisation
 Tc : Temps de cuisson (facilité de cuisson)
 Ve : Viscosité après refroidissement à 50 °C
 Vm : Viscosité maximale
 Ve - Vr : Indice de gélification
 Vm - Vr : Chute de la viscosité
 Vr : Viscosité lorsque le temps de cuisson est prolongé à 95°C

Tableau VI
Evolution des caractéristiques des viscoamylogrammes des farines entières de pulpe fermentée et de la farine de flocons

Variété	Tg (°C)	Tc (min)	Vm (UB)	Vr (UB)	Ve (UB)	Ve-Vr (UB)	Vm-Vr (UB)
Bonoua	69	15 min 12"	330 0,94	210 0,94	275 0,94	65	120
Ouanga	71	13 min 48"	264 0,94	185 0,94	225 0,94	40	79
Akaman	72	14 min 24"	296 0,95	210 0,95	230 0,95	20	86
Bonoua (flocons)	37	25 min 24"	43 0,47	21 0,47	40 0,47	19	22

tg°C : Température du début de gélatinisation
 Tc : Temps de cuisson (facilité de cuisson)
 Ve : Viscosité après refroidissement à 50 °C
 Vm : Viscosité maximale
 Ve - Vr : Indice de gélification
 Vm - Vr : Chute de la viscosité
 Vr : Viscosité lorsque le temps de cuisson est prolongé à 95°C

re minérale à savoir le calcium, le phosphore et le potassium en proportions variables.

Détermination de la viscosité

L'étude du comportement de la farine de cossette a montré que la variété Bonoua présente le meilleur gon-

nement avec une viscosité maximale Vm de 328 UB contre 286 UB pour la variété Ouanga et 250 UB pour Akaman. Le temps de cuisson Tc est de 13 min 48" pour Bonoua, 4min 48" pour Akaman et de 4 min pour Ouanga. Lorsque le temps de cuisson est prolongé, une viscosité Vr de 189, 161 et de 85 UB respectivement a été observée pour les variétés Bonoua, Ouanga et Akaman. Les indices de gélification étaient respectivement 14,1% 10,5% et 23,5% pour des taux de chute qui variaient entre 42 et 74%. Ces divers paramètres montrent que les variétés Ouanga et Bonoua ont une meilleure consistance finale et une bonne élasticité par rapport à la variété Akaman (Tableau V, figure 2).

La farine de la pulpe cuite à l'eau de la variété Bonoua présente une capacité de gonflement de 43 UB. La gélatinisation est faible. L'indice de gélification est élevé: 47,5% pour un taux de chute de 51,7%. Cette farine a donc une faible élasticité (Tableau VI).

Pour une température de début de gélatinisation de 70°C, des Vm de 330, 264 et de 296 UB ont été observées pour les variétés Bonoua, Ouanga et Akaman. Les farines fermentées avaient un indice de gélification de 23,6; 17,7 et de 8,7% pour des taux de chute qui variaient entre 29 et 36%. Les variétés Akaman et Ouanga présentent la meilleure élasticité et une meilleure consistance finale par rapport à la variété Bonoua. (Tableau VII, figure 3).

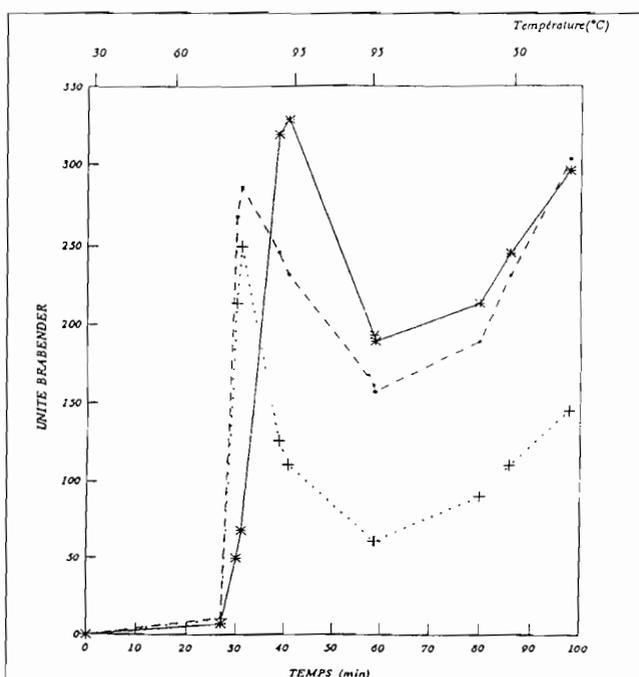


Figure 2. Viscoamylogrammes Brabender de la farine de cossettes des trois variétés de manioc (— Ouanga; + Akaman; *Bonoua)

Discussion

Le broyage contribue à l'élimination de l'HCN. Il permet en effet d'amorcer l'hydrolyse des cyanogènes par la linamarase, enzyme endogène, grâce à la destruction des cellules (11).

La baisse des différentes teneurs en sels minéraux peut être expliquée par leur solubilisation lors du lavage et leur élimination lors du pressage. Ces deux traitements contribuent aussi à l'élimination de l'HCN comme l'ont montré certains auteurs (11, 15, 24)

La cuisson à l'eau n'entraîne pas des pertes élevées en composantes chimiques. Ces résultats confirment ceux des études antérieures (15). Les pertes en amidon seraient liées à une éventuelle hydrolyse au cours de la cuisson et celle des éléments minéraux à une dissolution dans l'eau de cuisson.

Avec la méthode de Van Soest (27) seule la cellulose brute a été dosée ce qui ne reflète pas la teneur en fibres totales. En effet les fibres totales sont constituées d'un groupe de composés glucidiques comprenant outre la cellulose, les hémicelluloses et les substances pectiques. Quantifier les fibres totales en les assimilant en un seul des éléments constitutifs telle que la cellulose revient à faire une estimation par défaut. De plus avec cette méthode de dosage 80% des hémicelluloses et de pentosanes sont perdus pendant les hydrolyses successives. On ne récupère que 50 à 80% de la cellulose brute.

Le taux de calcium demeure constant. Cette stabilité du calcium serait due à la présence des oxalates qui peuvent se combiner au calcium et au magnésium pour donner des sels insolubles (22, 23). La cuisson provoque également une forte baisse de la teneur en acide cyanhydrique. En effet, l'acide cyanhydrique serait très volatil à partir de 27°C (10, 24). On comprend qu'à 90°C, température de cuisson, l'essentiel de l'HCN soit

éliminé. La teneur résiduelle en acide cyanhydrique (1 à 4 mg/100g observée selon les préparations), serait sans danger pour l'être humain, le seuil de toxicité étant compris entre 5 et 6 mg/100g de produit (22). En effet la consommation journalière de ces différents aliments étant en moyenne de 400g, la teneur quotidienne résiduelle en acide cyanhydrique de 4 à 8 mg est non toxique.

Dans les produits fermentés, à l'exception des protéines, la teneur des principaux composants diminue. Des résultats analogues sont observés au cours des travaux antérieurs (8, 15).

Selon ces auteurs le développement des microorganismes est à l'origine d'un accroissement d'environ 20% de la teneur en protéines.

La décomposition des glucosides cyanogéniques intervient principalement pendant les premières 24h de fermentation, le pH se situant alors à une valeur voisine de pH 5 (18). Nos résultats confirment ces affirmations, car après le premier jour de fermentation une perte moyenne de 45% à pH 4,5 a été enregistrée.

La détoxification serait surtout due au contact du glucoside cyanogénique (linamarine, lotaustraline) avec une enzyme endogène, la linamarase (1, 21). Parallèlement à la détoxification, un développement de microorganismes interviendrait surtout dans l'hydrolyse de l'amidon et dans la production de l'acide lactique. Dans ces conditions le "magnan" ou levain serait à l'origine de l'apport massif de microorganismes, ce qui contribuerait à la baisse du pH observé dans le milieu lors des deux premiers jours de fermentation. Ce pH se stabilise autour de pH 4 (21). Cette affirmation est confirmée par nos résultats.

Après trois jours de fermentation, l'élimination de l'HCN est moindre. Comme l'expliquent des travaux antérieurs (21), l'activité de la linamarase diminue à pH élevé. L'HCN demeure alors sous forme liée (la cyanhydrine).

Selon nos résultats, le mécanisme de détoxification au cours de la fermentation serait dû aussi bien aux microorganismes qu'à l'enzyme endogène la linamarase. En effet ce traitement permet un contact plus important entre le substrat et l'enzyme.

Le séchage au soleil des morceaux de tubercules frais a permis d'abaisser la teneur en eau entre 9 et 10%, ce qui permet une bonne conservation des farines comme dans le cas de l'attiéké déshydraté (3, 22). A cette humidité, la croissance des bactéries, levures et champignons est faible. De même l'activité enzymatique, le brunissement non enzymatique et l'oxydation des lipides sont à leur minimum.

Dans le cas du séchage au soleil la perte en HCN est estimée entre 75 et 80%. Ce résultat est conforme aux résultats antérieurs (11) qui ont montré en outre qu'un séchage rapide entre 80 et 100°C entraîne seulement une élimination de 10 à 15%. Le système enzymatique est en effet dénaturé par les températures élevées. Au cours du séchage l'élimination de l'HCN serait due non seulement à un phénomène d'évaporation mais aussi à l'activité de la linamarase. L'HCN résiduel dans les cossettes crues et séchées est de l'ordre de 2mg/100g. Après cuisson des farines cette teneur est réduite à 0,6mg/100g. Ainsi la cuisson après traitement réduit considérablement la teneur en acide

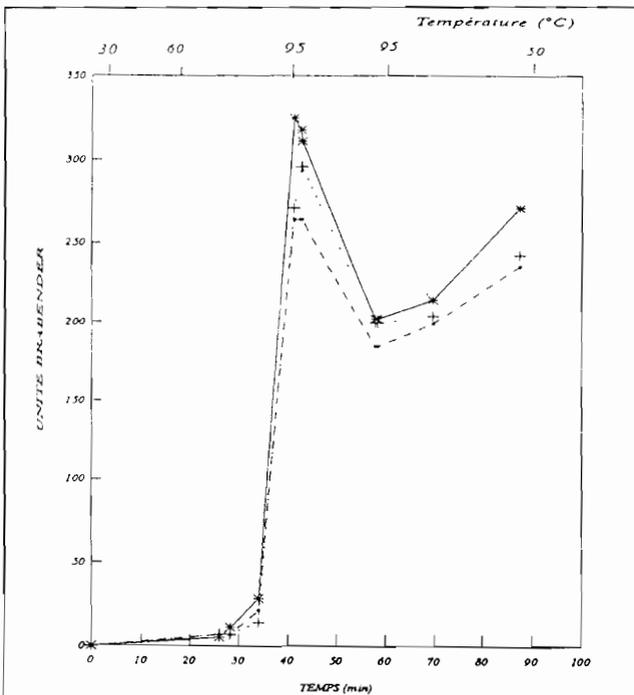


Figure 3. Viscoamylogrammes Brabender de la farine fermentée de (— Ouanga; + Akaman; *Bonoua)

cyanhydrique comme cela a été montré dans le cas de l'*attiéké* (24).

La viscosité maximale de l'amidon natif était respectivement de 634, 634 et 628 UB pour les variétés Bonoua, Ouanga et Akaman (28). Nos résultats nous montrent donc une nette différence entre la viscosité maximale de l'amidon natif et celle des grains d'amidon des farines. Ceci pourrait être expliqué par le traitement (séchage, cuisson, fermentation) subit par les grains d'amidon. Cette modification du comportement thermodynamique et hydrodynamique de l'amidon a été observée antérieurement (9, 20). La faible consistance finale observée après refroidissement à 50°C pour les différents aliments testés serait due à la faible humidité des farines.

En effet, sous l'effet du chauffage, lors de la cuisson, les grains d'amidon constitués d'amylopectine et de peu d'amylose subissent en fonction de la température les changements suivants: absorption d'eau, empesage, gélification et retrogradation (12, 20). Dans la pulpe fraîche ces grains sont en suspension dans un milieu liquide (70%) ce qui facilite le phénomène d'absorption. Or dans les farines l'absorption est faible car la teneur en eau est comprise entre 9 et 10%. L'absorption étant faible, il en serait de même pour le gonflement et pour la recristallisation partielle après refroidissement d'où la faible consistance observée. Ces observations expliquent bien la raison pour laquelle le placali et le kokondé sont moins consistants que le *foutou* de manioc. Par ailleurs en considérant les différents paramètres et le temps de cuisson à 95°C, les variétés Ouanga et Bonoua seraient intéressantes pour la préparation du *kokondé* alors que les variétés Akaman et Ouanga le seraient pour le *placali*.

Conclusion

Les diverses analyses chimiques nous ont permis de déterminer la composition chimique des différents plats traditionnels dérivés du manioc (*foutou*, *placali* et *kokondé*). L'étude comparative de la composition chimique des tubercules frais et des aliments dérivés montre que les traitements technologiques (broyage, cuisson, fermentation et séchage) réduisent la teneur en HCN sans altérer le reste des constituants organiques et minéraux. La cuisson des tubercules est un traitement moins efficace dans l'élimination de l'HCN. Néanmoins, la teneur de l'HCN observée dans les différents aliments testés est sans danger pour l'organisme, comme il l'a été montré, dans le cas du *gari* et de l'*attiéké* (3, 10). Tous ces résultats nous ont permis d'établir la valeur alimentaire des trois aliments (*foutou*, *placali* et *kokondé*). Ils sont très riches en amidon. Ainsi le rôle de ces aliments dans l'alimentation humaine se rattache essentiellement à un apport calorique. Ils constituent la source principale de calories pour des milliers de personnes. Etant donné que ces plats très pauvres en protéines sont en général consommés accompagnés de sauce, l'on peut dire qu'ils rentrent dans la constitution de repas équilibrés. La fermentation, le séchage et la cuisson modifient fortement le comportement thermodynamique et hydrodynamique des amidons natifs. Mais ces divers traitements modifient différemment la gélification et la retrogradation, ce qui s'expliquerait non seulement par l'état de l'amidon dans les différents plats étudiés mais aussi le choix de la variété pour une préparation donnée. Ainsi l'on pourrait classer ces trois variétés dans l'ordre de préférence suivant: Bonoua pour le *foutou*, Ouanga ou Bonoua pour le *kokondé* et Akaman pour le *placali*. Ces différents choix observés à partir des paramètres étudiés correspondent à ceux des habitudes alimentaires des populations.

Références bibliographiques

1. Abe M. O. & Lindsay R. C., 1978. Evidence for a lactic streptococcal role in Nigeria acidic cassava. (*Manihot esculenta* CRANTZ) Fermentation. J. Fd Protection, 41 (10), 781-784.
2. Aboua F., 1988. Préparation traditionnelle de aliments con yuca en Costa de Marfil. Yuca Buletin Informativo 12 (1): 10-12 ES.. II.
3. Aboua F., 1989. A simple technique for the production of dehydrated attiéké in rural areas in Ivory Coast. Trop. Sci. 1989, 29, 39-45.
4. Aboua F., Konan E., Kossa A. & Kamenan A., 1989 Evolution des teneurs d'acide cyanhydrique et d'acide oxalique au cours de la transformation du manioc en attiéké. Agr.Afr 1(2) : 117-122.
5. Aboua F., Kossa A., Konan E. & Angbo F., Kamenan A., 1990. Evolution de quelques constituants du manioc au cours de la préparation de l'attiéké. Séminaire AUPELF Janvier 1990.
6. Aboua F., 1992. Chemical changes in cassava tubers (*Manihot esculenta* CRANTZ) during production of placali. Tropical Science. Vol. 32. Num.4: p. 353-360.
7. BIPEA, 1976. Bureau Interprofessionnel d'Etudes Analytiques. Recueil de méthodes d'analyses des communautés européennes.
8. Cara J. M., 1985. L'infiniment petit au service de l'homme. Pèlerin magazine N° 5344: 30-33.
9. Chuzel G., 1991 : Amélioration technique et économique du procédé de fabrication de l'amidon aigre de manioc. Amélioration de la qualité des aliments fermentés à base de manioc. Congrès sur " l'amidon aigre de manioc " , 17-20/06/91. C.I.A.T. Cali. Colombie :5-7
10. Chuzel G. & Griffon D., 1987. Le gari : un produit traditionnel fermenté à base de manioc : aspect fermentation-détoxification. Montpellier. Centre d'étude et d'expérimentation du machinisme agricole tropical. 13p. Fr., 23 Ref., II
11. Cooke R. D., 1979. Enzymatic essay for determining the cyanide content of cassava and cassava products. Cassava information center, Centro International de Agricultura Tropical, Cali.,Colombia, 1979, 05 EC, 6-15.
12. Duprat F., Galland D. J., Guibot A., Mercier C. & Robin J. P., 1980. L'amidon. In "les polymères végétaux" . Ed. B. Monties Bordas Paris: 231-276.
13. Ewers, 1972. Dosage de l'amidon, méthode polarimétrique. J. O. CEE, 15, L. 123, 7-9.
14. FAO, 1956. Acide cyanhydrique dosage. (Méthode alcaline de titrage). In Traitement du manioc: 84-85.
15. Favier J. C., 1971. Etude de la digestibilité in vitro de l'amidon de diverses plantes alimentaires du sud du Cameroun. Influence des transformations technologiques sur l'amidon du manioc. Ind. Alim. Agric. ,c-13

16. Favier J. C., Chevassus-Agnew S. & Gallon G., 1971. La technologie traditionnelle du manioc au Cameroun. Influence sur la valeur nutritive. *Annales de la nutrition et de l'alimentation*, 25, 1-59.
17. Ikediobi C.O. & Onyeke E., 1982 - a. Linamarase activity and detoxification of cassava (*Manihot esculenta* CRANTZ) during fermentation of gari production. *Agr. boil. Chem.* **44**, (6), 1667-1669.
18. Ikediobi C. O. & Onyieke E., 1982-b. The use of linamarase in gari production. *Process Biochemistry*, **17**, (4) : 2-5
19. Kouadio N., Kouakou K., Angbo F. & Mosso K., 1991. Etude comparative des méthodes traditionnelles des préparations de l'attiéké dans le sud de la Côte-d'Ivoire. *Ind. Alim. et Agric.* N°108 : 703-706.
20. Leach H. W., 1965. "Gelatinisation of starch" in *Starch: chemistry and technology*. Vol. I : 289-307. Ed. R. L. Whisler et E-F. Pashall, Pub. Acad. Press.
21. Meuser F. & Smolnik H. D., 1980. Processing of cassava to gari and other foodstuffs. *Starch*, 32 (4) , 116-122.
22. Muchnik J. & Vinck D., 1984. La transformation du manioc. Technologies autochtones. Agence de Coopération Culturelle et Technique, Presses universitaires de France, 1984: 172p.
23. Oke O. L., 1966. Chemical studies on some Nigerian foodstuffs "gari" - *Nature*, 212 (5066): 1055-1056.
24. Ouegnin E. A., 1988. Contribution à l'étude de l'acide cyanhydrique dans un produit de transformation du manioc: l'attiéké. Thèse de Doctorat en Pharmacie. Univ. CHEIKH ANTA DIOP, Dakar, Sénégal. 113p.
25. Oyewole O.B. & Odunfa S.A., 1992. Effects of processing variables on cassava fermentation for fufu production. *Tropical Sciences*. Vol. **32**. Num. 3. p. 231-240.
26. Vinck D., 1982. La transformation du manioc en gari. Mémoire fac. Sci. Agron Gembloux. Belgique : 220 p.
27. Van Soest P. J. & Mc. Queen R. W., 1973. The chemistry and estimation of fibres. *Proc. Nutr. Soc.* 32: 123-130.
28. Zoumenou V., 1994. Etudes physico-chimique et nutritionnelle de quelques préparations alimentaires à base de manioc (*Manihot esculenta* CRANTZ). Thèse de Doctorat de 3ème cycle N°205. Univ. Nationale de Côte-d'Ivoire: 101p

*Virginie Zoumenou, Ivoirienne: Assistante en Biochimie-nutrition

**F. Aboua, Ivoirien: Maître de recherche

*D. Gnakri, Ivoirien: Maître de conférence en Biochimie-nutrition

*A. Kamenan, Ivoirien: Professeur en Biochimie

Le 23 et 24 mai 2000, un séminaire international sur l'élevage intensif de gibier à but alimentaire sera organisé à Libreville, par le projet " Développement au Gabon de l'Elevage du Gibier (DGEG) et l'ONG Vétérinaires sans Frontières.

Les candidatures et les demandes de renseignements sont à adresser au :

Comité d'Organisation

B.P. 9129 Libreville

Gabon

Fax : (241) 76 04 22 - Email : vsfgab2@internetgabon

Essai sur l'effet de la densité sur la production de biomasse d'escargots géants africains (*Archachatina marginata*) au Bénin

O.D. Koudandé** & M. Ehouinsou*

Keywords: African giant snails - Density - Growth - Papaya leaves.

Résumé

De jeunes escargots géants d'Afrique élevés à des densités variables (4, 8, 15 et 22 animaux par m²) et nourris uniquement avec des feuilles de papayer ont montré des performances de croissance inversement proportionnelles à la densité d'élevage. En effet, les gains de poids ont été respectivement 112%, 114%, 76% et 64%. Par contre la production de biomasse croît avec la densité mais cette croissance est de type logarithmique.

Summary

Effect of the Density on the Biomass Production on African Giant Snails *Archachatina marginata* in Benin

Under variable densities (4, 8, 15 et 22 animals per m²), young african giant snails fed with a diet of papaya leaves had a growth rate linked to the rearing density. In fact, the weight gains were respectively 112%, 114%, 76% and 64%. However the biomass production increased with the density, this enhancement followed a logarithmic curve.

Introduction

La nécessité de satisfaire les besoins protidiens en constante augmentation, suite à la croissance galopante de la population en Afrique, a conduit depuis quelques années au développement d'élevages non conventionnels (aulacodes, vers de terre, cobayes, rats de Gambie, escargots...).

L'élevage des escargots dans les conditions tropicales africaines rencontre encore beaucoup de difficultés car les techniques d'élevage ne sont pas totalement maîtrisées. En effet, les incubations d'œufs d'escargots géants africains conduisent à une augmentation rapide et importante du nombre des escargots. La conséquence immédiate de cette performance est l'augmentation rapide de la population des animaux dans l'élevage. Il s'en suit une élévation de la densité préjudiciable à la croissance biologique des animaux et à la rentabilité de l'exploitation.

Dans le présent article sont consignés les résultats d'une expérimentation conduite au sein de l'Unité de Recherches Zootechnique et Vétérinaire (URZV) à Agonkanmè au Bénin, et relative à l'influence des densités des escargots géants sur leur croissance.

Matériel et méthode

1. Matériel

Installés sous une bananeraie, les enclos d'élevage en brique de maçonnerie mesurent 6m x 1,20m x 0,65m et sont subdivisés en 12 compartiments égaux. Chaque compartiment est fermé par un couvercle grillagé et comporte un abreuvoir en terre cuite.

Les animaux étaient âgés de 4 à 5 mois et pesaient entre 30 et 40 grammes. Ils provenaient de notre élevage et ont été manipulés de façon à éviter tout traumatisme qui entraînerait un retard de croissance.

Les aliments étaient constitués uniquement de feuilles de papayer (*Carica papaya*).

Les outils de mesure utilisés furent une balance de précision et un pied à coulisse.

2. Méthode

Le dispositif expérimental a été installé suivant les blocs de Fisher avec quatre traitements et trois répétitions:

- traitement n°1 (T1): biomasse = 0,250 kg/m²; densité = 4 escargots/m²;
- traitement n°2 (T2): biomasse = 0,500 kg/m²; densité = 8 escargots/m²;
- traitement n°3 (T3): biomasse = 1,000 kg/m²; densité = 15 escargots/m²;
- traitement n°4 (T4): biomasse = 1,500 kg/m²; densité = 22 escargots/m².

La biomasse et la densité ont été exprimées par rapport à la surface meuble du sol. En début d'expérimentation, les divers lots d'animaux étaient statistiquement identiques tant du point de vue de la longueur que du poids (tableau 1). La période expérimentale s'était étendue de juin à novembre 1993. Les paramètres enregistrés mensuellement étaient le poids des escargots et la longueur de leur coquille. Avant chaque mesure les animaux étaient nettoyés à l'aide de papier serviette afin de les débarrasser des débris végétaux et de la terre.

* Unité de Recherches Zootechnique et Vétérinaire/Institut National des Recherches Agricoles du Bénin, BP: 884 Cotonou, Rép. du Bénin.

** Adresse de correspondance: Dr. O.D. Koudandé, Department of Animal Breeding, Wageningen Agricultural University, P.O. Box 338, 6700 AH Wageningen, The Netherlands.

Reçu le 11.10.94 et accepté pour publication le 02.03.98.

Tableau 1
Paramètres enregistrés en début et après 5 mois d'essai

Paramètres	T1		T2		T3		T4	
	début	fin	début	fin	début	fin	début	fin
Long. coquilles (mm)	60,6a	78,8b	60,4a	79,6b	61,8a	75,5b	62,1a	74,3b
Poids vif (g)	36,1a	76,4b	36,3a	77,1b	38,6a	68,0c	39,6a	64,9c
Biomasse (kg/m ²)	0,250	0,529	0,500	1,069	1,000	1,762	1,500	2,458

Note: Les valeurs affectées de lettres différentes sur une même ligne sont statistiquement différentes.

Résultats

La figure 1 schématisant l'évolution pondérale des escargots en fonction de la longueur de la coquille montre que la croissance en poids des animaux des lots T1 et T2 (110%) est significativement supérieure ($P > 0.05$) à celle des lots T3 et T4 (70%). Il s'en suit les mêmes tendances au niveau du paramètre biomasse (tableau 1). Par contre la production de biomasse par unité de surface (m²) durant la période expérimentale est 0.279, 0.569, 0.762 et 0.958 kg respectivement pour T1, T2, T3 et T4. La croissance en longueur des escargots n'est pas statistiquement différent d'un traitement à l'autre.

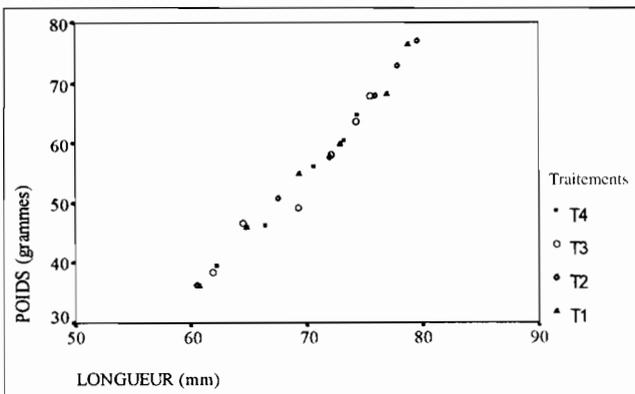


Figure 1. Evolution du poids des animaux en fonction de la longueur de coquille sur 5 mois d'essai.

Discussion

La période de juin à novembre a été retenue pour l'expérimentation car elle correspond à la saison pluvieuse dans le sud du Bénin et constitue la période d'activités intenses pour les escargots. En effet il y a abondance des aliments, mieux, les conditions atmosphériques sont favorables à la reproduction et à la croissance des animaux. Bien que les enclos d'élevage aient été installés sous une bananeraie, le microclimat éventuel qui y règne est parfaitement corrélé positivement avec le climat ambiant. De plus nous avons voulu éviter les variations qui pourraient survenir en dehors de cette saison à savoir la rareté des aliments et les modifications climatiques.

L'utilisation des feuilles de papayer comme source unique d'aliments était dictée par les effets néfastes que pourrait avoir une combinaison d'aliments non encore maîtrisés. Elle était surtout liée aux résultats obtenus par Koudandé et Ehouinsou (5) qui avaient observé que les escargots obtenaient de meilleures performances avec les feuilles de papayer qu'avec les feuilles de *Leucaena leucocephala*, de *Tridax procum-*

bens et de *Talinum triangulare*.

Le paramètre biomasse exprimé en poids par unité de surface reflète mieux la réalité que la densité exprimée en nombre de têtes par mètre carré. En effet, une densité de 4 escargots par mètre carré avec un poids vif moyen de 5 grammes et la même densité avec des escargots de poids vif moyen de 120 grammes occasionneraient des variations assez fortes ne serait-ce que dans la quantité d'aliment à servir.

Le choix des animaux entre 30 et 40 grammes et l'homogénéité des différents lots (tableau 1) en début d'expérimentation expliquent la progression linéaire notée dans le nombre des escargots en fonction des densités étudiées. Des animaux de poids plus varié n'auraient pas occasionné cette progression linéaire dans le nombre des escargots. Cette homogénéité a été préférée afin d'éviter d'autres variations non maîtrisables compte tenu du matériel biologique étudié et disponible.

Les résultats relatifs au poids et à la taille des escargots concordent avec ceux obtenus par Egonmwan (3), Boni (2) et Tra Bi Koe (8). En effet selon ces derniers, sous de faibles densités d'élevage, les escargots ont une forte croissance, une faible mortalité et une précocité dans l'apparition de la maturité sexuelle.

La production de biomasse par unité de surface a évolué de façon contraire à la croissance individuelle des animaux. Elle croît avec la densité mais cette croissance n'est pas linéaire du moins pas à forte densité. L'analyse de la biomasse produite en fonction de la charge initiale montre qu'elle est linéaire à faible charge mais que les points correspondant aux deux fortes charges initiales sont déviés à droite de la droite représentée par les deux premiers points (faibles chargements). Le modèle mathématique qui s'ajuste le mieux aux observations est le modèle logarithmique d'équation $Y = 0.36 * \log(X) + 0.7906$ lequel explique 99% des variations observées (figure 2). Ceci montre que la production de biomasse n'est pas proportionnelle à la charge initiale des animaux dans les enclos. Ceci permet de penser que pour des escargots à peu près identiques (poids, taille et âge) la production en biomasse par animal est d'autant plus faible que la densité est plus grande. En cela nos observations et nos analyses rejoignent celles de Stiévenart (7) qui explique que des troubles de croissance apparaissent chez les animaux suite à une insuffisance de l'espace disponible se traduisant par des chevauchements des uns par les autres. Ces chevauchements sont à l'origine de la détérioration de la bordure coquillière dont la

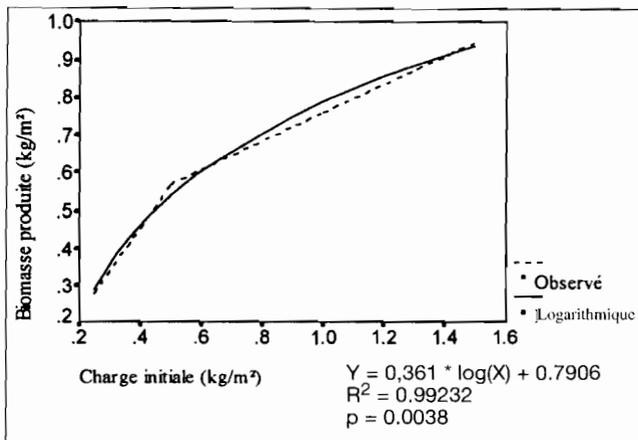


Figure 2. Courbe de production de biomasse sur 5 mois par m² en fonction de la charge initiale.

réparation retarde la croissance normale des animaux. La durée de notre expérimentation était trop courte pour nous permettre de constater les dégâts dus aux chevauchements.

Du point de vue du producteur, la production de biomasse par unité de surface serait l'un des objectifs à atteindre pour rentabiliser son élevage. Mais la valeur marchande des gros escargots étant plus intéressante (2,4,6), un compromis devra être trouvé entre la production de biomasse par unité de surface et la production d'escargot atteignant la taille marchande

requis en un temps raisonnable. Sur la base des résultats de la présente étude on pourrait déjà conseiller aux éleveurs de charger leur enclos entre 0,5 kg et 1,0 kg par mètre carré et de le gérer de manière à ne pas dépasser la charge de 1,0 kg/m². Une seule contrainte peut limiter cette recommandation: la disponibilité des terres surtout dans la région sud du Bénin où cet élevage trouve son point d'appui (2) et où la densité de la population humaine ne cesse de croître. Il existe cependant un espoir puisque cet élevage peut alterner avec les cultures (1) servant ainsi à enrichir le sol en matière organique et même en matière minérale. Il peut aussi servir à raccourcir les jachères.

Conclusion

En bonne saison, de jeunes escargots en cage sous faible densité ont une croissance élevée avec des performances pondérales supérieures. La production de biomasse par unité de surface croît avec la densité mais cette croissance n'est pas proportionnelle à la charge initiale. La charge ne devrait pas dépasser 1 kg/m².

Remerciements

Nos vifs remerciements au programme STD de la Commission des Communautés Européennes pour le soutien financier aux présents travaux, au Professeur J. Hardouin et au Docteur Corinne Stiévenart pour leur appui scientifique et technique.

Références bibliographiques

1. Assogba, F. & Ehouinsou, M., 1993. Assolement maraichage/héliciculture au Sud Bénin. *Tropicultura*, **11**(3): 91-94.
2. Boni, P., 1993. Etude de quelques paramètres écoéthologiques des escargots géants africains: *Archachatina* sp et *Achatina* sp. Thèse Ing. Agro., FSA/UNB, Abomey-Calavi, 80 p.
3. Egonmwan, R.I., 1991. The effect of population density on growth rate in *Limicolaria flammea* (Müller), *J. Moll. Studies*, **58**: 49-55.
4. Hardouin, J., Stiévenart, C. & Codjia, J.T.C., 1995. L'achaticulture. *WAR/RMZ*, **83**(2): 29-39.
5. Koudandé, O.D. & Ehouinsou, M., 1995. Influence de l'alimentation sur la production chez *Archachatina* sp. *WAR/RMZ*, **83**(2): 60-63.
6. Olufokunbi, B., Phillips, E.O., Omidji, J.O., Ogbonna, U.O., Makinde, H.T. & Apansile, O.J., 1989. The economics of commercial domestication of the African land snail *Archachatina* (*Calachatina*) *marginata* (Swainson) in Nigeria. In *Slugs' and Snails in World Agriculture*, B.C.P.C. Monograph No.41, Henderson, J. (Ed.), Guildford, UK, 27-31.
7. Stiévenart, C., 1990. Importance de la combinaison des paramètres de poids vif et longueur de coquille pour l'appréciation de la croissance chez les escargots géants africains. *Livestock Research for Rural Development*, **2**(3): 66-75.
8. Tra Bi Koé, B., 1994. Effets de la densité et de quelques aliments sur les performances de croissance de l'escargot géant africain *Achatina achatina* (Linné). Rapport de stage, Ecole Nationale Supérieure Agronomique, Yamoussoukro, 66 p.

O.D. Koudandé: Béninois. Dr. vétérinaire, Chef Division Santé Animale à l'URZV, Cotonou - Bénin.
M. Ehouinsou: Béninois. Dr. Ingénieur Zootechnicien, Directeur de l'URZV, Cotonou - Bénin.

Synthèse des résultats de recherche sur l'agronomie du caféier arabica (*Coffea arabica* L.) au Rwanda au 31 mars 1994

V. Rutunga*, F. Kavamahanga† & C. Nsengimana**

Keywords : Results - Coffee agronomy - *Coffea Arabica* L.

Résumé

Le caféier arabica est la principale culture d'exportation et la plus importante dans la macro-économie du Rwanda. Pour cela, les Instituts de recherche agricoles ont essayé d'affiner son agronomie en vue d'accroître la production du café. Les conditions écologiques des zones caféicoles du Rwanda sont caractérisées par une pluviométrie inadéquate, un fort ensoleillement et des sols très variés.

Les résultats de recherche ont montré que les écartements de plantation de 2 m x 2 m ou 2,5 m x 1,5 m étaient appropriés. Les fortes densités multicaules produisaient mieux avec certaines variétés. Le régime de taille a été bien mis au point mais n'est pas bien suivi. Le paillage est la technique la plus appropriée pour augmenter la survie et la production du café. Il améliore les propriétés biologiques, hydriques, chimiques des sols et l'efficacité des engrais minéraux. Les matériaux servant de paillis sont variés mais insuffisants pour toutes les caféières. Le paillage est fait tard au Rwanda. Les couvertures vivantes bien qu'ayant certains avantages, ne peuvent cependant pas remplacer totalement le paillis. Les arbres d'ombrage n'ont pas eu de succès dans la caféiculture rwandaise.

L'engrais azoté suivi de celui potassique augmentaient la productivité du café. L'effet des engrais phosphatés est moins notoire. Le magnésium s'est montré déficient dans certaines plantations. Les formules N.P.K. et N.P.K.Mg ont été recommandées, leurs doses variant en fonction des sites et du niveau d'aménagement des caféières. Le vieux compost de pulpes de café s'est montré fumure efficace.

Summary

Synthesis of Results on Coffee Agronomy Research in Rwanda on 31 March 1994.

Arabica coffee plays an important role in the macro-economic performance of Rwanda. As a result, Agricultural Research Institutes have done research on coffee agronomy, aimed at improving coffee productivity. The ecological conditions for coffee in Rwanda are characterized by inadequate rainfall and high light intensity. Soil parental material and chemical properties are variable amongst different small holders coffee producers.

The available results indicate that spacing in coffee planting of 2 m x 2 m or 2,5 m x 1,5 m are convenient. Higher density with "multicaule" planting provided better production with some varieties. Pruning regime has been established but should still be correctly followed. Mulching is the best cultural technique to improve production. It improves soil physical and chemical properties and water storage. It can also improve mineral fertilizer use efficiency. The mulching materials are variable but not enough for all coffee plantations. Mulch is applied late (July, August) in Rwanda. Living cover with different species including legumes cannot replace efficiently the mulch, although the cover of *Desmodium* sp. and other few species can offer some advantages. Shade trees in coffee plantations have not been successful.

N fertilizer followed by K improved coffee production. The effect of P was not clear while Mg deficiency was observed in some plantations. The formula of N.P.K. and N.P.K.Mg. were recommended but their rates should vary according to the sites. Finally, a beneficial effect was observed in using rotted coffee rinds compost.

Généralités

Importance socio-économique du café au Rwanda

Le café (*Coffea arabica* L.) est la culture d'exportation la plus importante et la principale source de devises au Rwanda. Sa production moyenne annuelle depuis 1987 jusqu'en 1989 s'est élevée à 38 351 t de café

marchand. La valeur du café représentait respectivement 75%, 73% et 56% de l'ensemble des exportations du pays pour les années 1987, 1988 et 1989.

Le café est cultivé sur une superficie d'environ 53 000 ha par de petits planteurs dont le nombre s'élève à en-

* University of Nairobi, P.O.Box 30197, Nairobi, Kenya; † Ancien scientifique à l'ISAR Rubona, Butare, Rwanda; ** IIBC Muguga, P.O.Box 76520, Nairobi, Kenya. Adresse de contact: V. Rutunga, Faculty of Agriculture; P.O.Box 30197, Nairobi, Kenya. Reçu le 24.07.97 et accepté pour publication le 06.03.98.

viron 700 000 soit environ 55% des exploitations agricoles familiales du pays (20). La taille moyenne d'une caféière par exploitant est de 100-175 plants dont la production moyenne varie de 300 à 600 kg de café par ha/an. La vente du café permet une intense activité économique à travers tout le pays.

Exigences écologiques du caféier arabica

Selon Coste (2), l'espèce *C. arabica* prospère dans les milieux ayant des conditions écoclimatiques suivantes:

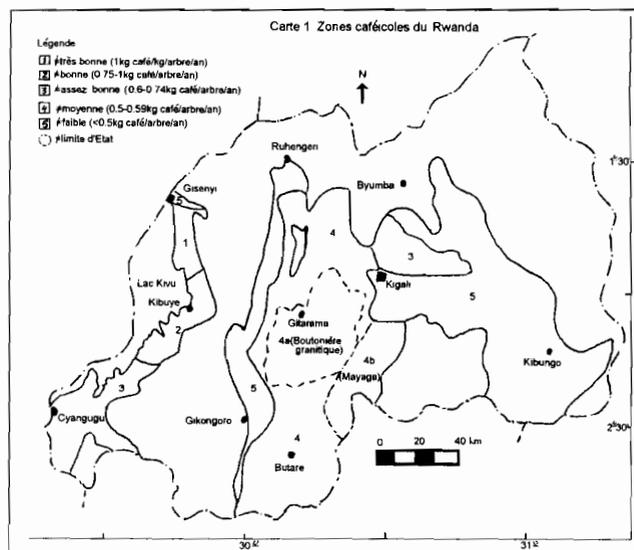
- une altitude comprise entre 1 300 m et 1 800 m;
- une saison sèche de 2 à 3 mois au maximum, qui permet un repos végétatif puis un déclenchement de floraison du caféier au retour des pluies;
- une pluviométrie annuelle de 1500 mm bien répartie;
- une humidité relative de 60% et peu de vents;
- une température moyenne journalière de 20 à 22°C avec des minima de 5°C et des maxima de 30°C: au-delà de ces températures extrêmes, des troubles physiologiques apparaissent.

Le caféier est une culture semi-héliophile. Il peut cependant prospérer en plein ensoleillement si sa culture est pratiquée de manière intensive avec paillage, bon entretien et fertilisation. Autrement, les jeunes arbres produisent beaucoup puis souffrent du die-back et du vieillissement précoce. L'évapotranspiration d'un caféier sans ombrage est de $\pm 6,3 \text{ g d'eau/dm}^2/\text{jour}$. Le caféier s'adapte à différents types de sols pour peu qu'ils soient profonds et de texture argileuse à argilo-sableuse. Des sols compacts entraînent un enracinement superficiel d'où la sensibilité à la sécheresse. Des sols légers et perméables mais non filtrants favorisent la pénétration des racines. Le pH (eau) optimal du sol est de 5 à 6. Ainsi, le caféier arabica peut s'adapter à des écologies très variées surtout lorsque les techniques de correction sont appliquées pour atténuer les conditions peu favorables du milieu.

Conditions écoclimatiques prévalant pour la caféiculture au Rwanda

La culture du *C. arabica* est pratiquée dans une région d'altitude comprise entre 1 450 m et 1 900 m (9) et au-dessus de l'isohyète de 1 000 mm (31). Bien qu'ayant de nombreux microclimats dus au relief très accidenté, la région caféicole se retrouve selon la classification climatique de Köppen, dans la zone tropicale Aw₃ (15) où la température moyenne du mois le plus froid est supérieure à 18°C. Le régime pluviométrique est bimodal avec 2 saisons humides (mi-septembre à mi-décembre et mi-février à fin mai) et 2 saisons sèches (janvier-février et juin-septembre) (11). Néanmoins, la durée de la grande saison sèche est variable et devient de plus en plus longue lorsqu'on se dirige de l'ouest (60-90 jours) vers l'est (110-115 jours) du Rwanda. La pratique de la caféiculture est ainsi exclue au niveau de la Crête Zaïre-Nil et du Buberuka du fait de l'altitude et au niveau de l'Est à cause du déficit hydrique marqué. Les précipitations dans la région caféicole varient entre 950 et 1 350 mm et sont inférieures à l'optimum (1500 mm). Cette insuffisance d'eau défavorise le développement végétatif optimal et la fructification normale et par conséquent la production des plantations.

Les sols sont généralement des Oxisols, des Ultisols,



des Inceptisols et parfois même des Entisols et dérivent de matériaux très divers (4). Ceux issus de roches schisteuses et basaltiques sont généralement profonds tandis que ceux dérivés de roches acides (granites, quartzites) sont minces. Leur teneur en matière organique et leur richesse chimique sont fort variables et souvent faibles. L'acidification et l'érosion des sols sont des phénomènes généralisés. Les plantations de café ont des productivités variables en fonction de l'altitude, de la pluviométrie disponible, de la nature des sols et du niveau de gestion des parcelles. Sur base des rendements moyens annuels en café par ha enregistrés entre 1959 et 1961, De Vuyst et Brion (9) ont distingué cinq zones caféicoles (carte 1).

Problème posé

Les exigences écologiques du caféier et les conditions écologiques prévalant au Rwanda font que la caféiculture rwandaise soit confrontée aux contraintes liées à:

- l'altitude élevée;
- l'insuffisance ou la répartition temporelle et spatiale inadéquate des pluies;
- les terres à propriétés chimiques et physiques inadéquates;
- la prolifération des maladies et insectes.

L'objectif de la recherche était alors de mettre au point des technologies adéquates pour lever/atténuer ces contraintes à la bonne production du café et de rassembler les données devant servir plus tard à la caractérisation plus fine des zones caféicoles. Le présent article fait la synthèse des connaissances acquises sur les techniques culturales à utiliser en vue d'améliorer la production du caféier arabica.

Matériel et méthodes

Les données utilisées dans la présente étude ont été collectées à travers nos essais clôturés ou en cours à l'ISAR ainsi qu'à travers les articles et les rapports annuels publiés par les chercheurs de l'INEAC. Les essais étaient généralement conduits en blocs complètement aléatoires avec trois à quatre répétitions. La densité de plantation était propre à chaque essai. Le nombre de plants constituant la parcelle élémentaire effective était fonction de la disponibilité du terrain et du matériel de

plantation: il variait généralement de 4 à 25. La plantation avait lieu au début de la saison des pluies en octobre-novembre. Différents cultivars/varétés de café ont été utilisés: il y a lieu de citer Mibirizi, Mokka, Jackson 2/1257 et Caturra 140. Le paillage se faisait en mai-juin. Les engrais étaient appliqués soit en octobre-novembre soit en février-mars. Le sarclage se faisait à chaque moment opportun. La récolte de cerises mûres s'échelonnait sur toute l'année mais atteignait son pic en mai-juin. Les cerises récoltées étaient dépulpeées en "fully washed"; le café parche était séché au soleil. Des enquêtes en milieu rural ont servi à évaluer la disponibilité et le type de paillis dont la teneur en éléments fertilisants était déterminée selon les procédés rapportés par Novosamsky et al. (24).

Résultats et discussion

Durée et produits de conservation des semences

Les études sur la conservation des semences de café ont révélé que la graine une fois enrobée de produits fongicides organo-cuivriques, peut être efficacement conservée pendant un an. L'enrobage des graines avec du charbon de bois s'est aussi montré efficace en cas de conservation de courte durée (17).

Conduite de germoirs et pépinières

Les essais sur la conduite des germoirs et pépinières ont montré qu'un ombrage artificiel à partir de 2,25 m du sol est requis pour un bon germoir. Cet ombrage tamisé et uniforme assure une évaporation minimale de l'eau du sol et une hygroscopicité maximale de l'atmosphère dans la pépinière. L'incorporation du fumier à la terre des plates-bandes du germoir s'est montré néfaste à la bonne germination: elle favorisait la prolifération des insectes. Le paillage assurait la conservation de l'humidité du sol de surface. Il permettait ainsi de réduire le nombre d'arrosages et de semer les graines à faible profondeur (0,5 cm à 1,0 cm), ce qui assure une levée plus rapide et uniforme. La période propice pour la mise en place des germoirs se situe au mois de novembre/décembre. Le semis des graines doit se faire à l'écartement de 10 cm x 5 cm, ce qui permet d'avoir 3 000 à 4 000 plantules/kg de graines. Après 3 à 4 mois de séjour en germoir, les plantules au stade "cotylédon en parche" doivent être transplantées en pépinières établies à proximité des points d'eau et des champs à planter. Les jeunes plants sont repiqués dans les sachets en polyéthylène (18 cm x 24 cm) remplis d'un mélange de terre inerte (1/2) et de compost (1/2), ce qui garantit une meilleure reprise (7). Les plants séjournent ensuite en pépinière ombragée de 7 à 8 mois.

Techniques de plantation

Les premières plantations de café (variétés hautes) avaient été faites à des écartements de 2,5 m x 2,5 m et de 2,5 m x 2,0 m. Les trous de plantation de caféiers de 60 cm x 60 cm x 60 cm étaient recommandés pour des sols profonds et meubles. Il était par contre peu indiqué de planter le caféier en sols peu profonds ou compacts. L'apport du fumier à raison de 10 à 20 kg/trou de plantation était bénéfique.

Plus tard, il a fallu vérifier si l'on pouvait accroître le rendement du café en augmentant le nombre de plants/ha. Les essais conduits en tiges uniques à Rubona ont montré que les écartements de 2 m x 2 m soit 2 500 plants/ha ou de 2,0 m x 1,5 m soit 3 333 plants/ha étaient plus adéquats. De tels écartements assuraient une production de café plus élevée et réduisaient la prolifération de mauvaises herbes, ce qui diminue les coûts d'entretien (29). Un autre essai a montré que la densité de 3 333 caféiers/ha assurait de meilleurs rendements/ha alors que la densité de 2 500 caféiers/ha donnait une meilleure production par caféier. Pour les caféiers nains, une courbe théorique ajustée de production de café a montré qu'à Rubona, la densité optimale de plantation se situait à 3 880 plants/ha (18).

La supériorité des densités élevées a été encore confirmée par les résultats obtenus à Rubona sur caféiers en multicaulie (tableau 2). Les densités de 2 886 et de 3 770 plants/ha en triangle ont produit en fin du premier cycle de production (5 ans de récoltes), respectivement 17,3 et 11,4% de plus que la production de la densité de 2 500 plants/ha en carré actuellement utilisée.

Tableau 2
Production cumulée de café parche (variété Jackson 2/1257) depuis 1989 à 1993 à Rubona

Ecartement (m) et dispositif	Densité caféiers/ha	Rdt kg /ha café parche	Rdt kg/ arbre	% témoin (2 500kg)
2,5 X 2,0 rectangle	2000	2397	1,199	98,7
2,0 X 2,0 carré	2500	2428	0,971	100,0
2,5 X 1,5 rectangle	2666	2370	0,889	97,6
2,0 X 2,0 triangle	2886	2848	0,985	117,3
2,0 X 1,5 rectangle	3333	2143	0,643	88,4
1,75X 1,75 triangle	3 770	2705	0,715	111,4
PPDS 5%		416		
CV %		9		
ET		218		

Couverture du sol dans les caféières

Différents types de couverture à savoir, "clean weeding" ou absence totale de couverture, couverture vivante obtenue par installation de légumineuses herbeuses ou arbustives entre les lignes de caféiers, couverture sarclée où les plantes adventices sarclées servent d'engrais vert (sarclage sélectif), paillage par matériel végétal collecté de l'extérieur, ont été testés. Il a été trouvé que les types de couverture à adopter dépendent des conditions écologiques des sites. Là où la sécheresse n'est pas un facteur limitant, le paillage du sol était facultatif et son effet dans l'augmentation de la production par rapport à celui du sarclage intégral n'était ni notoire ni économique. Une culture intercalaire de légumineuses fauchées plusieurs fois pouvait maintenir une production satisfaisante de café (23). Par contre, la couverture vivante et la couverture sarclée peuvent causer la concurrence hydrique avec le caféier dans les zones à déficit hydrique (<1 500 mm d'eau, cas général du Rwanda). Dans ces dernières conditions, le paillage permanent est le mode de couverture qui convient. Appliqué correctement en quantité suffisante sur sol

encore frais, il assure une bonne économie en eau du sol en retardant l'évaporation (22), ce qui permet une bonne maturation des fruits en saison sèche. Par contre, en cas de faible pluviométrie, le paillis peut intercepter la pluie et limiter son arrivée au sol.

D'après Tian (30), le paillis protège le sol contre le compactage et la destruction des agrégats par la pluie; en se décomposant, il enrichit le sol en humus. Cet humus contribue à l'amélioration de la structure du sol. Le paillage contrôle efficacement l'érosion, même sur les terres en pentes sans structures anti-érosives appropriées (28). D'autres techniques pouvant servir dans le contrôle de l'érosion dans les caféières sont:

(a) des haies vives de *Leucaena* sp., taillées périodiquement ou d'autres arbustes tolérant la coupe et se régénérant facilement (exemple: *Glicidia* sp., *Calliandra* sp., *Vernonia* sp.);

(b) des aménagements en banquettes espacées de 10 à 15 m et plantées avec du *Setaria* sp. ou du *Tripsacum* sp.;

(c) des plantations d'arbres agroforestiers non concurrents comme *Grevillea robusta* A. Cunn., *Cedrela odorata* P. Browne, *Acrocarpus* sp., *Albizia* sp. et *Erythrina* sp.

Selon Coste (3), le paillage retarde la croissance des mauvaises herbes, atténuant ainsi la concurrence pour l'eau et pour les éléments minéraux nutritifs. Il favorise le développement des racines de caféier dans les couches superficielles du sol, de l'ordre de 40% de poids des racines primaires et de l'ordre de 50% de poids des racines secondaires. Il protège le sol contre les variations brusques de températures du sol (22), et de ce fait la minéralisation de la matière organique est régulière. Il améliore les propriétés chimiques du sol: le paillis végétal en se décomposant, apporte au sol des éléments minéraux tels que le phosphore, le potassium, le calcium, le magnésium et l'azote organique (30). L'humus produit contribue à l'amélioration du complexe adsorbant du sol. Le paillis devient ainsi un préalable indispensable à la bonne utilisation des engrais minéraux (6).

Les effets du paillage sur le sol influencent la croissance et la productivité du caféier. Les caféières bien paillées montrent un bon aspect végétatif et leur production de café peut doubler et même tripler par rapport à celle des caféières non paillées (29). Les résultats obtenus sur huit cultivars de café à Rubona (tableau 3) confirment cette action favorable du paillis sur la productivité du café. Le paillis a augmenté la production de 2 à 6 fois par rapport aux parcelles non paillées (17).

Les caféiers paillés ont généralement de plus gros grains et ont un rapport café marchand/cerises plus élevé (14,5% contre 13,2% en moyenne pour les caféiers non paillés). Les caféiers paillés ont produit 65% de refus au tamis de 5 mm contre 35% pour le sarclage intégral (29). L'apport élevé de potassium par le paillis peut cependant provoquer une carence relative en magnésium qui altère la qualité du café: la couleur cru devient brunâtre, la liqueur moins acide et l'aspect

Tableau 3
Effet du paillage sur la productivité de 8 cultivars à Rubona

Variétés	Production moyenne de cerises kg/arbre	
	Sarclage à nu, moyenne de 8 ans	Paillis permanent*, moyenne de 5ans
Amarello Rubona	1,26	5,42
Kent du Kenya	1,55	4,77
Blue Mountain Kenya	1,15	5,53
Blue Mountain Nilotica	1,82	5,77
Jackson Hybrid Kenya	1,24	8,15
Mysore Kenya	1,53	5,05
Bourbon Kenya	2,03	4,88
Mokka Kenya	1,85	7,15

*: Quantité et types de paillis non précisés.

du café torréfié terne (21).

Paillage dans la caféiculture au Rwanda

L'état de pluviométrie en région caféicole du Rwanda fait du paillage permanent la meilleure technique culturale pour la production satisfaisante du caféier arabe. Cette constatation est appuyée par plusieurs résultats de recherche. A Rubona, les caféiers Mibirizi plantés en 1943 à la densité de 1 333 caféiers/ha et paillés en permanence ont donné un rendement supérieur à celui des caféiers sous couverture vivante (tableau 4). De même, une jeune caféière de variété Jackson plantée en 1984 à la densité de 2 500 arbres/ha et sous paillis permanent a donné de 1986 à 1991, un rendement moyen annuel de café parche (0,354kg /arbre) supérieur à celui des caféiers cultivés avec *Flemingia* sp (0,220kg /caféier) (17). La couverture au moyen de *Desmodium* sp. présentait cependant quelques avantages. Cette légumineuse couvre bien le sol, se régénère facilement après la coupe et produit une matière végétale importante, de l'ordre de 40 t/ha/an (18). A défaut de paillis et dans les zones à déficit hydrique modéré, la couverture par *Desmodium entortum* et *D. uncinatum* Desv. fauchée avant la saison sèche donne des résultats satisfaisants (23). *Flemingia* sp. couvre aussi bien le sol et se régénère facilement après la coupe mais son installation par semis présente des difficultés. Sa production moyenne annuelle en matière végétale est évaluée de 10 à 15 t/ha.

Tableau 4
Rendement moyen en café parche des caféières Mibirizi sous différents types de couverture du sol (moyenne de 1982 à 1987).

Objets	kg/caféier	kg/ha	% témoin
Paillis	1,340	1 717	100
Desmodium	1,130	1 508	85
Stylosanthes	1,030	1 355	77
Mucuna	0,906	1 310	74
Soya fourrager	0,930	1 238	69

Haarer (14) et Snoeck (29) avaient aussi montré en se fondant sur des résultats d'essais menés au Kenya et au Rwanda (tableau 5) l'effet bénéfique et supérieur du paillis.

Tableau 5
Effet des différents types de couverture des caféières au Kenya et au Rwanda (respectivement 5 et 10 ans d'observation).

Mode de couverture	Production café en % du témoin	
	Kenya (moyenne de 5 ans)	Rwanda (moyenne de 10 ans)
Paillis permanent	100	100
Sarclage intégral	80	52
Plantes de couverture	56	68

Les caféiers sous paillis permanent ont presque doublé la production par rapport à celle des caféiers sous sarclage intégral. Les légumineuses annuelles et celles vivaces plantées dans les caféières puis fauchées et utilisées comme paillis pendant la saison sèche, ont réduit le rendement du café. Le sarclage sélectif où les graminées sont enlevées laissant en place les dicotylées s'est également révélé moins efficace que le sarclage intégral.

Les matériaux les plus communs pour le paillage des caféières au Rwanda sont les feuilles et stipes de bananier, les produits de coupe de haies anti-érosives, le *Tripsacum* sp, le *Pennisetum* sp, les chaumes de maïs et de sorgho, les fanes de haricot, l'*Eragrostis* sp., le *Cyperus papyrus* L. et le *Themeda triandra* Forssk. *Themeda triandra* avec sa production moyenne annuelle (en 2 coupes) de 36 t/ha de matière verte peut aisément couvrir les exportations d'une tonne de café marchand/ha (25). L'analyse chimique de cette graminée a montré que 33 t de sa matière verte apportent 53 kg N, 3 kg P et 78 kg K, ce qui représente une quantité suffisante d'éléments nutritifs pour compenser les exportations d'une tonne de café marchand (39 kg N, 5 kg P et 37 kg K)/ha.

Le paillis est généralement un mélange de plusieurs matériaux. Sa composition chimique est variable. Selon ISAR (18), 15 à 20 t de paillis sec apportent 120 kg N, 8kg P, 107 kg K, 18 kg CaO et 30 kg MgO. En général, la teneur en matière sèche du paillis varie entre 10 et 15% mais peut atteindre 20 à 25% suivant l'âge des végétaux et la saison. La teneur en azote varie entre 1 et 3%, celle du potassium entre 0.5 et 2% tandis que les concentrations du phosphore et du calcium sont très faibles. Selon Mitchell (21), l'apport en potassium peut être important avec certains types de paillis jusqu'à atteindre des valeurs de l'ordre de 580 kg K/ha. Cet apport massif du potassium peut provoquer une déficience relative en magnésium. Toutes ces considérations montrent que la quantité de 20 kg de matière sèche/caféier/an soit 40 t/ha prescrite pour un paillage adéquat est bien suffisante.

L'époque idéale au Rwanda pour pailler le caféier en vue de lui permettre de bénéficier de l'économie d'eau du sol se situe aux mois de décembre et de mai précédents la petite et la grande saison sèche. Malheureusement, le paillage est fait tard en juillet et août. Ce retard s'explique par la disponibilité des résidus de récolte (chaumes de sorgho, fanes de haricot) seulement en saison sèche dans la plupart des régions

à café, par l'insuffisance d'autres types de matériaux de paillage et par l'éloignement des caféières par rapport aux sources de paillis.

D'après la C.N.A. (1), l'insuffisance du paillage se justifie par:

- l'insuffisance des terres où installer les plantes à paillis;
- la diffusion inadéquate des plantes à paillis;
- l'inventaire incomplet des ressources réelles du paillis (quantité, type de paillis, répartition des parcelles de production);

- la concurrence pour l'utilisation des matériaux de paillage (compost/paillis pour les cultures vivrières, matériel combustible, fourrage).

Tout cela fait qu'un effort considérable est à déployer par le caféiculteur pour réaliser un paillage adéquat de sa caféière.

Quelques solutions alternatives au paillage pourraient être les suivantes:

- le paillage alternatif d'un interligne sur deux, qui réduit la quantité de paillis à utiliser sans pour autant réduire son efficacité;

- l'utilisation d'un film de plastic noir qui peut assurer une excellente conservation de l'eau dans le sol durant la saison sèche. Le prix de ce plastic est cependant relativement élevé par rapport au revenu moyen des paysans rwandais;

- l'utilisation des plantes intercalaires de couverture (*Desmodium* sp, *Flemingia* sp, *Leucaena* sp etc.) dont les produits de fauche avant la saison sèche peuvent être utilisés comme paillis. Il faut cependant rappeler que la production du paillis dans la caféière s'accompagne de concurrence pour l'approvisionnement en eau, en éléments nutritifs et en lumière. Aussi, les plantes de couverture ne remplacent pas le paillis mais servent à en réduire la quantité nécessaire à apporter de l'extérieur.

Ombrage dans les caféières

Il a été rapporté que les arbres d'ombrage tels qu'*Albizzia stipulata* Benth, *Leucaena leucocephala* Benth et *Erythrina abyssinica* DC. jouaient dans certains pays un rôle bénéfique dans la thermorégulation et l'enrichissement du sol en éléments nutritifs et n'exerçaient qu'une faible concurrence hydrique envers les caféiers. Néanmoins, les résultats d'un essai d'ombrage planté à Rubona en 1936 avec diverses plantes (bananiers, *Grevillea robusta* A. Cunn., *Albizzia stipulata* Benth, *Cassia spectabilis* L. et *Gliricidia maculata* (H.B.K.) Steudel) ont abouti à déconseiller l'ombrage dans les caféières au Rwanda à partir de 1943-1944 (26). L'ombrage diminuait la production en général et seul l'ombrage d'*Albizzia* sp. pouvait être toléré. Les bananiers diminuaient de 17% le rendement de café par rapport à celui des caféiers non-ombrés. Même plantés comme ombrage temporaire, les bananiers épuisaient le sol et pompaient 2 fois autant d'eau et d'éléments minéraux que les caféiers. L'idéal était donc de planter sans ombrage pour autant qu'il s'agisse des variétés de café résistantes à la brûlure et que la protection du sol soit assurée par le paillage (29).

Tableau 6
Production de café marchand d'un essai de taille de formation du caféier Mibirizi planté à Rubona en 1936

Systèmes de conduite du caféier	Rendement moyen (kg/ha/an) de café marchand, par période de 5ans			
	0-5 ans	5-10ans	10-15ans	en 15ans
Conduite en Agobiada multicaule	64	296	517	292
Conduite en multicaulie + étêtage	41	304	448	264
Conduite en unicaulie + écimage à 1m (en cylindre)	134	413	184	244
Conduite en unicaulie + écimage à 1,8m (cylindre)	153	449	258	287
Conduite en unicaulie + écimage à 1m (échelons)	116	410	183	236
Conduite en unicaulie + écimage à 1,8m (échelons)	147	406	187	247

Types de taille du caféier

Le caféier est taillé pour éliminer les branches faibles susceptibles de produire de petites cerises, empêcher la production hors saison, faciliter le contrôle efficient des maladies et insectes et pour rendre aisée la récolte (13), bref pour optimiser la quantité et qualité de bois productif. Au Rwanda, les résultats sont disponibles pour trois types de tailles.

Taille de formation

La taille de formation est pratiquée aussi bien sur le système de conduite de caféier en tige unique (unicaulie) que sur celui en tiges multiples (multicaulie). La conduite en tiges multiples exige une taille de formation précoce qui se fait de la manière suivante:

Dix mois après la plantation, les jeunes caféiers sont arqués afin de provoquer le départ des gourmands à la base du tronc. Une présélection de quatre à cinq rejets est faite. Lorsque les rejets atteignent 50 cm de hauteur, les trois meilleurs sont conservés tandis que les autres et la tige-mère sont supprimés. La méthode agobiada (ou arcure) est la plus adaptée pour provoquer la formation des tiges multiples chez le caféier.

Les résultats d'essais effectués à Rubona ont montré la supériorité de la multicaulie par rapport à l'unicaulie au point de vue de la production de café. Cela a conduit à la généralisation du système de taille en tiges multiples chez les caféiculteurs. Il faut cependant noter que la supériorité de la taille multicaule n'apparaît pas au cours des premières années de production. D'après les résultats d'un essai avec caféier Mibirizi planté à Rubona en 1930, c'est à partir de la 12ème année que les rendements des caféiers en taille multicaule ont commencé à dépasser ceux des caféiers en taille unicaule. La taille de formation en tiges multiples retardait l'entrée en production. Ce retard persistait d'autant plus longtemps que le recépage était pratiqué de manière brutale (29). Un recépage progressif qui maintenait un tire-sève pendant deux ans (pratique actuelle),

permettait aux caféiers multicaules de rattraper l'avantage de production des monocauls avant la 12ème année. Un essai de confirmation avec la même variété (parcelle élémentaire: 2,1 ares; densité de plantations de 2 000 plants/ha) a été planté à Rubona en 1936. Les résultats, présentés par période de 5 ans (tableau 6), ont montré que la perte de production due à la taille multicaule est compensée entre la 10ème et 15ème année de production.

Sur 15 ans de récolte, la production moyenne tend à s'équilibrer. Pour cette même durée, la conduite en tiges multiples par l'étêtage en champ réduit le rendement du café à 90% du rendement moyen des caféiers taillés en simple agobiada (29). Coste (2) a cependant mentionné l'inconsistance des résultats obtenus dans deux pays (Kenya, Tanzanie) et a conclu qu'à égalité de rendements, les frais étaient sensiblement moins élevés pour la conduite multicaule. La conduite en tiges multiples est plus simple et exige un minimum de connaissances techniques de la part du planteur. Elle permet une importante économie en main d'oeuvre et elle assure la fluctuation des rendements annuels beaucoup moins prononcée.

Malgré ces avantages, le retard dans l'entrée en production pour les caféiers en taille multicaule a ces dernières années, conduit certains caféiculteurs rwandais à pratiquer de nouveau la conduite en tige unique. Cette situation a poussé la recherche à retravailler sur les techniques de taille de formation. La taille de formation par arcure (fausse agobiada) a été comparée depuis 1982 à la plantation de 3 plants par trou et à la plantation inclinée à 30° laissant croître 2 rejets et la tige-mère. Les premières observations sur deux variétés (tableau 7) ont montré que les trois méthodes ne diffèrent pas beaucoup. Le désavantage d'utiliser plus de plants à l'installation dans la méthode de trois plants/trou était supprimé grâce à la production plus rapide de rejets pour la méthode de plantation inclinée.

Tableau 7
Production de café parche de deux variétés soumises à trois types de taille de formation à Rubona de 1982 à 1989

Méthodes de taille	Variété Jackson		Variété Caturra	
	Rendement moyen (kg/ha) de 7 récoltes	% par rapport à l'Agobiada	Rendement moyen (kg/ha) de 7 récoltes	% par rapport à l'Agobiada
1. Fausse Agobiada	1215	100	1641	100
2. Plantation inclinée	1335	110	1770	108
3. Trois plants/trou	1343	110	1723	103

Taille de production ou d'entretien

La taille d'entretien consiste en l'ébourmandage périodique. A la fin de récolte en saison sèche, les branches inférieures tournées vers le bas et ayant produit au moins 2 fois sont considérées comme épuisées et doivent être coupées.

Taille de régénération

Cette taille a pour objet le renouvellement progressif des tiges et rejets en temps opportun, généralement tous les 5 à 7 ans, par le remplacement des axes verticaux qui servent à maintenir la pérennité de la production. Elle consiste en la suppression de vieilles tiges et en leur substitution par les jeunes tiges issues de la souche-mère. A la première étape, 2 tiges sont coupées en laissant une tige-mère qui sera coupée l'année suivante après la récolte. A cette 2ème phase, les 3 meilleurs rejets sont choisis pour le cycle de production suivant.

Il est difficile de connaître le moment opportun pour le recépage des caféiers compte tenu du cycle de production des arbres. La période la plus favorable au recépage se situe à la 4ème ou à la 5ème année après la récolte maximale. On obtient généralement une très faible récolte à partir de la 7ème année du cycle de production. La présence d'une bonne floraison sur les vieilles tiges tente le planteur de différer la régénération de sa caféière. C'est la raison pour laquelle des caféières de 8 ans et même de 10 ans non régénérées se rencontrent à travers tout le Rwanda.

Fertilisation minérale du caféier

Fertilisation des germoirs et pépinières

Une terre argilo-sablonneuse est la plus indiquée pour le germoir. L'incorporation du fumier a provoqué un effet dépressif sur le pouvoir germinatif du café à cause du développement des microorganismes parasites de la semence (29). L'engrais minéral à dose unique de l'ordre de 5 g d'un mélange contenant 2/3 d'azote et 1/3 de potassium appliqués en pépinière au pied du caféier âgé de 9 mois a induit un effet bénéfique (17).

Fertilisation en champs des caféiers

a) Généralités

Le caféier est une culture qui consomme de grandes quantités d'éléments minéraux N, P, K, Ca et Mg. Une tonne de café marchand exporterait 30-60 kg N, 3-7 kg P, 33-54 kg K, 4-10 kg CaO et 4-64 kg MgO (12). Le grain et la coque contiennent beaucoup de N et K et des quantités modérées de Ca, S, Mg et P. L'effet de l'azote est immédiat contrairement aux effets du K et P souvent tardifs et décelables lors de l'évaluation du rendement. La condition préalable à une fertilisation minérale efficace du caféier est l'application correcte d'autres méthodes culturales (sarclage, paillage et taille bien faits, contrôle des maladies et pestes). Les engrais minéraux sont directement appliqués à 30 cm autour de l'arbre au cours de la saison pluvieuse. Après l'apport d'engrais, le sol doit être directement couvert de paillis. La formule NPK 20.10.10 utilisée au Rwanda pourrait ainsi être remplacée par l'azote seul en présence du paillage qui fournit le phosphore et le potassium.

La fertilisation des cultures doit également tenir compte du type de sol (27). En sols fertiles, la fumure n'augmente pas les rendements, puis l'excès d'azote peut être néfaste en favorisant dans le cas des caféiers, une croissance végétative excessive au détriment de la production des cerises. Pour les sols moyennement fertiles, la fertilisation organique ou minérale, ou organo-minérale est indiquée et augmente sensiblement le rendement. En sols peu ou pas fertiles, la fumure minérale seule est peu indiquée: il est plutôt préférable de tester la fumure organique et organo-minérale. Beaucoup de sols du Rwanda étant acides (4), ils requièrent de préférence les engrais les moins acidifiants possibles. Toutes ces observations ont servi dans l'interprétation des résultats des essais de fertilisation menés sur le caféier au Rwanda depuis 1955 jusqu'en 1993.

b) Fertilisation minérale des caféiers en stations de recherche (INEAC-ISAR)

De 1957 à 1967, des observations sur la production de jeunes caféiers ont été effectuées à Rubona dans un essai factoriel NPK à 3 niveaux. Cet essai a été réalisé avec la variété Mokka plantée à la densité de 1 600 caféiers/ha et sans apport de paillis. Il a permis de mettre en évidence un effet hautement significatif et linéaire de l'azote, un effet bénéfique du potassium, et un effet non significatif du phosphore. La meilleure combinaison était constituée par une formule nitro-potassique comprenant 100kg N/ha et 100kg K/ha. L'application de cette formule a permis d'obtenir une augmentation de production de 71% par rapport au témoin général de l'essai (0-0-0) qui a produit en moyenne 585 kg/ha/an (tableau 8). La fumure nitro-potassique et l'azote ont induit un effet bénéfique notoire. La production de café est d'autant plus élevée que la dose d'azote appliquée est plus forte.

L'effet de N et de K fut ensuite étudié de façon approfondie, mais cette fois en présence du paillis permanent, sur la variété Jackson 2/1257 plantée à la densité de 2 000 caféiers/ha. Les deux éléments furent combinés dans un essai factoriel NK à 4 niveaux équi-

Tableau 8
Rendement moyen de café parche (var Mokka) pendant 9 ans dans un essai factoriel NPK sans apport de paillis à Rubona

Traitements	kg de fertilisants /ha/an	kg/ha/an de café parche	% par rapport à la dose 0
NO	0	608	100
N1	50	732	120
N2	100	804	132
PO	0	704	100
P1	35	713	101
P2	70	726	103
KO	0	670	100
K1	60	696	104
K2	120	776	116
Témoin général	0-0-0	585	100
N + K	100 + 120	1005	171

Source: ISAR, Rapport Annuel 1967.

distants. L'azote était apporté sous forme de sulfate d'ammonium (0; 126; 252; 378 kg N/ha/an) et le potassium sous forme de sulfate de potassium (0; 80; 159; 239 kg K/ha/an).

Les observations réalisées sur 7 années de récolte (1968 à 1974) ont montré un effet hautement significatif dû à l'azote. L'azote et le potassium appliqués ensemble ont généré une interaction positive significative sur la production des jeunes caféiers. L'effet de la fumure ne s'est réellement manifesté qu'à partir de la 3ème année de production. Cette observation pourrait être expliquée par le fait que la fumure agit indirectement sur les rendements à travers une meilleure activité végétative. Cette hypothèse a été étayée par les corrélations positives hautement significatives qui ont été établies entre le poids des récoltes et le poids des produits de taille pour plusieurs essais à Rubona (18). L'azote est donc l'élément fondamental dans la fertilisation du caféier arabica; le potassium produit un effet bénéfique lorsque la caféière n'est pas bien paillée et un effet négligeable en présence du paillis; le phosphore n'avait guère d'effet. Ces constatations sont cependant à considérer avec réserve eu égard aux caractéristiques pédologiques rencontrées à Rubona où le sol sous essai est un Ferralsol humifère légèrement acide et bien saturé (pH H₂O: 5,7 à 6,3 et taux de saturation en base: 68%).

Un essai de vérification a été ensuite conduit à Rubona dans des champs de caféiers paillés. Quatre niveaux d'azote uréique (0; 150; 300; 450 kg d'urée 46%/ha/an) étaient appliqués de manière fractionnée (trois fractions: une en octobre, une autre en février et une 3ème en mai) sur une jeune plantation de caféier Jackson. Les résultats ont montré que les 3 niveaux d'N étaient équivalents mais différaient significativement du témoin sans engrais (18). La dose de 150 kg/ha/an était ainsi la plus rentable.

Puisque les sols du Rwanda sont à majorité acides, l'azote sous forme d'urée et de sulfate d'ammonium (acidifiant) a été également testé à Rubona à 2 niveaux (100 et 150 g urée, 210 et 315 g NH₄S₀₄ par arbre) et en 2 applications (mars et novembre). Les résultats de 6 ans de récoltes ont mis en évidence que 150 g d'urée ont augmenté le rendement moyen de café de 46% par rapport aux autres niveaux. L'urée peut donc facilement être utilisée dans la fertilisation du caféier. Les résultats (7 années d'observation) d'un essai de dose fractionnée d'un engrais nitro-potassique à Rubona ont montré une différence significative et un avantage en faveur du fractionnement, ce qui justifie la recommandation de 2 applications/an.

Compte tenu de l'importance de l'azote dans la fertilisation du caféier, l'ISABU a testé en 1979, 7 doses d'azote (0, 60, 90, 120, 150, 180 et 210 kg N/ha/an) sur le cultivar Jackson 2/1257, paillé et planté à la densité de 2 666 pieds/ha. Les productions moyennes de café parche calculées sur 6 années de production (1981 à 1986) ont mis en évidence l'effet significatif de l'azote. La production du témoin (539 kg/ha/an) est inférieure à celles des autres doses qui sont égales entre

elles. Le gain de production le plus élevé est obtenu à la dose de 150 kg N/ha (784 kg/ha/an). Dans les conditions de l'essai, la rentabilité maximale de l'application d'azote sur jeunes caféiers est atteinte à la dose de 60 kg N/ha/an avec un rendement de café de 697 kg/ha/an. La dose de 210kg N n'induit qu'une production de café de 678 kg/ha/an (16).

Une étude réalisée par Landa et al. (19) sur l'évolution de l'azote minéral appliqué dans une plantation de jeunes caféiers à Kayanza, a montré qu'après un épandage d'urée, l'appauvrissement en azote de la couche 0 - 10 cm du sol s'effectuait au rythme de 3,12% par jour. Cet appauvrissement peut être ajusté à une courbe de diminution exponentielle. Un mois et demi après l'application, le pourcentage d'azote présent dans cette couche de sol n'était plus égal qu'à 20% de la teneur d'au départ. Les 80% manquant avaient été prélevés par la plante ou lixiviés. Les auteurs ont alors conseillé de fractionner les apports annuels de fumure azotée en 4 applications séparées de 6 semaines (mi-octobre, début décembre, mi-janvier et début-mars) afin de pouvoir répondre continuellement aux besoins physiologiques des caféiers.

Récemment, l'ISAR a testé l'effet de la restitution des pulpes de café sous forme de compost à la caféière en production. Cet essai a mis en évidence l'effet bénéfique de l'application de 2 kg/caféier/an d'un compost bien décomposé, vieux de 2 ans. Ce traitement se traduit par un gain de production de l'ordre de 13% (17).

c) Fertilisation minérale en champs des paysans

Depuis 1958, de nombreux essais ont été conduits en champs des caféiculteurs, où différentes variétés (Mokka, Mibirizi, Jackson etc.) étaient plantées à des densités variant de 1600 à 2500 plants/ha. Ces essais ont été répartis en trois grandes phases: 1958-1961; 1962-1966; 1967-1993. Ils visaient à étudier la réaction des caféiers à la fumure dans des conditions pédologiques et écologiques très diversifiées et souvent plus réalistes que les conditions optimales rencontrées en stations de recherche. Les paramètres observés étaient le développement des caféiers, la vigueur de croissance de l'arbre et sa résistance à la défoliation en saison sèche, la maturation des cerises, les caractéristiques technologiques du café (rapports café parche/café cerise, café marchand/café parche, granulométrie des fèves) ainsi que les maladies. Les résultats obtenus ont fait l'objet de plusieurs publications dont les conclusions principales sont résumées ci-dessous.

La première phase (1958-1961) a permis de déterminer les zones caféicoles répondant favorablement à l'application des engrais minéraux. Les données de rendement de café et le prix du café et de l'engrais ont servi à la subdivision de la région caféicole en deux catégories, à savoir: les zones avec réponse économique à la fumure minérale et les zones avec réponse non économique à la fumure minérale (10).

La deuxième phase (1961-1966) avait pour objectif de

Tableau 9
Productions moyennes annuelles du café parche et formules minérales préconisées (période 1958-1966).

Sous-zones (voir carte 1)	Rendement en café parche (g/arbre/an)				Dose engrais g/caféier/an à appliquer
	1959-1961		1962-1966		
	Sans engrais (100%)	Supplément de production due à l'utilisation des engrais	Sans engrais (100%)	Supplément de production due à l'utilisation des engrais	
1*	810 g	19%	600 g (1)	150% (1)	500-700
2*	680 g	33%	600 g	75%	500
4a **	576 g	21%	720 g (1)	69% (1)	500
4b **	630 g	15%	840 g	38%	500

* engrais NPKMg 10.10.20.5; ** engrais NPKMg 20.10.10.5; (1) avec en plus 100g chaux/caféier tous les trois ans.

préciser les formules et les doses de fumures à appliquer et d'approfondir l'étude de la fumure minérale dans les zones où subsistaient les problèmes importants tels que les carences minérales, la détermination des doses économiques, les réponses nulles ou insuffisantes à la fumure minérale. Le choix des sites expérimentaux fut principalement dicté par leur importance dans la production du café et par les résultats obtenus durant la première phase. Le tableau 9 résume les principales observations réalisées au cours des deux premières phases et les formules minérales qui ont été préconisées après l'analyse des résultats (6).

L'utilisation des engrais minéraux améliorerait donc la production du café. Dans tous les terroirs où les essais furent installés, l'emploi de fumure a favorisé le développement des caféiers qui était caractérisé par plus de feuillages, une coloration plus foncée, une faible défoliation en saison sèche et par une croissance plus vigoureuse de l'arbre. La maturation des cerises était légèrement retardée. Les caractéristiques technologiques du café n'étaient pas influencées. Aucun effet de l'engrais sur l'antracnose (*Colletotrichum coffeanum* Noack) n'a été observé. Par contre, l'application de l'engrais a réduit l'intensité de l'attaque de la rouille (*Hemileia vastatrix* Berk et Br.) et du shedding des fruits.

Les sols dérivés de granites présentaient la meilleure réaction à la fumure, suivaient ensuite ceux dérivés de schistes et de quartzites et enfin ceux issus de roches basiques. Il a été également noté que les sols qui répondent le mieux, en valeur absolue, à l'apport de l'engrais minéral sont ceux où les caféiers plantés en parcelles témoin donnent des rendements relativement élevés.

L'effet du potassium s'était révélé beaucoup plus marqué et avait même dépassé dans certains cas celui de l'azote. La carence magnésienne (visible aux mois d'avril-mai) affectait surtout les zones de Kibuye (zone 2), Cyangugu (zone 3) et de la boutonnière granitique (sous-zone 4a). Ces signes de déficience apparaissaient dès que la teneur en magnésium dans la couche de 0 à 20 cm du sol était inférieure à 1,5 meq/100 g de sol (10). La carence magnésienne pouvait être corrigée par l'apport annuel de 100 g de kiesérite par arbre ou par la formule contenant du magnésium (9). Pour cela, les formules NPKMg 10.10.20.5 et NPKMg 20.10.10.5 ont été recommandées selon les zones caféicoles (6).

Des carences en manganèse ont été également observées sur les sols dérivés de cendrées volcaniques récentes du Nord du Rwanda. Ces sols sont caractérisés par une forte teneur en allophane, un pH légèrement acide (6,0 à 6,5) et par une forte capacité d'échange cationique. Ces conditions favorisent l'immobilisation du manganèse. Une pulvérisation de sulfate de manganèse en solution de 0,2% sur la surface foliaire faisait disparaître la carence manganique pour une période de deux à trois mois (26).

La 3ème phase (1967-1993) était constituée par des essais-ISAR en préfectures Butare, Gitarama et Kibungo. Les résultats de cette phase ont montré que l'application d'une fumure NPK 20.10.10 à raison de 400 g/arbre/an a provoqué, au cours de 7 ans, une augmentation de production significative de café parche (var Jackson et Mibirizi) de 61% et de 30% respectivement autour de Rubona (production de la parcelle témoin: 600 kg/ha) et au Sud Mayaga (production du témoin: 850 kg/ha), en préfecture Butare (18).

Tableau 10
Production moyenne de café parche et bénéfice réalisé dans un essai de fertilisation à Kibungo
(densité de plantation: 2 000 plants/ha)

Fumure/caféier	Dose de fumure NPK	Café parche		Coût de l'engrais (\$ US/ha)	Supplément de marge brut/ha	Rapport valeur/ coût
	25.13.13/ha	kg/ha	%			
Témoin	-	833	100	-	-	-
60g NPK 17.17.17 + 20g urée	160kg	913	110	48	80	1,7
120g NPK 17.17.17 + 40g urée	320kg	1 098	132	96	265	2,8

Une telle fertilisation n'était rentable que si le prix d'un kg d'engrais et celui d'un kg de café parche sont de 0.32 \$ US et 1.00 \$ US respectivement. Les résultats obtenus en zone Kibungu dans une plantation à densité de 2 000 caféiers/ha (tableau 10) ont montré que l'engrais minéral de formule NPK 25.13.13 à la dose de 160 kg/ha sous forme de NPK 17.17.17 + Urée 46% accroît aussi la production du caféier. Cette augmentation de production n'est rentable qu'au prix de 0.3 \$ US/kg d'engrais NPK ou d'urée et de celui d'un 1.00 \$ US/kg de café parche.

Conclusion générale

La caféiculture au Rwanda se pratique en conditions de pluviométrie inadéquate et sans ombrage, sur des sols à fertilité fort variable. Les techniques d'installation et le régime de taille des caféiers ont été mis au point mais ne sont pas totalement appliqués par les caféiculteurs. La densité optimale de plants/ha varie en fonction de types de variétés: elle est plus ou moins égale à 2 888 pour les variétés hautes et à 3 800 pour les variétés naines. Le paillage est la pratique la plus appropriée pour la bonne production du café arabica au Rwanda. Il est malheureusement fait de manière inadéquate. Comme la disponibilité du paillis est très limitée, des techniques telles la densité optimale de plants/ha, le paillage alternatif d'un interligne sur deux etc. qui réduisent la quantité de paillis requis toute en assurant les bienfaits du paillage devraient être adoptées. La couverture vivante de même que les arbres d'ombrage n'ont pas donné des résultats satisfaisants. L'apport d'engrais minéral et de compost de pulpes de café peut améliorer la production du café, particu-

lièrement dans les caféières bien paillées. L'azote et le potassium paraissent de très loin les éléments les plus importants surtout si la caféière n'est pas paillée ou est paillée insuffisamment. Les fumures N.P.K. et N.P.K.Mg à dominance d'azote et de potassium sont donc recommandées, la dose requise étant fonction des types de sols et du niveau de gestion de la parcelle. La rentabilité de la fertilisation minérale dépend simplement des conditions de marché du moment.

Recommandation

Les techniques pour une production satisfaisante du café sont connues. Le problème réside dans leur applicabilité par le caféiculteur rwandais. Pour amener ce caféiculteur à déployer tous les efforts en vue de promouvoir la culture du café, les actions suivantes devraient être entreprises et/ou renforcées:

- sensibiliser les caféiculteurs sur l'importance du café dans l'économie du Rwanda et sur l'intérêt d'appliquer correctement les méthodes de gestion des caféiers et de production du café;
- motiver l'agriculteur par un prix de café réellement rémunérateur de sorte que par exemple, la culture du café soit aussi rentable que celle du bananier ou de la pomme de terre;
- encadrer parfaitement le caféiculteur et mettre à sa disposition les intrants nécessaires et à des coûts bien ajustés;
- finalement, collaborer très étroitement avec le caféiculteur dans la recherche des possibilités d'assurer un paillage adéquat des caféiers;
- assurer une bonne recherche d'accompagnement dans cette caféiculture.

Références bibliographiques

1. C.N.A. (Commission Nationale d'Agriculture), 1992. Les cultures industrielles. Présidence de la République: Kigali Rwanda.
2. Coste, R. 1955. Les caféiers et les cafés dans le monde. Tome 1er: Les caféiers. Larose, Paris. 381 pp.
3. Coste, R. 1968. Le caféier. Tech. Agric. et Prod. Trop XIV. Maisonneuve et Larose, Paris. 310 pp.
4. CPR, 1992. Carte pédologique du Rwanda. Banque des sols du Rwanda. Minagri-AGCD, Kigali: Rwanda.
5. Delepierre G. & Prévot M. 1978. Disponibilité des terres au Rwanda. Publication Miniplan, Kigali: Rwanda;
6. De Vuyst, P. 1968. La fumure minérale du caféier d'Arabie au Rwanda. Experimentation et pratique. Bulletin Agricole du Rwanda 3: 136-145.
7. De Vuyst, P. 1972. Comparaison des rendements de quelques lignées de *Coffea arabica* à la station de recherches agronomiques de Rubona. Note technique n° 10; ISAR Rubona, Butare. 10pp.
8. De Vuyst, P. 1974. Un exemple de l'essai de fumure minérale sur caféier arabica au Rwanda. Son interprétation et sa portée pratique. Note technique n° 8; ISAR Rubona, Butare. 22pp.
9. De Vuyst, P. & Brion, L. 1968. Le caféier arabica au Rwanda. Bulletin Agricole du Rwanda 2: 59-78.
10. De Vuyst, P. & Paquay, R. 1964. La fumure minérale du caféier d'Arabie au Rwanda et au Burundi. Série technique n° 73. INEAC Yangambi, Bruxelles. 50pp.
11. Djimde, M. (éd.). 1988. Potentiel agroforestier dans les systèmes d'utilisation des sols des hautes terres d'Afrique de l'Est à régime pluviométriques bimodal - Rwanda. Rapport AFRENA NO.1. Nairobi: ICRAF. Kenya.
12. Gaie, W. & Flémal, J. 1988. La culture du caféier d'Arabie au Burundi. Publication du Service Agricole n° 14. AGCD Bruxelles.
13. Gathaara, M.P.H. 1996. Pruning Arabica Coffee: Some physiological aspects to consider. Kenya Coffee Bulletin 717 (61): 2257 - 2259.
14. Haarer, A.E. 1962. Modern coffee production. Leonard Hill, London. 495 pp.
15. ILACO, B.V. (éd.) 1985. Agricultural compendium for rural development in the tropics and subtropics. Elsevier Science Publishers. Amsterdam, The Netherlands. 721 pp.
16. Institut des Sciences Agronomiques du Burundi (ISABU). 1986. Rapport Annuel 1986. ISABU, Bujumbura.
17. Institut des Sciences Agronomiques du Rwanda (ISAR). 1993. Rapport Annuel ISAR 1992. Printer Set, Kigali, Rwanda. pp 146-153.
18. ISAR. Rapports Annuels: 1960, 1961, 1967, 1980, 1982, 1985, 1986, 1991, 1992.
19. Landa, C., Gourdin, J. & Hollebosch, P. 1986. Evolution de l'azote minéral appliqué dans une plantation de jeunes caféiers arabica à Kayanza (Burundi). Publication n° 90. ISABU, Bujumbura. 31pp.
20. Miniplan, 1988. Statistiques agricoles au Rwanda. Miniplan Kigali: Rwanda.

21. Mitchell, W. 1968. Grasses for mulching coffee. Kenya Coffee XXXIII, **393**: 327-335.
22. Mwakha, E. 1987. Interaction in intercropped *Coffea arabica* L. and *Phaseolus vulgaris* L. Ph.D Thesis. University of Nairobi: Kenya.
23. Njoroge, J.M & Mwaka, E. 1983. Observations on the effects of weeding and cover crops on coffee yield and quality. Kenya Coffee **48** (569):219-224.
24. Novosamsky, I., Houba, V.J.G., Van Eck, R. & Van Vark, W. 1983. A novel digestion technique for multi-element plant analysis. Commun. Soil Sci. Plant Anal; **14**: 239-249.
25. Pasteels, A. 1979. Note de synthèse sur les problèmes de paillage des caféiers arabica au Burundi. Rapport annuel technique 1978, annexe n° 6, 14 pp, Carte 2. ISABU, Bujumbura.
26. Planard, A. & Paquay, R. 1961. Quelques observations sur la culture du caféier d'Arabie au Rwanda-Burundi. Bulletin d'information de l'INEAC X, **1**: 9-36.
27. Rutunga, V. & Nsengimana, J. 1990. Essai de synthèse des connaissances acquises sur la fertilité des terres et la fertilisation des cultures au Rwanda(+1960-1990); MINAGRI/FAO, Kigali, Rwanda. 125 pp.
28. Roose, E., Ndayizigiye, F., Sekayange, L. & Nsengimana, J. 1992. La gestion conservatoire de l'eau et de la fertilité des sols: une nouvelle stratégie pour l'intensification de la production et la restauration de l'environnement en montagne. Bulletin Mondial de l'Erosion **12**:140-160.
29. Snoeck, J. 1959. Le caféier d'Arabie à Rubona. Bulletin d'information de l'INEAC VIII, **2**: 69-99.
30. Tian, G. 1992. Biological effects of plant residues with contrasting chemical compositions on plant and soil under humid tropical conditions. PhD thesis. Wageningen Agricultural University, Wageningen, The Netherlands. 114 pp.
31. Van Minnenbruggen, C. 1975. Esquisse climatologique du Rwanda + Appendices (5pp). ISAR Rubona, Butare, Rwanda.

AVIS

Nous rappelons à tous nos lecteurs, particulièrement ceux résidant dans les pays en voie de développement, que TROPICULTURA est destiné à tous ceux qui œuvrent dans le domaine rural pris au sens large.

Pour cette raison, il serait utile que vous nous fassiez connaître les adresses des Institutions, Ecoles, Facultés, Centres ou Stations de recherche en agriculture du pays ou de la région où vous vous trouvez. Nous pourrions les abonner si ce n'est déjà fait.

Nous pensons ainsi, grâce à votre aide, pouvoir rendre un grand service à la communauté pour laquelle vous travaillez.

Merci.

BERICHT

Wij herinneren al onze lezers eraan, vooral diegenen in de ontwikkelingslanden, dat TROPICULTURA bestemd is voor ieder die werk verricht op het gebeid van het platteland en dit in de meest ruime zin van het woord.

Daarom zou het nuttig zijn dat u ons de adressen zou geven van de Instellingen, Scholen Faculteiten, Centra of Stations voor landbouwonderzoek van het land of de streek waar u zich bevindt. Wij zouden ze kunnen abonneren, zo dit niet reeds gebeurd is.

Met uw hulp denken we dus een grote dienst te kunnen bewijzen aan de gemeenschap waarvoor u werkt.

Dank U.

Influence de divers traitements physico-chimiques de graines de *Mucuna pruriens* sur leur composition chimique en nutriments

C.S. Dossa*, G.A. Mensah*, A.D. Dossa* & C. Adoun*

Keywords: Mucuna - Grain treatment - Nutrient requirement - Mineral content - Benin

Résumé

Mucuna pruriens est vulgarisé au Bénin pour améliorer la fertilité des sols et lutter contre l'invasion des champs par *Imperata cylindrica*. Il produit d'énormes quantités de graines dont une faible proportion est utilisée sous forme de semences. Cette étude a été faite afin de déterminer le traitement physico-chimique des graines de *Mucuna pruriens* var. utilis et de *Mucuna pruriens* var. cochichennensis pouvant réduire le taux des facteurs toxiques comme la L-dopa et autres facteurs antinutritionnels. Divers traitements physico-chimiques des graines préconisés ont montré que la composition chimique des graines grillées était plus élevée que celle des graines bouillies. En attendant les résultats d'analyse du niveau résiduel de la L-dopa dans les graines de *mucuna*, c'est le traitement physico-chimique où les graines sont trempées dans l'eau froide pendant 24 heures, égouttées, dépelliculées, grillées pendant une heure et ramenées à la température ambiante qui serait le plus indiqué. Ce traitement offre des valeurs élevées en matière sèche, protéines brutes et extractif non azoté. La composition chimique des graines des deux variétés n'est pas identique mais le taux de phosphore (P) et de matière sèche sont semblables.

Summary

Influence of Various Physicochemical Treatments of *Mucuna pruriens* Seeds on the Nutrient Chemical Composition

Mucuna pruriens is being intensively used to fight off couch grass *Imperata cylindrica* and restore washed out lithosol fertility, in most of the agro ecological zones of Benin. From the huge amount of grains harvested, only a small part is used as seeds. This study was made to determine the effects of different ways of processing *Mucuna pruriens* var. utilis and *M. pruriens* var. cochichennensis grains on the toxic factor contents such as L-dopa and other antinutritional factors. Of the different physical and chemical treatment tested, grilling remarkably increased the potential nutritional content while boiling gave lower nutrient values. While awaiting assessment of the residual L-dopa level, the following treatment could be advised: after a preliminary soaking of the grains in cold water during 24 hours, they were dehulled and grilled for one hour. That procedure offered higher dry matter, higher crude protein and higher nitrogen-free extract in the preparations. The chemical contents of the two cultivars are not identical but dry matter and phosphorus contents are comparable.

Introduction

Le mucuna (*Mucuna pruriens*) est une légumineuse, héliophile, thermophile, sarmenteuse, à croissance rapide à port rampant. Il préfère des pluies espacées et s'accommode à divers sols: sableux, argileux de savane, terre de barre et vertisols. Le mucuna fut introduit au Bénin en 1986 dans le cadre des approches de solutions à la baisse de fertilité des sols et de la lutte contre l'invasion des champs par l'Impérata *Imperata cylindrica* (13,15). Les variétés de mucuna rencontrées actuellement au Bénin sont *Mucuna pruriens* var. pruriens et *Mucuna pruriens* var. utilis qui ont toutes deux des graines de couleur noire, et *Mucuna pruriens* var. cochichennensis à graines blanches (2,4,8). Le mucuna peut être cultivé en culture pure ou en association avec d'autres cultures, principalement les céréales telles que le maïs, le sorgho, le mil ainsi que les tubercules comme l'igname (2).

Après trois années d'expérimentation de culture du

mucuna en station et en champs de démonstration en milieu réel chez les agriculteurs, la culture de mucuna fut introduite systématiquement dans le plan d'assolement de nombreux agriculteurs au Sud du Bénin. Ceci a été à l'origine de l'adoption du mucuna par le projet Sasakiwa Global 2000 qui a favorisé son extension dans tout le Bénin (2). Cette extension a pour corollaire la production d'une grande quantité de graines mais seule une faible proportion sert de semences. L'usage dans l'alimentation humaine et animale du surplus de production contribuerait à la lutte contre la malnutrition humaine et amoindrirait certainement le coût de l'alimentation des animaux monogastriques d'élevage.

Malgré la richesse en matières azotées totales des graines du mucuna, elles ne font pas encore partie des mets ou rations alimentaires des hommes ou des animaux à cause des taux élevés de L-dopa et des facteurs antinutritionnels qu'elles renferment (2,6,14). Au

* Unité de Recherches Zootechnique et Vétérinaire, Institut National des Recherches Agricoles du Bénin, 01 B.P. 884, Cotonou, République du Bénin. Adresse de contact: C.S. Dossa, URZV/INRAB, 01 B.P. 884 - Fax (229) 300736. E-mail: INRAB@CGNET.COM Cotonou, République du Bénin. Reçu le 23.07.97 et accepté pour publication le 17.03.98.

Nicaragua et au Ghana, certains producteurs utilisent traditionnellement les graines de mucuna pour préparer les sauces. Ainsi, ils cassent l'enveloppe des graines et font bouillir celles-ci dans une eau qui est ensuite jetée. Ce procédé permet de diminuer le taux de L-dopa de même que celui des facteurs antinutritionnels contenus dans les graines (6,14). L'Institut International d'Agriculture Tropicale (IITA), au Nigeria s'est inspiré de cette méthode traditionnelle pour mettre au point une technique simple permettant d'éliminer presque entièrement cette substance toxique: casser l'enveloppe des graines, les laisser tremper toute une nuit dans l'eau, changer celle-ci, les faire bouillir dans l'eau une demi-heure, jeter l'eau à nouveau, puis laisser encore une nuit dans l'eau avant de les sécher (14). Ces différents traitements physico-chimiques destinés à réduire voire éliminer le taux de L-dopa dans les graines de mucuna affectent-ils la composition chimique et nutritionnelle des graines de mucuna ?

Afin de mieux répondre à cette question et à d'autres hypothèses, différentes études relatives au traitement et à l'utilisation des graines de mucuna ont été envisagées à l'Unité de Recherches Zootechnique et Vétérinaire (URZV) de l'Institut National des Recherches Agricoles du Bénin (INRAB):

- Influence de divers traitements physico-chimiques de graines de mucuna sur leur composition chimique en nutriments et en L-dopa;
- Comportement alimentaire des poulets nourris avec des rations à base de graines de mucuna ayant subi divers traitements physico-chimiques;
- Essais d'utilisation du mucuna (graines et feuilles) dans l'alimentation des animaux d'élevage (monogastriques et polygastriques).

Le présent article expose les résultats d'analyse bromatologique de graines de *Mucuna pruriens* var. *utilis* et de *Mucuna pruriens* var. *cochichennensis* suite à différents traitements physico-chimiques.

Matériel et méthodes

Préparation des échantillons

Deux variétés de graines de mucuna ont été utilisées: *Mucuna pruriens* var. *utilis* (graines noires) et *Mucuna pruriens* var. *cochichennensis* (graines blanches).

Les graines de mucuna préalablement traitées sont conservées à l'abri de l'humidité dans des boîtes, fermées. Les graines ont été réparties en 6 lots correspondant aux différents traitements physico-chimiques T₀, T₁, T₂, T₃, T₄, T₅.

- Traitement nul (T₀): correspond aux graines de mucuna blanches ou noires récoltées au champ et n'ayant subi aucun traitement.

- Traitement un (T₁): correspond aux graines de mucuna blanches ou noires grillées pendant une heure sur plaque chauffante réglée à 150°C et refroidies à la température ambiante.

- Traitement (T₂): correspond aux graines de mucuna

noires ou blanches bouillies dans de l'eau à ébullition pendant une heure, égouttées, refroidies à la température ambiante et séchées pendant 48 heures à la température ambiante.

- Traitement (T₃): correspond aux graines de mucuna blanches ou noires trempées dans l'eau froide à la température ambiante, égouttées, dépelliculées, grillées pendant une heure sur plaque chauffante réglée à 150°C et refroidies à la température ambiante.

- Traitement (T₄): correspond aux graines de mucuna blanches ou noires trempées dans de l'eau froide à la température ambiante pendant 24 heures, égouttées, dépelliculées, bouillies dans de l'eau à l'ébullition pendant une heure, égouttées, refroidies à la température ambiante et séchées pendant 48 heures à la température ambiante.

- Traitement (T₅): correspond aux graines de mucuna dépelliculées à sec, trempées dans de l'eau froide à la température ambiante pendant 24 heures, égouttées, trempées, bouillies dans de l'eau à l'ébullition pendant une heure, égouttées, trempées refroidies à la température ambiante et séchées pendant 48 heures à la température ambiante.

Analyse chimique au laboratoire

Les méthodes d'analyse chimique des différents échantillons de graines de mucuna sont celles préconisées par l'A.O.A.C. (3). Les différentes graines de mucuna traitées et non traitées ont été réduites en poudre dans un broyeur électrique, puis les poudres ont été prélevées au besoin pour les analyses envisagées. Pour la détermination de la matière sèche (MS) les divers échantillons ont été placés à l'étuve à 105°C pendant 12 heures pour dessiccation. La teneur en MS de chacun des échantillons a été calculée en % du poids frais du produit retenu à partir des pesées consécutives qui donnent un poids constant (3). Tous les autres résultats d'analyse ont été exprimés en % de MS. Chaque taux représente la moyenne arithmétique des deux valeurs les plus voisines obtenues à partir de trois dosages.

Le taux de protéines brutes a été déterminé en multipliant le taux d'azote par le coefficient 6,25 suivant la méthode de détermination de l'azote de Kjeldahl (3). Le taux des cendres a été déterminé après incinération de 5 g d'échantillons dans un four à 550°C pendant 6 heures (3).

Les dosages des macro-éléments comme le calcium (Ca), le potassium (K), le magnésium (Mg) et le phosphore (P) ont été faits par la photométrie de flamme (3). Les matières grasses ont été extraites à chaud à l'aide d'un appareil de type SOXHLET^R en utilisant comme solvant l'éther de pétrole. A la fin de l'extraction le solvant a été séparé du soluté à l'aide d'un séparateur (3). La cellulose brute (XF) a été déterminée selon la méthode préconisée par Goering H.K & Von Soest, P. (7).

Le taux de l'extractif non azoté (XX) a été calculé en

Tableau 1
Composition en nutriments organiques de graines de *Mucuna pruriens* var. *utilis* selon différents traitements physico-chimiques (en %)

Caractéristiques	T ₀	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅
Matière sèche (MS)	86,91	99,27	78,51	99,48	60,87	70,24
Protéines brutes (XP)	24,03	25,27	25,56	33,50	29,81	33,40
Matières grasses (XL)	4,57	3,57	3,74	4,44	3,87	4,48
Cellulose brute (XF)	8,80	7,63	8,58	1,98	1,71	2,48
Cendres totales (XA)	3,33	3,35	3,32	3,01	2,15	1,68
Extractif non azoté (XX)	46,18	59,45	37,31	56,55	23,33	28,20

Tableau 2
Composition en nutriments organiques de graines de *Mucuna pruriens* var. *cochichennensis* selon différents traitements physico-chimiques (en %)

Caractéristiques	T ₀	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅
Matière sèche (MS)	87,06	95,64	71,76	93,69	63,34	85,48
Protéines brutes (XP)	21,96	23,56	25,59	28,34	27,38	25,90
Matières grasses (XL)	4,69	3,87	5,03	5,04	4,78	5,54
Cellulose brute (XF)	7,23	8,74	7,77	1,91	1,65	0,17
Cendres totales (XA)	4,33	3,59	3,75	4,15	2,82	1,61
Extractif non azoté (XX)	48,85	55,88	29,62	54,25	26,71	52,26

soustrayant du taux de la matière sèche (MS) la somme des taux de protéines brutes (XP), de matières grasses (XL), de cendres totales (XA) et de cellulose brute (XF): $XX = DM - (XP + XL + XA + XF)$.

Les rapports calcium sur phosphore (Ca/P) et celui du calcium sur magnésium (Ca/mg) ont été calculés par simple division entre le taux de calcium (Ca) et celui du phosphore (P), puis celui du magnésium (Mg).

Résultats et discussion

Dans les tableaux 1 et 2, ont été résumés les taux de la matière sèche (MS) en % du poids frais du produit brut, des protéines brutes (XP), des matières grasses (XL), de la cellulose brute (XF), des cendres brutes (XA) et de l'extractif non azoté (XX) en % de MS, contenus

respectivement dans les graines de *Mucuna p.* var. *utilis* (graines noires) et var. *cochichennensis* (graines blanches) selon les traitements physico-chimiques T₀, T₁, T₂, T₃, T₄, T₅, qu'elles ont subis.

Les tableaux 3 et 4 par contre, montrent les taux de calcium (Ca), de potassium (K), de magnésium (Mg) et de phosphore (P) en mg/100 g MS de même que les rapports Ca/P et Ca/Mg respectivement dans les graines de *Mucuna* var. *utilis* et var. *cochichennensis* selon les mêmes traitements physico-chimiques subis.

A la lumière des résultats consignés dans ces tableaux, il ressort que les divers traitements physico-chimiques subis par les graines de mucuna auraient une influence sur leur composition chimique brute.

Tableau 3
Composition en macro-éléments de graines de *Mucuna pruriens* var. *utilis* suite à différents traitements physico-chimiques (en mg/100 g MS).

Caractéristiques	T ₀	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅
Calcium (Ca)	402	458	432	300	356	366
Potassium (K)	1122	1212	1305	1101	854	427
Magnésium (Mg)	244	228	187	150	139	107
Phosphore (P)	224	231	200	253	175	144
Calcium/Phosphore (Ca/P)	1,79:1	1,98:1	2,16:1	1,19:1	2,03:1	2,54:1
Calcium/Magnésium (Ca/Mg)	1,65:1	2,01:1	2,31:1	2,00:1	2,56:1	3,42:1

Tableau 4
Composition en macro-éléments de graines de *Mucuna pruriens* var. *cochichennensis* suite à différents traitements physico-chimiques (en mg/100 g MS).

Caractéristiques	T ₀	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅
Calcium (Ca)	468	432	396	252	216	180
Potassium (K)	1210	1240	1160	1360	1050	480
Magnésium (Mg)	255	195	195	150	135	60
Phosphore (P)	224	224	168	168	280	280
Calcium/Phosphore (Ca/P)	2,09:1	1,93:1	2,36:1	1,50:1	0,77:1	0,64:1
Calcium/Magnésium (Ca/Mg)	1,83:1	2,21:1	2,03:1	1,68:1	1,60:1	3,00:1

Graines de mucuna sans traitement physico-chimique

Il existe une légère différence entre la composition chimique des deux variétés de graines de mucuna n'ayant subi aucun traitement physico-chimique au préalable (T₀). Ainsi donc, si l'on peut dire que les taux de MS et de P sont sensiblement les mêmes pour les deux variétés, il n'en est pas de même pour les autres composants. En effet, dans la variété *utilis* les graines présentent des taux en nutriments organiques (XP, XL et XF) plus élevés que ceux contenus dans les graines de la variété *cochichennensis*. Par contre les teneurs en XX, en XA et en macro-éléments (Ca, K et Mg) sont plus élevées dans les graines blanches que celles dans les graines noires.

Les taux de XP obtenus dans les graines des deux variétés de mucuna sont légèrement inférieurs aux valeurs obtenues par Ravindra V. & Ravindra G. (11) et représentent environ les trois-quarts des taux obtenus par (9). Le taux de XP aurait une corrélation avec la présence ou non des téguments. Cette corrélation résulterait du fait que les matières azotées protéiques sont concentrées dans les cotylédons des graines de mucuna (10).

Par contre, les taux de XL dans les graines des deux variétés de mucuna sont légèrement supérieurs à ceux indiqués par Ravindra V. & Ravindra G. (11) et nettement inférieurs aux taux observés par Mary-Josephine, R. & Janardhanan, K. (9) puis par Afolabi, D.A. & al. (1). Cependant, ces taux de matières grasses sont plus élevés que ceux déterminés dans d'autres légumineuses à graines à l'exception de l'arachide et le soja (10). Ces écarts observés seraient dus soit à la variété, soit à des facteurs édaphiques, soit à des facteurs climatiques ou des facteurs agronomiques.

L'exception faite pour l'arachide et le soja se justifie par le fait que ce sont des graines oléagineuses et par conséquent assez riches en huile et matières grasses. Par ailleurs, les valeurs du taux de XA dans les graines des deux variétés sont situées dans l'intervalle mentionné par Afolabi, D.A. & al. (1), sont du même ordre de grandeur que celles enregistrées par Ravindra V. & Ravindra G. (11) et sont inférieures à celles obtenues par Mary-Josephine, R. & Janardhanan, K.(9). Cependant, la teneur en cendres brutes totales dans le mucuna est supérieure à celle de l'arachide et se rapproche beaucoup plus de celle des graines de soja (10).

Les taux de P dans les graines des deux variétés de mucuna sont voisins de ceux enregistrés par Ravindra V. & Ravindra G. (11), supérieurs aux taux obtenus par Afolabi, D.A. & al. (1) et inférieurs à ceux signalés par Mary-Josephine, R. & Janardhanan, K. (9). Le taux de phosphore dans le mucuna est faible par rapport à celui enregistré dans d'autres légumineuses à graines (10).

Les taux de Ca, K et Mg dans les graines des deux variétés de mucuna sont plus élevés que ceux obtenus par Ravindra V. & Ravindra G. (11) puis par Mary-

Josephine, R. & Janardhanan, K.(9), mais par contre les taux de K et Mg sont inférieurs à ceux enregistrés par Afolabi, D.A. & al. (1).

Certes, ces différences pourraient dépendre des variétés de graines de mucuna utilisées par ces auteurs, ainsi que des conditions édapho-climatiques du lieu de culture.

Graines de mucuna avec des traitements physico-chimiques

Qu'elle que soit la variété de graines de mucuna, le fait de griller (T₁, T₃) eu égard aux valeurs bromatologiques des graines obtenues avec T₀ tend à augmenter la teneur des différents composés chimiques tandis que la cuisson des graines pendant une heure (T₂, T₄, T₅) par comparaison avec T₀ tend à diminuer la teneur des divers composés chimiques.

Dans la classification des teneurs en nutriments dans les graines de mucuna selon les critères plus élevées, élevées, moins élevées, faibles et plus faibles, on remarque que les différences observées entre les valeurs dites plus élevées et élevées sont assez faibles. En effet, les taux de MS dans les traitements T₁ et T₂ varient entre 99,2 et 99,5% dans les graines noires puis entre 93,6 et 95,7% dans les graines blanches. De même, les teneurs en XP dans les traitements T₃ et T₅ varient entre 33,4% et 33,5% dans les graines noires puis entre 25,9 et 28,4% dans les graines blanches. Ainsi donc, nous pourrions classer les valeurs des teneurs en nutriments dans les graines de mucuna quelle que soit la variété considérée en trois classes: élevées, moyennes et moins élevées.

Par conséquent les valeurs élevées des teneurs:

- en MS et en XP étaient obtenues dans les graines des deux variétés de mucuna ayant subi le traitement T₃ (trempées, dépelliculées et grillées);

- en XL ont été observées dans les graines des deux variétés de mucuna ayant subi le traitement T₅ (dépelliculées, trempées, bouillies et séchées);

- en XX ont été enregistrées dans les graines des deux variétés ayant subi le traitement T₁ (grillées);

- en XF ont été déterminées dans les graines de la variété *utilis* ayant subi le traitement T₂ (bouillies et séchées) et dans celles de la variété *cochichennensis* ayant subi le traitement T₁;

- en XA ont été obtenues dans les graines noires subissant le traitement T₁ et dans les graines blanches subissant le traitement T₃;

- en Ca et en Mg ont été dosées dans les graines des deux variétés ayant subi le traitement T₁;

- en K ont été observées dans les graines noires subissant le traitement T₂ et dans les blanches subissant le traitement T₃.

Ainsi, les taux de XP sont plus élevés pour les lots traités (T₁ à T₅) que pour le traitement T₀ et ce pour les deux variétés de mucuna.

De même, les taux de Mg dans tous les lots traités (T₁ à T₅) étaient moins élevés que ceux dans les graines non traitées (T₀). Aussi, dans toutes les graines de *Mucuna var. utilis*, les taux de matières grasses et de cellulose brute sont moins élevés dans les graines traitées (T₁ à T₅) que dans celles non traitées (T₀).

La comparaison de la composition chimique des graines dépelliculées (T₃, T₄ et T₅) aux graines non dépelliculées (T₀, T₁ et T₂), montre quelle que soit la variété, un taux de XP élevé et des taux relativement faibles de XF, de XA, de Ca et de Mg. De même, pour la variété *utilis*, les taux de K sont dans les graines dépelliculées inférieurs à ceux enregistrés dans les graines non dépelliculées. La même analogie pourrait être observée avec les graines de *mucuna var. cochichennensis* à l'exception de la teneur en K des graines ayant subi le traitement T₃ où la teneur en K est supérieure à tous les taux observés lors des autres traitements.

En ce qui concerne les taux de P, ils sont plus élevés d'une part dans les graines de la variété *utilis* ayant subi les traitements T₃ et T₅ et d'autre part dans les graines de la variété *cochichennensis* ayant subi le traitement T₄ que dans toutes les autres graines traitées et non traitées.

Selon Ravindra V. & Ravindra G. (11), près de 50% du phosphore contenu dans les légumineuses s'accumulerait dans les graines sous forme phytique qui complexe les autres minéraux tels que le calcium, magnésium. Le trempage et la cuisson favoriseraient une élimination et ou une dénaturation des phytates toxiques libérant alors les substances nutritives contenues dans les graines. Ceci pourrait expliquer la diminution des taux des différents macro-éléments après traitements. Cependant, la variabilité de certains résultats de l'analyse des minéraux, ne permet pas au stade actuel des recherches de trouver une explication à tous les résultats observés notamment celui de l'augmentation du taux de P (Tableau 4) après T₄ et T₅.

Etant donné les étroites corrélations entre les métabolismes du calcium et du phosphore, ces deux éléments doivent être apportés chez les mammifères selon un rapport Calcium/Phosphore (Ca/P) optimal de 1,2 à 1,5 : 1. Les valeurs de ce rapport Ca/P, comprises entre 0,5 et 2 : 1 peuvent être considérées comme satisfaisantes (5). Cependant les valeurs Ca/P dans l'alimentation varient chez les monogastriques de 1,2 à 2,5 : 1 et chez les polygastriques de 1,5 à 6 : 1. Chez les volailles, le rapport Ca/P optimal est d'environ 1,6 : 1 pendant la croissance, mais durant la période de ponte il faut de grandes quantités de Ca pour l'édification de la coquille et le rapport Ca/P devient 3,7 : 1. Ainsi donc, avec un rapport Ca/P oscillant entre 0,7 et 2,6 : 1, les teneurs des graines de *mucuna* traitées et non traitées en Ca et P sont conformes aux normes alimentaires indiquées pour les animaux d'élevage ainsi que pour les besoins alimentaires de l'homme. En effet, plus le rapport Ca/P de la ration alimentaire s'éloigne des valeurs optimales, plus l'absorption est déficiente. Les graines de *mucuna* présentent donc un net avantage en ayant un rapport Ca/P conforme aux normes alimentaires en favorisant l'utilisation efficace par l'organisme animal de tous les éléments

phospho-calciques de la ration. L'utilisation de la farine de *mucuna* dans l'alimentation humaine et animale, pourrait limiter les apports en minéraux, en général très coûteux du commerce.

Il faudrait lors de la formulation de rations à base de *mucuna*, utiliser avec précautions les aliments riches en sels de Ca (herbes de prairie, luzerne, trèfles) et en substances phytiques contenant beaucoup de P (céréales et leurs issues) pour éviter les excès en Ca et P qui peuvent entraîner l'apparition de troubles du métabolisme, notamment les perturbations de l'ossification chez l'enfant et les animaux en croissance. Le rapport Calcium/Magnésium (Ca/Mg) sanguin a une importance pour l'excitabilité neuro-musculaire normale. Si le taux de Mg diminue alors que celui du Ca reste normal, apparaissent des manifestations de tétanie. Le rapport Ca/Mg optimal est de 1,4 à 4,0 : 1 dans l'alimentation des animaux d'élevage. Alors, avec un rapport Ca/Mg variant entre 1,60 à 3,42 : 1, les teneurs en Ca et Mg des graines de *mucuna* traitées et non traitées sont conformes aux normes alimentaires requises pour les animaux domestiques et l'homme.

A la lumière de tout ce qui précède, il apparaît que dans les graines des deux variétés de *mucuna* ayant subi le traitement:

- T₁ (grillées), les valeurs des taux de MS, XX, Ca, K et Mg sont élevées, tandis que celles des taux de XP et XL sont moins élevées;

- T₂ (bouillies et séchées), les valeurs des taux de XA, Ca et Mg sont élevées, tandis que celles des taux de XP et du rapport Ca/Mg sont moins élevées;

- T₃ (trempées, dépelliculées et grillées), les valeurs des taux de MS, XP, XL et XX sont élevées, tandis que celles des taux de Mg sont moyennes;

- T₄ (trempées, dépelliculées, bouillies et séchées), les valeurs des taux de MS, XX, Ca, K et Mg sont moins élevées;

- T₅ (dépelliculées, trempées, bouillies et séchées), les valeurs des taux de XL et du rapport Ca/Mg sont élevées, tandis que celles des taux de XA, K et Mg sont moins élevées.

On pourrait alors conseiller en tenant compte des valeurs élevées dans les graines en nutriments organiques et en minéraux sous réserve de dosage de la L-dopa résiduelle dans l'ordre, les traitements physico-chimiques suivants qu'on peut faire subir aux graines de *mucuna* en tenant compte: des deux variétés, les traitements T₃, T₁, T₅, T₂ et T₄ de la variété *utilis* (graines noires), les traitements T₃, T₁, T₂, T₅ et T₄ de la variété *cochichennensis* (graines blanches) les traitements T₃, T₂, T₁, T₅ et T₄.

Conclusion

Dans l'alimentation humaine et animale, il serait bon d'utiliser un mélange en proportions égales des deux variétés de graines de *mucuna* (noires et blanches) pour bénéficier d'une part de leurs compositions chi-

miques spécifiques en nutriments et en minéraux, et d'autre part pour avoir une bonne ration alimentaire qualitativement équilibrée. Mieux, Flores, M, (6) recommande de ne pas utiliser le mucuna comme source unique de l'alimentation ni chez les hommes, ni chez les animaux mais de les incorporer à des taux inférieurs à ceux en usage pour les autres légumineuses comestibles.

Au stade actuel des investigations et en attendant les résultats du niveau résiduel de la L-dopa dans les graines de mucuna, il est à remarquer que les graines de mucuna noires (variété *utilis*) comme blanches (variété *cochichennensis*) trempées dans l'eau froide à la température ambiante pendant 24 heures, égouttées, dépelliculées, grillées pendant une heure et refroidies à la température ambiante serait le traitement physico-chimique (traitement T3), le plus indiqué qui permet d'avoir des valeurs élevées de taux de nutriments organiques et de matières minérales:

- Matières sèches (MS): 93,6 à 99,5%;
- Protéines brutes (XP): 28,3 à 33,5 % MS;
- Matières grasses (XL): 4,4 à 5,1% MS;
- Cellulose brute (XF): 1,9 à 2,0% MS;
- Cendres totales (XA): 3,0 à 4,2% MS;
- Extractif non azoté (XX): 54,2 à 56,6% MS;
- Calcium: 252 à 300 mg/100 g MS;
- Potassium: 1101 à 1300 mg/100 g MS;
- Phosphore: 168 à 253 mg/100 g MS;
- Magnésium: 150 mg/100 g MS;
- Calcium/Phosphore (Ca/P): 1,1 à 1,5 : 1;
- Calcium/Magnésium (Ca/Mg): 1,6 à 2,0 : 1.

Les graines de mucuna ayant subi le traitement physico-chimique T₃ seront-elles appréciées par les animaux d'élevage ? Il s'agira pour répondre à cette question, d'étudier le comportement alimentaire des animaux domestiques monogastriques alimentés avec des rations à base de graines de mucuna ayant subi les différents traitements physico-chimiques. Les résultats de cette expérience fera l'objet d'une communication ultérieure.

Quel est le niveau résiduel de la L-dopa dans les graines de mucuna ayant subi ces divers traitements physico-chimiques ? Les résultats d'analyses de la L-dopa dans les graines de mucuna ayant subi les traitements T₁ à T₅ seront présentés dans une prochaine communication.

Remerciements

Les auteurs tiennent à remercier le Centre Béninois de la Recherche Scientifique et Technique, plus particulièrement le Pr. Dr. N. Aho et le Dr. A. Gnimadi pour le soutien financier des analyses de laboratoire des graines de *Mucuna pruriens*.

Références bibliographiques

1. Afolabi, O.A., Oshuntogun, B.A., Adewusi, S.R., Fapojuwo, O.O., Ayorinde, F.O., Grisson, F.E. & Oke, O.L., 1985. Preliminary Nutritional and chemical evaluation of Raw seeds from *Mucuna solaneri*: an underutilized Food Source. *J. Agric. Food Chem.* **33**: 122-124.
2. Aklamavo, M. & Mensah, G.A., 1997. Quelques aspects de l'utilisation du mucuna en milieu rural en République du Bénin. *Bulletin de la Recherche Agronomique du Bénin*. N°19: 34-46.
3. A.O.A.C., 1984. Official Methods of Analysis (4th edition). Association of Official Analysis Chemists; Washington, pp. 152-164.
4. Badou, A., 1992. Introduction du Mucuna en milieu réel. Appréciation paysanne et autovulgarisation. (Cas du village Zouzounvou et ses environs). Mémoire de fin de cycle LAMS, Bénin.
5. FAO/WHO, 1973. Energy and Protein Requirements Technical Report series No 52: 5. WHO, Geneva, Switzerland.
6. Flores, M., 1993. La Utilizacion del Frijol Abono como Alimento Humano. Informe Technico No.8: 1-4. CIDICCO/Honduras.
7. Goering, H.K. & Van Soest, P., 1970. Forage Fibre Analysis. *Agric. Handbook*, Washington, 379 pages.
8. Kanninkpo, A.A.C., 1992. Contribution à l'étude des modalités d'utilisation de *Mucuna utilis* dans l'amélioration de la fertilité de la terre de barre. Mémoire de fin du cycle LAMS, Bénin.
9. Mary-Josephine, R. & Janardhanan, K., 1992. Studies on Chemical composition and antinutritional Factors in three Germplasm Seed Materials of the tribal pulse, *Mucuna pruriens* (L) DC. *Food Chemistry*, **43**: 13-18.
10. Rakipov, N., 1987. *Biochimie des cultures tropicales* Editions MIR.
11. Ravindra, V. & Ravindra, G., 1988. Nutritional and antinutritional Characteristics of *Mucuna (Mucuna utilis)* Bean Seeds. *J.Sci Agri*, **46**: 71-79.
12. Skerman, P.J., 1982. Les légumineuses fourragères tropicales. *Collection FAO; Production végétale et production des plantes*, **2**: 394-396. Rome.
13. Spore, 1995. Les agriculteurs béninois améliorent la fertilité des sols. *SPORE*, **57**: 11-CTA.
14. Spore, 1996. Le Mucuna, une plante fourragère bientôt vivrière? *SPORE* **63**: 7-CTA.
15. Versteeg, M.N. & Koudokpon, V., 1990. Contribution du Mucuna à la lutte contre Imperata au sud du Bénin. *Bulletin RESPAO No.7*: 7-8.

C.S. Dossa: Béninois. Dr. Vétérinaire, PhD en Entomologie Médicale et Vétérinaire, Chercheur et formateur à l'Unité des Recherches Zootechnique et Vétérinaire, Institut National des Recherches Agricoles du Bénin, Cotonou.

G.A. Mensah: Béninois. Ir. Agronome zootechnicien, Dr. es Sciences agronomiques, Chercheur et formateur à l'Unité des Recherches Zootechnique et Vétérinaire, Institut National des Recherches Agricoles du Bénin, Cotonou.

A.D. Dossa: Béninois. Contrôleur du Développement Rural à l'Unité des Recherches Zootechnique et Vétérinaire, Institut National des Recherches Agricoles du Bénin, Cotonou.

C. Adoun: Béninois. Ir. Agronome zootechnicien, Chercheur à l'Unité des Recherches Zootechnique et Vétérinaire, Institut National des Recherches Agricoles du Bénin, Cotonou.

Rhodeps Grass Evaluation - Evaluation of Rhodes Grass Cultivars under Emirates Conditions

Y. M. Ibrahim*

Keywords: Cultivars - Forage - Quality - Yield.

Summary

Six genotypes of Rhodes grass (*Chloris gayana* L.) were evaluated for their forage yield and quality under Emirates conditions during 1991/1992. The results revealed no significant differences between Katambora, Callide and Samford which produced significantly higher forage yield than other cultivars. Forage yield of different cuts increased gradually and reached its peak at the fifth cut. Later cuts during summer had the highest forage yield.

Percent crude protein decreased while percent crude fiber increased with cuts but the difference was significant only for early cuts. Pioneer, an early flowering genotype, had the lowest protein and the highest crude fiber while the late flowering genotypes performed well.

Résumé

Evaluation selon Rhodeps des plants d'herbe de Rhodes dans les conditions des émirats

Six génotypes de *Chloris gayana* L. ont été évalués pour leur potentiel de production et leurs qualités fourragères dans les conditions des Emirats Arabes Unis pendant 1991/1992. Les résultats obtenus ne mettent en évidence aucune différence significative entre les écotypes Katambora, Callide et Samford qui ont produit significativement plus de matière sèche que les autres cultivars. Le rendement en fourrage des différentes coupes a augmenté progressivement pour atteindre son maximum à la 4^e coupe. Les dernières coupes réalisées en été présentaient les rendements les plus élevés. Une diminution du pourcentage de protéines brutes avec le nombre de coupes a été constatée alors qu'une tendance inverse a été observée pour le pourcentage de fibres brutes. Des différences significatives pour ces deux paramètres n'ont été observées que pour les premières coupes. Le génotype précoce Pioneer, présentait le plus bas niveau de protéines et le plus haut niveau de fibres brutes alors que les génotypes plus tardifs se caractérisaient par de bonnes performances.

Introduction

United Arab Emirates is a typical arid country with a harsh growing conditions. It lies within the subtropical desert with a hot (48c) and dry weather during summer (Annual mean temperature 20-30c) and a comparatively cool during winter. The rainfall is low and irregular (60 mm-120 mm/year). The climate is influenced by the prevailing winds, the upwelling of coastal water and cyclones. Water resources are limited and local over-pumping from underground water has led to salinity problems (1-5 dsm⁻¹). The soil is a sandy loam with high calcium carbonate and high pH (8.5-9.5). It is generally poor in organic matter and minerals.

Rhodes grass (*Chloris gayana* L.) has been gaining its popularity for general cultivation in Emirates as an alternative to alfalfa because of its drought and salt tolerance and better stand persistency in unfavourable edaphic and climatic conditions. The crop was useful for erosion control if well grazed (6). The roots can extract water to a depth of 4.25 m. Russell, (5) found

Rhodes grass to be one of the most salt tolerant grasses. At Hofuf, Saudi Arabia, Farmworth, (2) tested a range of summer grasses on saline high calcium soils and Rhodes grass yield 8.9 ton DM/ha in 188 days, more than double the yield of any other species. Among many exotic varieties from USA, Australia and Africa, about six genotypes are grown in the country with different growing habits and yield (3). The performance of different varieties was not yet investigated. This experiment was, therefore, aimed at evaluation of available cultivars in respect to their green matter production and quality.

Material and Methods

Field experiment was conducted at Al-Oha, Al-Ain, UAE (Latitude 24°15', Longitude 55°45' and Altitude 301.6 m above sea level) on a sandy loam soil. Six varieties of Rhodes grass namely Callide, Katambora, Samford, Pioneer, Alemba and Boma were planted on

* Sudan University of Science and Technology, Shambat, Khartoum North, P.O. Box 71, Sudan.
Present address: Department of Botany - Faculty of Science - University of Qatar, Doha, P.O.Box 2713, Qatar.
Received on 15.10.96 and accepted for publication on 20.03.98.

Table 1
Forage green yield (t/ha) of Rhodes grass cultivars

Cultivars	Cuts (t/ha)								Mean	Total
	1	2	3	4	5	6	7	8		
Katambora	11.36	12.84	14.25	14.86	23.81	18.88	16.41	12.24	15.58	124.65
Callide	11.26	12.41	13.62	14.76	22.21	18.70	16.25	12.24	15.18	121.45
Samford	10.15	11.54	11.81	13.63	20.22	18.11	14.30	11.14	13.86	110.90
Pioneer	8.20	9.50	9.80	12.50	16.82	15.21	12.34	10.62	11.87	94.99
Alemba	6.28	5.72	6.54	9.28	18.91	9.63	12.26	10.32	9.87	78.93
Boma	6.15	5.28	6.74	9.32	16.71	9.28	12.00	9.32	9.35	74.80
CD (0.05)	3.80	4.12	3.25	3.45	4.21	4.15	3.25	3.12	-	-

21.10.1991 in a randomized complete block design with four replications. Plots of 15 m² were uniformly scattered with seeds of 20 kg/ha. The seeds were covered with a thin layer of soil and a light irrigation was given frequently till germination. The crop was fertilized with 100 kg N before sowing and after each cut and with 100 kg of each P₂O₅ and K₂O before planting. Irrigation was performed by sprinklers as needed till the soil reached the field capacity. The first cut was taken after 45 days and the fresh weight was recorded in kg for each variety. Subsequent cuts were taken at 25-35 day intervals according to cultivars and season. Yields are not given in t.D.M./ha as the forage is baled after partial drying and not a complete drying. The yield data of eight cuts together with their chemical analysis (according to Summerfield et al.(7) were subjected to statistical analysis with the aid of MSTAT computer programme.

Results

The results revealed no significant differences between Katambora, Callide, Samford and Pioneer cultivars but they were significantly producing higher forage yield than Alemba and Boma for the first cut (Table 1). The same trend was observed at the second and six cuts. Katambora, Callide and Samford were not significantly different but they were better than Pioneer, Alemba and Boma. Table 1 also showed no significant differences in forage yield between Katambora, Callide, Samford and Pioneer while there was a difference between Katambora, Callide and Samford compared to Alemba and Boma for the fourth cut. However, the fifth cut indicated that Katambora, Callide and Samford

were at par and produced significantly higher yield than Pioneer and Boma while Alemba was not different from all other cultivars. The seventh cut showed a significant yield difference between Katambora and Callide from Pioneer, Alemba and Boma while Samford was not significantly different from all other cultivars (Table 1). However, there was no significant differences between all cultivars for the eight cut.

For overall cuts Katambora performed the best followed by Callide and Samford (Table 1), with total yield of 124.65 t/ha and 110.90 t/ha respectively. The highest yield per cut was obtained by Katambora at the fifth cut (23.81 t/ha) while the lowest at the first cut for Boma (6.15 t/ha). Forage yields of different cuts increased gradually and reached its peak at the fifth cut (Table 1), then dropped slowly. However, the late cuts (5th onwards) were the highest yielding as they coincide with summer months (Table 1).

Percent crude protein decreased with cuts but the difference was significant only up to the fifth cut (Table 2). There were no significant differences between cultivars for the different cuts except for the first cut when Pioneer had significantly lower protein content than the others. Table 2 also showed that Katambora had the highest protein content (13.9%) for the first cut while Pioneer had the lowest (6.1%) for the eight cut. For all cuts the best performing cultivars were Katambora, Callide and Samford.

Percent crude fiber increased with cuts (Table 2) but the difference was significant only for the early cuts. There

Table 2
Forage quality (Percent crude protein (cp) & Percent crude fiber (cf)) of Rhodes grass cultivars

Cultivars	No. of cuts																	
	1		2		3		4		5		6		7		8		CD (0:05)	
	cp%	cf%	cp%	cf%	cp%	cf%	cp%	cf%	cp%	cf%	cp%	cf%	cp%	cf%	cp%	cf%	cp%	cf%
Katambora	13.9	30.5	13.6	31.0	9.7	33.8	8.6	33.9	6.2	38.4	6.4	38.5	6.6	39.5	6.4	39.7	4.5	6.5
Callide	12.8	30.1	12.6	30.8	10.2	32.6	9.4	33.8	7.3	37.6	6.8	38.2	6.4	39.2	6.2	39.7	4.7	7.1
Samford	12.4	29.2	12.0	30.2	11.0	32.0	9.8	33.2	7.4	38.1	6.6	38.7	6.4	38.9	6.4	39.2	3.9	7.8
Pioneer	10.1	35.1	10.2	34.4	9.6	35.2	9.4	35.2	7.4	37.9	6.4	39.0	6.2	39.7	6.1	39.9	3.6	3.6
Alemba	12.2	31.2	11.8	31.8	10.4	33.3	10.1	33.6	7.8	38.2	6.6	38.9	6.3	39.1	6.2	39.2	4.1	8.1
Boma	12.4	30.8	11.8	32.0	9.8	33.4	9.2	33.8	7.5	38.4	6.2	38.7	6.2	39.4	6.3	39.4	4.5	7.9
CD (0.05)	2.1	3.3	3.5	2.9	2.3	2.9	1.8	2.2	1.9	1.7	1.1	1.4	0.9	0.9	1.2	0.8	-	-

were no significant difference between cultivars for the different cuts except for the first and second cuts when Pioneer had significantly higher crude fiber content than the others. Results of Table 2 also revealed that Pioneer had the highest crude fiber content (39.95%) for the eight cut, while Callide had the lowest (30.1%) for the first cut. For all cuts the best performing cultivars were Callide, Katambora and Samford.

Discussion

The results presented in Table 1 revealed the superiority of Katambora, Callide and Samford in forage yield over the other cultivars in cuts and overall yield. Ibrahim (3) stated that the three cultivars were late in flowering. The same results were reported by Nadaf et al. (4) and Akhtar et al. (1) who reported that Callide was the highest yielder followed by Katambora. Farmworth (2), reported at Hofuf, Saudi Arabia a yield of 8.9 t/ha in 188 days for Katambora, more than double the yield of any other species. The yield increased gradually and reached the peak at fifth cut and the late cuts were better than earlier ones (Table 1). These results reflect that late cuts coincide with summer months when plant growth was faster and better.

Protein content decreased with cuts while crude fiber content increased with cuts for all cultivars (Table 2). Among all cultivars, Pioneer showed the lowest protein content and the highest crude fiber content. This was attributed to the early flowering habit of the cultivar (3). When other cultivars were ready for cut, Pioneer will already reach the maturing stage. It was well known that protein content will decrease with age while fiber content will increase. Katambora, Callide and Samford were giving better quality forage. This can be explained by the fact that the three cultivars were late in flowering compared to others (3) and they were cut at the right time. Additionally, Ibrahim (3) reported that these cultivars will remain green till maturity.

In conclusion, Katambora, Callide and Samford performed well under Emirates conditions. The three cultivars produced better yield and quality. However, if more cuts were needed, the early flowering types like Pioneer are better although yield per cut is lower compared to other cultivars.

Literature

1. Akhtar M., Nadaf S., Ibrahim Y.M. & Al-Lawatia A.H., 1995. Evaluation of four varieties of Rhodes grass planted in different seasons in Interior. Annual report Directorate General of Agricultural Research. Sultanate of Oman. 79-82.
2. Farmworth J., 1974. A trial of introduced and local forage species Pioneer crops for summer reclamation of sandy, saline, high carbonate soil at Hofuf, Arabia. University College of North Wales. Gwynedd, Banger, U.K., Agricultural Research and Development Project, Joint publication of University College of North Wales and Ministry of Agriculture and Water, Saudi Arabia. No.39.
3. Ibrahim Y.M., 1992. Growing Rhodes grass in United Arab Emirates. Technical paper. UAE University. 10 p.
4. Nadaf S., Akhtar M., Ibrahim Y.M. & Al-Lawatia A.H., 1994. Evaluation of four varieties of Rhodes grass planted in different seasons in Interior. Annual report. Directorate General of Agricultural Research. Sultanate of Oman. 100-103.
5. Russel J.S., 1976. Comparative salt tolerance of some tropical and temperate legumes and tropical grasses. Australian Journal of Experimental Agricultural and Animal Husbandry. 16:103-109.
6. Skerman P.J. & Riveros F., 1990. Tropical grasses. Food and Agricultural Organization of the United Nations. Rome, Italy. 832 p.
7. Summerfield R.J., Dart P.J., Huxley P.A., Eaglesham A.R.J., Minichin F.R. & Day J.M., 1977. Nitrogen nutrition of cowpea. Expt. Agric. 13: 129-142.

Y.M. Ibrahim: Sudanese. Ph.D. Agronomy (U.S.A.). Associate Professor, Dept. of Botany, Faculty of Science, University of Qatar (Doha P.O. Box 2713, Qatar).

Factors Involved in the Development of Nutfall Due to *Phytophthora katsurae* in Ivory-Coast

J. Pohé*

Keywords: Nut rot - Dissemination - Contact- Isolated.

Summary

Nut rot on coconut can be spread simply by contact or by spreading agents which maintain isolated infections within a bunch on a given tree and at plot level. The disease generally spreads horizontally from one bunch to another and vertically, particularly vertically downwards, from one nut to another in a given bunch. The positive effect of water and insects in disease spread has been demonstrated.

Résumé

Facteurs impliqués dans l'accroissement des chutes de noix causées par *Phytophthora katsurae* en Côte-d'Ivoire

La propagation du parasite responsable de la pourriture des noix immatures du cocotier se fait soit horizontalement par des contacts entre régimes soit verticalement, entre noix à l'intérieur d'une même grappe. Le rôle de la pluie et des insectes dans la propagation est démontré. L'épidémie dans cette affection est caractérisée par deux phases: une phase agrégative, au cours de laquelle la contamination interviendrait de proche en proche et une phase régulière pendant laquelle les nouveaux cas apparaissent éloignés des foyers initiaux.

Introduction

Pathogen dissemination is generally an important factor in disease development. It contributes to the establishment, development and maintenance of epidemics, since it results in parasite propagules spreading from so-called conservation sites or primary foci to healthy organs. In certain cases simple contact between diseased and healthy organs can result in contamination; in other situations, a dispersion agent is required (2). Water, wind, insects, rodents and man are all potential agents for spreading infection.

The diversity of propagules capable of spreading infection (sporocysts, zoospores, hypha fragments, etc.) means *Phytophthora* can spread in several ways (4,5). For a given disease, the role played by each dissemination factor has to be determined if the development of epidemics is to be understood. This approach was not previously taken with bud rot and immature nutfall on coconut. This is the topic of the present paper.

Material and methods

As soon as the first diseased nuts were observed, the bunches and the trees on which they occur were marked to enable counting and locating new diseased nuts. This enabled us to monitor disease evolution in space, both on individual trees and in whole plots. To determine how the disease spread, the position of a new diseased nut was recorded. The design was in square block with ten rows and ten coconut palms per row.

In addition to these observations the pathogen was trapped from insects and rainwater.

Insects living under and on the floral parts were inventoried. The nuts on trees were inoculated via wounds, with liquidized insects for which an increase in population levels coincided with an increase in the disease according to previous observations (3). Whole insects or insects with their legs and mandibles removed were rinsed in sterile water or disinfected with bleach, then liquidized and inoculated to nuts via wounds. Control nuts were only wounded. Inoculation with rainwater was carried out by using cotton wool soaked in water collected in a container placed under the coconut palms.

Results

Dissemination

Rotten nuts were found to be either in contact with other nuts or isolated in the bunches on a given tree or on different trees. Although in the former case, infected nuts were always in contact with another already diseased nut, in the latter there was no apparent contact between either diseased nuts or bunches. Depending on the situation, we discuss contact dissemination or isolated dissemination.

A detailed analysis of results shows that isolated dissemination was significantly more frequent, with 53.50% (50.33 - 56.60%) of the diseased nuts observed (table 2) and 72.36% (65.25 - 79.46%) of the bunches bearing diseased nuts (table 1).

* Institut National Polytechnique Félix Houphouët Boigny, Ecole Supérieure d'Agronomie - B.P. 1313 Yamoussoukro Côte-d'Ivoire. Received on 17.04.97 and accepted for publication on 12.03.98.

Table 1
Spread of nut rot due to *Phytophthora katsurae* from bunch to bunch as a percentage of the total number of bunches, irrespective of the type of dissemination.

Diseased nuts	Dissemination			
	Horizontal	Vertical		All types
		Upward	Downward	
Number of isolated diseased bunches, % and range	55 36.18%(28.34-43.82)	41 26.97%(19.9-34.02)	14 9.2%(4.6-13.8)	110 72.36%(65.25-79.46)
Number of grouped diseased bunches, % and range	29 19%(12.76-25.23)	9 5.9%(1.3-10.5)	4 2.6%(0.07-5.12)	42 27.64%(20.5-34.7)
Total bunches % and range	84 55.1%(47.09-62.9)	50 32.9%(25.43-40.36)	18 11.8%(6.67-16.9)	152 100%

Table 2
Spread of *Phytophthora katsurae* rot from nut to nut as a percentage of the total number of nuts observed irrespective of the type of dissemination.

Diseased nuts	Dissemination			
	Horizontal	Vertical		All types
		Upward	Downward	
Number of isolated diseased nuts, % and range	111 11.46%(9.45-13.46)	96 9.9%(8.11-78)	311 32.12%(29.17-35.06)	518 53.5%(50.35-56.61)
Number of grouped diseased nuts, % and range	190 19.6%(17.09-22.10)	95 9.8%(7.92-11.62)	165 17%(14.63-19.36)	450 46.48%(43.3-49.62)
Total diseased nuts observed, % and range	301 31.1%(28.18-34.01)	191 19.73(17.22-22.23)	476 49.17%(46.2-52.3)	968 100%

Direction of dissemination

The next nuts to be attacked were either close to or under the first rotten fruits. This phenomenon, at the tree level, led us to distinguish between horizontal dissemination and downward (or upward) vertical dissemination.

Assessment of these different dissemination directions, comparing the percentages of nuts or bunches considered, shows that vertical dissemination, particularly downward, is predominant for nuts, i.e. from one nut to another within the same bunch, with 49.12% (46.02 - 52.3%) for downward vertical dissemination and 19.7% (17.22 - 22.23%) for upward vertical dissemination as opposed to 31% (28.18 - 34.01%) for horizontal dissemination (table 2). In the case of bunches, horizontal dissemination, with 55.1% (47.07 - 62.9%) was significantly more frequent than vertical dissemination, which accounted for 32.9% (25.43 - 40.8%) for upward vertical dissemination and 11.8% (6.67 - 16.9%) for downward vertical dissemination (table 1). It was also seen that horizontal dissemination between bunches (table 1) and downward vertical dissemination on nuts (table 2) were the most frequent, and that they concerned isolated dissemination. The fact that the disease spread in these ways had major impact on our observation, and suggests that dissemination agent were involved.

Occurrence of coconut palms bearing rotten nuts

Figure 1 shows the experimental design, comprising one hundred coconut palms in rows of ten trees. The

numbers marked in the squares correspond to the number of the round when we observed that the tree was contaminated. There were fifteen rounds in all. Although certain trees marked 0 during the first observation round are in a line, either along the row or across several rows, the disease spread observed subsequently did not follow this pattern. This observation backs up the hypothesis of the existence of external dissemination agents.

11	0	0	6	13	0	0	0	0	0
0	0	11	11	0	0	11	0	0	13
0	7	0	3	11	0	10	3	12	13
11	8	11	0	11	0	4	6	0	12
9	0	8	13	11	0	11	10	12	11
13	0	11	11	15	0	0	0	11	9
0	0	6	11	10	0	0	0	10	12
0	0	0	0	2	0	0	1	0	14
0	11	0	11	12	0	7	7	11	3
12	0	13	12	0	0	0	9	0	6

Figure 1. Position of trees with diseased nuts in order of appearance.

Table 3
Nut infection on coconut by inoculation with liquidized insects

Inoculum source		No. of nuts		
		Total nuts inoculated	Total nuts infected	% success and range
<i>Temnoschoita quadrimaculata</i>	Whole	100	20	20(12-28)
	Mutilated, washed in sterile water	100	2	2(0.8-4.8)
	Mutilated, washed in water-bleach mixture	100	0	0
<i>Carpophilus hemipterus</i>	Whole	100	14	14(7-21)
	Mutilated, water in sterile water	100	1	1(0.9-2.9)
	Mutilated, washed in water-bleach mixture	100	0	0
<i>Oecophila longinoda</i>	Whole	100	10	9(3.5-14.5)
	Mutilated, washed in water	100	0	0
	Mutilated, washed in water-bleach mixture	100	0	0
Control		100	1*	1(0.9-2.9)

* Proximal infection outside wound zone.

Insects in coconut plantations

The insects gathered on and under the sepals of diseased nuts were identified by the ESA entomology laboratory as *Temnoschoita quadrimaculata*, *Diocalandra* sp., *Carpophilus hemipterus* and *Oecophila longinoda*, an ant are very often found in coconut plantations.

Nut infection

All of these insects except for *Diocalandra* sp., made up the basic inoculum for nut infection; the inoculum was made of liquidized insects and was applied to a wound on the pericarp.

The inoculation success rates, varied depending on the inoculum preparation: 20% with *Temnoschoita*, 14% with *Carpophilus* and 9% with *Oecophila* (Table 3). The success rates were virtually nil when the insects had their legs and mandibles removed. Insects disinfected with bleach did not produce any symptoms whatsoever.

Rainfall and nutfall

The weekly nutfall rates were calculated (percentage

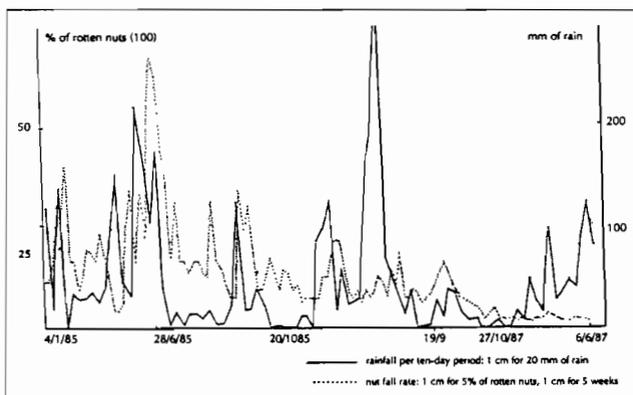


Figure 2. - Time-course of nutfall relation to rainfall.

of rotten nuts compared to the total nuts observed all nutfall combined, during the trial). These rates were used to plot the curves for rot evolution and establish a relationship with the rainfall curves (Fig.2).

The fit of these two curves (curves for nutfall rate evo-

lution and rainfall per ten-day period) revealed a relationship between rainfall peaks and disease peaks, slightly staggered during the main rainy season. The disease regressed during the dry season.

Rainwater and nut infection

The rainwater collected under fronds and in leaf axils was also infectious, even if there were no diseased fruits on the tree. Of 150 nuts inoculated with rainwater collected under a tree with diseased nuts 24 (16%) showed symptoms. This percentage fell to 6% with

Table 4
Inoculum detection in rainwater

Inoculum source	No. of nuts		
	No. of inoculated	No. of rotten nuts	% successful infections
Rainwater under trees with diseased nuts	150	24	16
Rainwater under trees without diseased nuts	150	9	6
Sterile water	150	0	0

rainwater collected under trees without diseased nuts (Table 4). These results clearly confirm the importance of water in epidemic development. Its role in dissemination was one of the reasons the high rate nutfall observed during the rainy season.

Discussion and conclusion

Our results showed that nut rot on coconut may be spread either by simple contact between fruits or via dissemination agents that maintain isolated infections on coconut palms.

Of the different dissemination agents, insects and water play a major role. The importance of rainwater is due to its dual effect on phycomycetes, to which *Phytophthora* belongs. In effect it ensures sporocyst germination, hence the release of zoospores, and also transports propagules (1,6,7). In this water-borne dissemination, splashing phenomena may occur when drops fall directly on sites bearing parasite elements. However, this work suggest that rainwater plays a role in downward vertical dissemination. As it runs over dis-

eased nuts or *Phytophthora* preservation sites, it picks up fungus propagules, transporting various amount depending on the distance covered. Rainwater collected under coconuts 1 m from the ground can still contaminate.

As for insects, their importance is due to their mobility, which enables them to extend their effect over large distances. This means not only single coconut palms but

from one coconut palm to another and from one plot to another. Propagule transfer on the legs and mandibles seems to be the most effective mode of dissemination. As regards the mode and direction of parasite propagule dissemination, our results lead us to conclude that their transfer to healthy parts of the plant via dissemination agents is one likely factor in the propagation of nut disease caused by *Phytophthora*.

Literature

1. Babacauh K.D., 1975. Evolution de la pourriture brune dans les conditions naturelles de la cacaoyère ivoirienne. Café, Cacao, Thé 19: 293-301.
2. Babacauh K.D., 1980. Structure et dynamique des populations de *Phytophthora* sp. parasite du cacaoyer (*Theobroma cacao*). Thèse Docteur d'Etat, Université d'Orsay no. 2344, 180 p.
3. Babacauh K.D., N'Goran N. & Pohé J., 1986. La pourriture du cœur et des noix du cocotier. Rapport d'activités bilan annuel et second semestre 1986, E.N.S.A.A., 65 p.
4. Boccas B., 1979. La reproduction sexuelle chez *Phytophthora* ses voies et quelques unes des conséquences génétiques. Travaux et document de l'ORSTOM. no.100, 187 p.
5. Boccas B. & Laville E., 1976. Les maladies à *Phytophthora* des agrumes. Institut de Recherche sur les Fruits et Agrumes (IRFA), les publications secto 161 p.
6. Duniway J.M., 1979. Water relation of water molds, Ann. Rev. Phytopathol. 17: 431-460
7. Zentmeyer G.A., 1979. Stimulation of sexual reproduction in the A2 mating type of *Phytophthora cinnamomi* by a substance in avocado roots. Phytopathology 69: 1129-1131.

J. Pohé: Ivoirien. Master of Sciences, Teacher Researcher.

AVIS DE CHANGEMENT D'ADRESSE CHANGING OF ADDRESS ADRESVERANDERING CAMBIO DE DIRECCION

Tropicultura vous intéresse! Dès lors signalez-nous, à temps, votre changement d'adresse faute de quoi votre numéro nous reviendra avec la mention "N'habite plus à l'adresse indiquée" et votre nom sera rayé de notre liste.

You are interested in Tropicultura! Make sure to inform us any change of your address in advance. Otherwise your issue will be sent back to us with the postal remarks "Addressee not traceable on this address" and then you risk that your name is struck-off from our mailing list.

U bent in Tropicultura geïnteresseerd! Stuur ons dan uw adresverandering tijdig door, anders riskeert U dat uw nummer ons teruggezonden wordt met de vermelding "woont niet meer op dit adres" en uw naam wordt dan automatisch van de adressenlijst geschrapt.

Si Tropicultura se interesa, comuniquenos a tiempo cualquier cambio de dirección. De lo contrario, la publicación que Ud. recibe nos será devuelta con la mención "No reside en la dirección indicada" y su nombre será suprimido de la lista de abonados.

NOTES TECHNIQUES

TECHNICAL NOTES

TECHNISCHE NOTA'S

NOTAS TÉCNICAS

Parc des ventilateurs et des résistances dans les techniques de séchage adaptées à l'environnement tropical

C. Kapseu^{*1}, J.R. Puiggali^{**}, F. Broto^{**}, M. Roques^{**} & J.P. Nadeau^{***}

Keywords: Drying - Fan - Resistance - Dryer - Developing Country.

Résumé

Pour dimensionner un séchoir, il est nécessaire de connaître les éléments qui entrent dans sa construction. Les ventilateurs et les résistances font partie des éléments principaux du séchoir à ventilation forcée et chauffage de l'air. L'exploitation des catalogues de 33 et 14 fournisseurs français de ventilateurs et de résistances respectivement fait apparaître un parc de plus de 773 ventilateurs et de 226 résistances pour les techniques de séchage. Les principaux ventilateurs se classent ainsi par ordre décroissant: ventilateurs axiaux (58%), ventilateurs centrifuges (41%) et tangentiels (1%). Les caractéristiques de quelques séchoirs et des ventilateurs utilisés dans les unités pilotes de séchage adaptées aux pays en développement dans la littérature sont présentées. Le ventilateur centrifuge est le plus utilisé. L'optimisation des paramètres pertinents de la ventilation (régime du ventilateur, recirculation d'air) est menée en fonction de la durée de séchage.

Summary

Fans and Resistances Park in Drying Technologies Appropriate for Tropical Environment

To design a dryer, it is necessary to master its elements. Fan and resistance are parts of heated and convective dryer. Catalogues analysis of 33 and 14 french suppliers of fans and resistances respectively showed 773 fans and 226 resistances suitable for drying technologies. Fans are classified as follows in decreasing order: axial (58%), centrifugal (42%) and tangential (1%). Specifications of fans used in pilots dryers adapted for developing countries in the literature are presented. Centrifugal fan appeared to be the most used. Optimisation of fan parameters (rating fan, air circulation) are presented as a function of drying time.

Introduction

Les séchoirs sont définis par l'équipement (étuve, etc.), la puissance thermique, la durée de fonctionnement et le mode de chauffage (5,7). Le séchoir à convection forcée est composé entre autres de la chambre de séchage, du ventilateur et de la résistance. Le ventilateur aspire l'air extérieur pour l'envoyer directement sur une batterie de résistances chauffantes. L'air ainsi échauffé est envoyé à l'intérieur de la chambre de séchage. Le choix d'un ventilateur et d'une résistance est rendue difficile par la diversité des fabricants et le nombre de types qui sont mis sur le marché. La sélection des ventilateurs et des résistances pose des problèmes lorsque le coût, la maintenance, la durée de vie et la corrosion sont des facteurs limitatifs. C'est le cas de l'environnement tropical.

Nous nous proposons d'exploiter les catalogues des fournisseurs afin de connaître les caractéristiques des ventilateurs et des résistances dans les techniques de

séchage et de mettre en évidence l'interaction entre les paramètres pertinents du ventilateur. Une attention particulière sera portée sur l'utilisation des séchoirs à convection forcée dans les pays en développement.

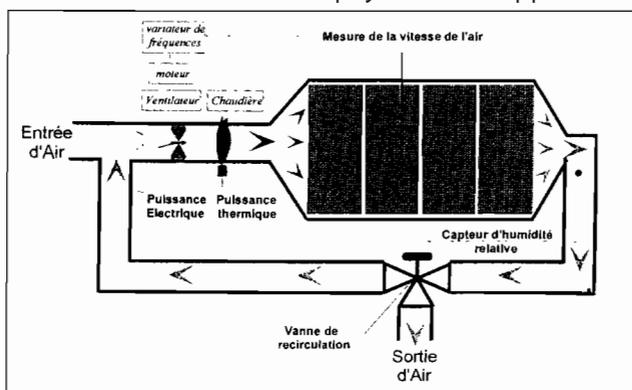


Figure 1: Séchoir à planchettes [4]

* Département de Génie des Procédés et d'Ingénierie, ENSAI, B.P. 455 Ngaoundéré, Cameroun

** Laboratoire de Génie des Procédés de Pau (EA 1932), ENSGTI, Rue Jules Ferry, 64 000 Pau, France.

*** Laboratoire d'Energétique et des Phénomènes de Transfert (UA 873), ENSAM, Esplanade des Arts et Métiers, 33405 Bordeaux-Talence Cedex, France

Adresse de correspondance :

Reçu le 05.02.98 et accepté pour publication le 13.11.98.

Tableau 1
Exemples d'utilisation à grande échelle de séchoir à ventilation forcée en zone tropicale

Caractéristique	Réf. (1)	Réf. (13)	Réf. (14)	Réf.(14)	Réf. (12)
Température de séchage (°C)	45	50-70	40	70	45-65
Durée de séchage (heures)	36	18	24	24	48
Surface de séchage (m ²)	4,05 (5 claies)		2	4	0,81(par claie (15 claies)
Capacité de séchage de produit humide (kg)	50	320	40-50	30-40	120
Produit séché	Igname	Manguue	poisson salé SE-005	foufou SE-010	Fruits et légumes
Dénomination du séchoir				66	
Humidité initiale du produit (%)				8	13-15
Humidité finale du produit (%)	8,8			1000	500
Puissance disponible (W)			500	12	
Consommation max par jour (kWh)				24	
Dépenses énergétiques par cycle deséchage (F CFA par cycle)			720		1440

Matériel et méthodes

L'appareil utilisé pour la conduite du ventilateur et de la recirculation d'air est un séchoir à planchettes de peuplier utilisées pour la fabrication de cagettes (transport de fruits et légumes) (4). Les principaux éléments qui le composent sont représentés sur la figure 1. On distingue les palox, le système de propulsion de l'air (ventilateur, moteur, variateur de fréquence, système de transmission), le système de chauffage (chaudière), un capteur d'humidité relative de l'air associé à la vanne trois voies de recirculation d'air de sortie (contrôle et régulation sur cette humidité relative) et un système de mesure de vitesse d'air au sein des palox.

Définition du besoin

En matière de séchage, poser son problème n'est pas facile, mais choisir une solution technique est devenu difficile pour l'acheteur. Lorsqu'on compare des propositions pourtant établies à partir du même cahier des charges, on trouve des différences de caractéristiques techniques qui vont du simple au double, par exemple l'un propose 3 ventilateurs quand un autre en propose 6 (7). Le choix d'un ventilateur ou d'une résistance est déterminé par la qualité, le prix et le service que rend le matériel à l'utilisateur. L'acheteur sera d'autant plus satisfait que le matériel est adapté à sa situation c'est-à-dire à son problème de séchage.

Les ventilateurs sont définis selon leur taille (représenté par le diamètre de la roue), leur puissance, l'intensité du courant qui les traverse, la tension, la vitesse de rotation, le niveau sonore, le débit, la pression et le parc. Le débit qui est la quantité d'air à véhiculer. La pression qui est la résistance créée par les gaines, les coudes, les grilles et les filtres... Cette résistance s'appelle la perte de charge.

Les résistances sont définies par leur puissance, la tension d'alimentation et sa nature, l'intensité du courant, la charge de surcharge des résistances blindées et le parc. Les résistances blindées fonctionnent indifféremment sur courant continu ou alternatif. L'intensité d'une résistance blindée devra rester dans certaines limites. La résistance par mètre de la longueur chauffante d'une résistance blindée doit également se maintenir dans une certaine limite. Une fois la puissance totale de la résistance calculée, il y a lieu de déterminer la surface de la résistance sur laquelle cette puissance devra être répartie, c'est-à-dire, il faut chercher la

charge ou la puissance spécifique. Elle peut être réduite en W/cm pour des diamètres de blindage connus, en multipliant le W/cm² par la circonférence du tube de blindage (exprimée en cm).

Intérêt et importance des séchoirs électriques en zone tropicale

Quand on parle de l'énergie en zone tropicale, on pense directement à l'énergie solaire. Or celle-ci est dispersée et nécessite des capteurs, donc des investissements. On n'oublie que l'énergie électrique s'est beaucoup développée ces dernières années dans les pays en développement (tableau 1). Certaines zones rurales sont bien fournies en électricité, c'est le cas par exemple de la région de l'ouest au Cameroun, le développement de l'énergie électrique a permis à plusieurs zones rurales de se désenclaver. Les séchoirs solaires tels qu'ils ont été conçus jusqu'à présent sont isolés de la maison principale. Or la transformation des produits alimentaires sont principalement effectués par les femmes. Il serait judicieux d'intégrer le séchoir dans l'environnement ménager de la femme. Dans ce cas, le séchoir deviendrait comme la casserole, un maillon de la chaîne des équipements ménagers. Ceci ne peut se faire qu'en utilisant l'énergie électrique qui présentent beaucoup d'avantages (tableau 2). De plus, l'utilisation de l'énergie solaire est très limitée en zone humide à cause de la pluie et cette énergie n'est valable que le jour (tableau 3). Les aliments en cours de séchage reprennent de l'humidité la nuit et se détériorent. L'utilisation de l'énergie électrique permet non seulement de gagner du temps mais aussi de garantir la qualité des produits séchés.

Ventilateur et résistance

L'exploitation des catalogues de 33 et 14 fournisseurs français de ventilateurs et de résistances respectivement fait apparaître un parc de plus 773 ventilateurs et de 226 résistances pour les techniques de séchage. Les principaux ventilateurs se classent ainsi par ordre décroissant: ventilateurs axiaux (58%), ventilateurs centrifuges (41%) et tangentiels (1%). Plus de la moitié des ventilateurs sont constitués de matière plastique. La répartition des résistances en fonction du matériau de réalisation se présente comme suit: inox (82%), acier (18%).

Tableau 2
Raisons du choix du séchoir électrique

Paramètre	Avantage	Application
Produit commercial	Gain de temps et contraintes des normes	Urbanisation poussée en Afrique, Exportation
Quantité du produit	Grande quantité de produit à sécher	Augmentation des surfaces cultivées Augmentation de la population
Coïncidence de la période de récolte avec la saison des pluies	Conduite du séchage en toute saison	Stockage et transport facile à moindre coût
Climat équatorial humide	Chauffage de l'air	Forte humidité de l'air
Présentation du séchoir	Esthétique	Utilisation aisée par les femmes en particulier
Durée de vie du séchoir	longue	Conservation du séchoir à l'abri des intempéries
Qualité du produit	Obtention de l'humidité la plus constante possible	Respect des normes
Recyclage de l'air	Economie d'énergie	
Durée de séchage	Gain de temps	
Surveillance	On peut faire autre chose durant le séchage	Protection contre les insectes et les rongeurs

Discussion

Les données rassemblées sur les caractéristiques des ventilateurs en usage dans quelques techniques de séchage (tableau 4) montrent que ces appareils sont de faible débit excepté celui en usage sur le séchoir solaire. La puissance de chauffe des résistances varie de 22,5 kW (2) à 60 W (6).

Les exemples du séchage du tableau 4 ont été choisis pour les raisons suivantes:

1. Une très petite échelle voisine de l'échelle artisanale;
2. Une puissance du ventilateur élevée avec des débits d'air raisonnables;
3. Traitement de petites quantités de produits;
4. La nature des produits. Nous avons choisi les séchoirs qui traitent principalement les produits tropicaux périssables tels que les fruits et légumes.

Les lignes de flux des ventilateurs axiaux sont rejetées sur les parois du conduit alors que celles des ventilateurs centrifuges redeviennent rapidement parallèles

Tableau 3
Les limites des énergies solaire et électrique

Energie	limites
solaire	<ul style="list-style-type: none"> - Difficulté de contrôler les paramètres de séchage, - Durée de séchage plus longue - Forte dépendance vis-à-vis des conditions climatiques (caprices du ciel) - Problèmes de stockage de l'énergie solaire pour la nuit - Faible qualité nutritionnelle et microbiologique du produit séché - Séchage non uniforme - Destruction de certaines vitamines
électrique	<ul style="list-style-type: none"> - Coûts d'investissement et de fonctionnement élevés - Besoin en formation de la main-d'œuvre pour la maintenance - Coût du transport du produit humide jusqu'au séchoir

à la conduite. Les ventilateurs centrifuges présentent plus d'avantages (moins de bruit, variation de puissance facile, températures élevées, changement de moteur facile, profil du flux d'air plus régulier et plus grande puissance pour un même débit) que les ventilateurs axiaux (coût moins élevé, rendement plus élevé, encombrement réduit) (Tableau 5). Il est conseillé de séparer le moteur de flux d'air (transmission par courroie) et au dessus de 3 kW de puissance du ventilateur, l'alimentation électrique doit être triphasée (9). Les ventilateurs tangentiels sont utilisés dans le cas de très faibles pertes de charges.

Il existe un fort couplage entre les chambres de séchage, le produit séché et les systèmes de conditionnement d'air (ventilateur, résistance). Le choix d'un ventilateur est tributaire des contraintes de séchage. Celles-ci varient durant les cycles et selon les besoins de production. Les critères peuvent imposer des systèmes de ventilation à vitesse variable. La figure 2 montre, pour un séchoir pour planchette de peuplier, l'évolution de la vitesse de rotation et la manœuvre de la vanne de recirculation trois voies au cours du séchage.

On constate les deux éléments suivants:

- le produit se rétracte, les pertes de charge s'en trouvent diminuées et la section de passage augmentée. Pour ce type de ventilateur centrifuge, l'effet des pertes de charge l'emporte et le régime du ventilateur baisse au cours du séchage.

- pour la courbe de recirculation de l'air, on retrouve les trois zones distinctes liées à la cinétique de séchage. La montée en température du produit, dans un premier temps, provoque une augmentation de la recirculation. Ensuite, durant la phase isenthalpe, cette recirculation diminue progressivement jusqu'à ce que le produit atteigne la teneur en eau critique, provoquant alors une diminution du flux masse et donc une augmentation de la température (4).

Tableau 4
Caractéristiques des ventilateurs dans quelques techniques de séchage sous 220 V

Séchoir	Type de ventilateur	Courant (A)	Puissance (W)	Débit d'air (m ³ /h)	Vitesse de rotation ou de l'air	Produits Séchés	Référence
Solaire	Centrifuge (radial)	0,33	70	1360	1400 (trs/min)	Fruits et légumes	(2)
Solaire	Centrifuge (radial)	2,4	520	4100	1365 (trs/min)	Plantes aromatiques	(2)
Convectif	Centrifuge	0,8	65	25 à 126*	1 à 5 m/s	Gels	(7)
Mixte	Centrifuge	0,8	170		2,5 m/s	Supports de catalyseurs	(7)
Convectif	Centrifuge (radial)		900	113*	1 m/s	Fruits et légumes	(1)
Convectif	Centrifuge		3000	225*		Fruits et légumes	(1)
Convectif	Centrifuge	4,5	2200	82 à 440	2830	Abricots	(10)
Convectif			160	250	1,5-2 m/s	Fruits et légumes	(12)
Convectif			900	8000	2 m/s	Fruits et légumes	(11)

*Valeur calculée à partir de la vitesse de l'air et de la section de la veine

N.B.: La puissance (P) nécessaire pour l'élévation de la température d'un débit d'air est égal au débit (D) multiplié par 0,34 multiplié par la différence de température (Delta T).

Soit $P = D \times 0,34 \times \Delta T$ avec P en Watts, D en m³/h et delta T en degrés représentant la différence entre la température désirée et la température minimale de départ.

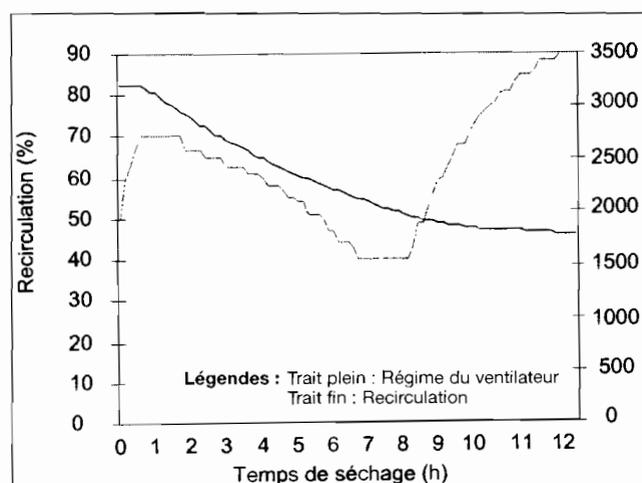


Figure 2: Conduite du ventilateur et de la recirculation d'air

Tableau 5
Avantages et inconvénients des ventilateurs

Ventilateurs	Avantages	Inconvénients
centrifuges	Portée importante d'où forte pression de sortie Canalisation aisée du flux d'air à la sortie Recirculation possible Accouplement facile (séparation de la partie électrique de la turbine) Moins de bruits Protection contre l'humidité aisée	Faible champ d'attaque
axiaux	Front d'attaque de l'air important Turbulence élevée Séchage dans un grand volume	Faible portée Mal indiquée pour le séchage tunnel

L'environnement agressif des séchoirs et la diversité des produits à sécher imposent le choix des résistances en inox. Mais le coût est limitatif pour les pays en développement. De même le choix doit être porté sur les ventilateurs en plastique à cause de leur résistance aux intempéries. Leur inconvénient réside dans le changement en cas de casse. L'approvisionnement en pièces de rechange des ventilateurs et des résistances coûtent cher aux utilisateurs des pays en développement. Ceci justifie la formation du personnel local à la maintenance préventive et curative de ces appareils. L'utilisation des pièces de rechange localement appropriées permettrait d'augmenter la durée de vie des ventilateurs et des résistances.

Conclusions

Le séchage traditionnel par exposition au soleil est très pratiqué en zone tropicale, mais cette technique présente des limites. Devant l'exigence de la qualité des produits séchés et de la quantité des produits à sécher en un temps relativement court, les professionnels ont recours à l'utilisation des séchoirs à convection forcée.

Les turbo-ventilateurs (centrifuges) ont une portée beaucoup plus grande que les ventilateurs axiaux. Ceux-ci présentent par contre un front d'attaque de l'air plus important. Ainsi pour des produits présentant une grande perte de charge (lit fixe en amas par exemple) les ventilateurs centrifuges seront plus indiqués. Par contre pour des produits légers avec une grande surface d'échange (feuilles par exemple) les ventilateurs axiaux sont adaptés.

Les ventilateurs centrifuges sont les plus utilisés dans les techniques de séchage à très petite échelle.

Remerciements

Ce travail a été soutenu par l'Agence Universitaire de la Francophonie (AUPELF-UREF) dans le cadre d'une prime de Recherche du Fonds francophone de la Recherche.

Références bibliographiques

1. Bouka R., Approche systémique de la production de la farine d'igname, Actes du séminaire séchage des produits alimentaires à haute teneur en eau en Afrique francophone, Avril 1997, Ouagadougou, Burkina Faso (Ed.: Gret, Paris) pp. 88-99.
2. Desmorieux H., 1992, "le séchage en zone subsaharienne une analyse pratique face aux réalités géographiques et humaines", Thèse de l'INPL, Nancy, 234 p.
3. Häuser M. & Ankila O., 1995, Manuel du séchage solaire au Maroc, GATE/GTZ, Allemagne, pp. 11-13.
4. Hugget A., Nadeau J.-P. & Sebastian P., 1997, Evolution des méthodes de modélisation des séchoirs et d'optimisation de leur conduite, 15èmes journées de l'AFSIA, Lyon, 3 et 4 avril, pp. 1-19.
5. Kapseu C., 1997, Mise au point d'un séchoir pour produits oléagineux, Rapport d'activités, AUPELF-UREF/ENSGTI, Pau, France, 83 pp.
6. Lefèvre A., 1983, Modélisation du capteur plan à air chaud et application au séchage de produits agricoles, in : Séchage solaire et développement rural, Actes des journées internationales de Bordeaux, pp. 53-66.
7. More-Chevalier F., 1996, Séchage du bois: Le séchoir ou la difficulté de devenir une machine de production, Revue du Bois, 3: 21-25.
8. Moynes C., Kechaou N., Do Amaral Sobral P.J., 1992, Roques M.A., Cairault A. & Bizot H., Séchage et mécanismes de transport de l'eau dans les gels. Entropie, 167, 9,17.
9. Rozis J.-F., 1995, Sécher des produits alimentaires, Techniques, procédés, équipements, Collection le point sur, GRET/Ministère de la Coopération/CTA, Paris, pp. 133-134.
10. Schlienger M., 1991, Parc des réacteurs et des équipements de séchage en chimie fine, Informations chimie 333, 172-173.
11. Senhaji F.A., Bimbenet J.J., Hakam B., 1991, Quelques données sur le séchage de l'abricot: cinétique de séchage et qualité du produit séché, Sciences des Aliments, 11, 499-512.
12. Sy O., Séchoir mixte avec chauffage supplémentaire à gaz pour fruits et légumes tropicaux, Actes du séminaire séchage des produits alimentaires à haute teneur en eau en Afrique francophone, Avril 1997, Ouagadougou, Burkina Faso (Ed.: Gret, Paris) pp. 117-121.
13. Traoré A., Fiche technico-économique de séchoir en situation de production, Actes du séminaire séchage des produits alimentaires à haute teneur en eau en Afrique francophone, Avril 1997, Ouagadougou, Burkina Faso (Ed.: Gret, Paris) pp. 122-127.
14. Tsengue-Tsengue, Sécheur de produits thermosensibles (produits alimentaires, tradi-thérapeutiques et pharmaceutiques), Actes du séminaire séchage des produits alimentaires à haute teneur en eau en Afrique francophone, Avril 1997, Ouagadougou, Burkina Faso (Ed.: Gret, Paris) pp. 100-105.

C. Kapseu: Camerounais. Docteur d'Etat, Responsable du Département de Génie des Procédés et d'Ingénierie - ENSAI, B.P. 455 Ngaoundéré, Cameroun.

J.R. Puiggali: Français. Professeur, Responsable de la formation doctorale à l'ENSGTI - Rue Jules Ferry, 64 000 Pau, France.

F. Broto: Français. Professeur, Directeur des Etudes à l'ENSGTI - Rue Jules Ferry, 64 000 Pau, France.

M. Roques: Français. Professeur, Directeur à l'ENSGTI - Rue Jules Ferry, 64 000 Pau, France.

J.P. Nadeau: Français. Professeur Agrégé, Enseignant à l'ENSAM - Esplanade des Arts et Métiers, 33405 Bordeaux-Talence Cedex, France

BIBLIOGRAPHIE

BOEKBESPREKING

BIBLIOGRAPHY

BIBLIOGRAFIA

Prix, produits et acteurs: Méthodes pour analyser la commercialisation agricole dans les pays en développement.

G. Scott et Dany Griffon (Editeurs)

Editions Karthala, CIRAD et CIP, 1998. Format 16 x 24 cm, 498 p.

Depuis plusieurs années, l'agriculture des pays en développement est soumise à de profondes mutations. Les efforts de formation, de recherche et de développement ont porté pendant des décennies sur l'accroissement de la productivité. Plus récemment, l'importance des activités de commercialisation des produits des exploitations s'est imposée.

L'objectif de cet ouvrage est de présenter un ensemble de méthodes permettant d'étudier la commercialisation des produits agricoles dans les pays en développement. Ces méthodes intègrent la recherche appliquée en sciences sociales, mais portent plus particulièrement sur l'économie agricole, et notamment sur les stratégies intérieures par opposition aux stratégies de commercialisation extérieure.

Les méthodes de recherche présentées ici comprennent deux grandes catégories: méthodes de terrain et méthodes d'analyse. Les premières portent essentiellement sur les procédures de collecte de données, alors que les secondes concernent plus particulièrement l'interprétation de données quantitatives; mais il s'agit là d'une distinction purement arbitraire qui ne se retrouve pas dans la pratique. En effet, les méthodes de terrain supposent le recours aux procédures analytiques, non pas pour analyser les données, mais pour en organiser la collecte de façon systématique, et s'assurer de la cohérence entre les notions théoriques employées et les mesures empiriques utilisées pour les quantifier; de la même façon, l'analyse de données mal définies, en ce qui concerne leurs origines et les raisons pour lesquelles elles ont été collectées, peut entraîner de graves erreurs d'interprétation.

Compte tenu de cette mise en garde, et de la chronologie méthodologique qu'implique ce type de recherche, à savoir collecte puis analyse des données, la première partie de cet ouvrage est consacrée aux méthodes de terrain, la seconde aux méthodes d'analyse.

Cet ouvrage est destiné à servir de référence à ceux qui s'intéressent à l'analyse de la commercialisation des produits agricoles dans le contexte des pays en développement et, en premier lieu, aux chercheurs des systèmes nationaux de recherche agricole (SNRA) d'Afrique, d'Asie et d'Amérique latine. Les textes ont été rédigés par un ou plusieurs chercheurs, ou ont largement bénéficié de leur contribution. Cet ouvrage devrait également être utile aux enseignants ainsi qu'aux spécialistes de politiques de développement.

Un certain nombre de copies sont disponibles pour les chercheurs des pays en développement. S'il vous plaît, contactez le CIP cip@cgiar.org ou j.sears@cgiar.org.

Faune sauvage africaine: la ressource oubliée

Ouvrage collectif sous la direction de Ph. Chardonnet. Format 18,5 x 26,7 cm; Tome I: 416 p., Tome II, 288 p. Nombreux tableaux, cartes, schémas; photos en couleurs. Edition de l'Office des Publications officielles des Communautés européennes, Luxembourg 1996. Coordination: Fondation internationale pour la Sauvegarde de la Faune, en collaboration avec le CIRAD-EMVT.

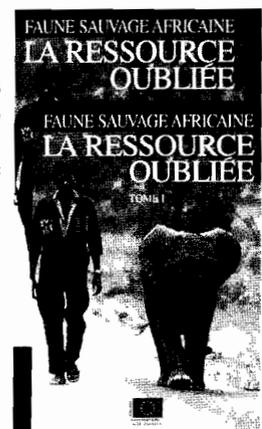
Prix public port payé (pour les deux volumes) 425 FRF pour France et Etranger par voie maritime; 465 FRF Etranger par avion.

Ces deux remarquables volumes constitueront un jalon dans les publications en langue française consacrées à l'exploitation rationnelle et durable de la faune en Afrique.

Le premier volume rappelle fort utilement le très important rôle sociologique des animaux sauvages dans la vie courante, ainsi que les apports nutritionnels méconnus.

A partir du peu d'informations existantes, les différents auteurs ont fait preuve de créativité en examinant le plus objectivement possible les impacts économiques, aussi bien au niveau de l'individu ou de la petite communauté que par rapport au Produit Intérieur Brut.

Les modes d'exploitation, la conservation des richesses naturelles, l'état actuel de la faune sauvage, le respect de l'environnement sont clairement analysés ainsi que les aspects institutionnels et la législation. Tous les animaux classiques depuis l'aulacode jusqu'au zèbre, sont décrits très complètement en 24 fiches techniques. Ce tome à lui seul constitue déjà un ouvrage de référence.



Le deuxième volume est consacré à des monographies associées à la faune sauvage de six pays africains: Burkina Faso, Côte-d'Ivoire, République Centrafricaine, Ethiopie, Tanzanie et Zimbabwe. Autant d'exemples de milieux écologiques différents, ce qui fournit une vaste gamme de données dont on peut bien tirer des leçons. On découvre aussi le décalage entre l'importance réelle de la faune (à tous les points de vue, mais surtout pour les pays concernés) et l'image qu'on en a habituellement ailleurs.

J.H.

A Trainer's Guide for Participatory Learning & Action

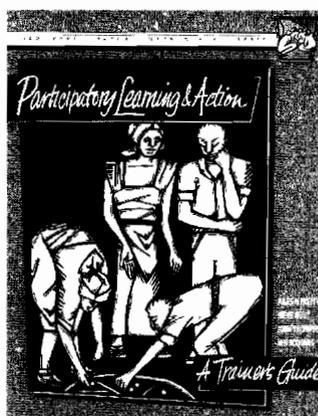
IIED participatory methodology series

Jules N. Pretty, Irene Fuijt, John Thompsom, Ian Scoones

Published by the International Institute for Environment and Development, London.

IIED - London, 1995, 267 pages. ISBN: 1 899 825 002

Price: £ 14.95



A guidebook designed for both experienced and new trainers who have an interest in training others in the use of participatory methods.

Contents:

Part I - In this part principles, methods and underlying concepts/frameworks are explained, together with a lot of practical advice or tips.

Ch 1 - deals with the basic principles of interactive training, compares different methods of instruction and suggests effective ways to establish an atmosphere that encourages learning.

Ch 2 - focuses on the principal roles, skills and techniques that the trainer-facilitator should consider before undertaking any training activity.

Ch 3 - assesses the implications of managing group dynamics and building the interdisciplinary teams that are so essential in the practice of participatory research and development.

Ch 4 - is a brief summary of the principles of participatory inquiry and how to deal with these in training.

Ch 5 - provides the context for the use of further exercises for training in three groups of participatory methods: semi-structured interviewing; visualisation and diagramming methods; and ranking and scoring methods.

Ch 6 - examines the complexities of training in a real-world setting and how to deal with them.

Ch 7 - discusses the conditions necessary for preparing a training course or programme on participatory methods.

Part II contains details of 101 games and exercises for use in workshop and classroom settings and in the field - all referenced throughout Part 1.

Lay-out and structure:

The text is very well structured and has a modular lay-out, so that the reader easily can pick out some topics of special interest, rather than reading the guide from A to Z.

At the beginning of each chapter, the chapter contents are displayed in a special "box".

Throughout this guide, explications on specific topics, examples, training suggestions, ... etc are clearly presented in "text-boxes".

Comments:

Although this guide contains a wealth of practical detail, it deals more with participatory attitudes, approaches and ways of interacting than with specific participatory methods or analytical tools. The reader who consults this guide in the hope of finding a blue-print solution to participatory field research could be slightly disappointed.

Theoretical background and concepts are only briefly explained or referenced. However a list of handbooks and recommended works can be found in the annexes.

Conclusion:

This guide is a valuable aid for all people engaged in participatory research and development programmes.

Available from:

Marilyn John, The Bookshop, IIED, 3 Endsleigh Street, London WC1H 0DD

Tel.: +44(0)171 388 2117; Fax: +44(0)171 388 2826; E-mail: iieduk@gn.apc.org

P. Van Damme

AGRI-OVERSEAS vzw. is een vereniging die opgericht werd met als doel beroepsbanden op te bouwen tussen alle krachten die overzee voor plattelandsontwikkeling ijveren. Zij publiceert een wetenschappelijk en informatief tijdschrift.

"**TROPICULTURA**" dat gewijd is aan de plattelandsproblematiek in ontwikkelingslanden en door de Directie Generaal van de Internationale Samenwerking (D.G.I.S.) driemaandelijks uitgegeven wordt.

Organisatie: Agri-Overseas is uit Belgische instellingen samengesteld: de vier faculteiten in Landbouwwetenschappen (Gembloux, Gent, Leuven en Louvain-la-Neuve), de twee faculteiten Diergeneeskunde (Gent en Liège), het Departement Diergeneeskunde van het Instituut voor Tropische Geneeskunde te Antwerpen, de Afdeling Landbouwwetenschappen van de Université Libre de Bruxelles, de Facultés Universitaires Notre-Dame de Namur, de Fondation universitaire Luxembourgeoise (Arlon), de Directie Generaal van de Internationale Samenwerking en individuele leden.

Raad van Beheer: actueel samengesteld uit Professor Dr J. Vercruyse, Voorzitter, Dr. Ir. G. Mergeai, Afgevaardigde Beheerder, Dr E. Thys, Secretaris, Ere-professor Dr P. Kageruka, Schatbewaarder, Ere-professor Dr. Ir. J. Hardouin, Lid

Redactiecomité: actueel samengesteld uit Dr Ir G. Mergeai, Hoofdredacteur, en Gedelegeerde Redacteurs Professor J. Deckers, Ecologie, Land en Waterbeheer, Professor Dr J-C. Micha, Visvangst en Visteelt, Professor C. Renard, Agrostologie en Fytotechnie, Dr E. Thys, Dierenproductie en Fauna, Professor Dr Ir P. Van Damme, sectie Land- en Bosbouw, Professor Dr J. Vercruyse, Diergezondheid.

Andere onderwerpen, zoals bv. Economie, sociologie... zullen door het Secretariaat behandeld worden.

Secretariaat: Agri-Overseas/ Tropicultura c/o D.G.I.S., Bur. T.511, Brederodestraat, 6- 1000 Brussel, België.

Tel.: 02/519.04.76 - 519.03.49.

E-mail: MJDesmet@badc.fgov.be
LDemaeght@badc.fgov.be

Bedeling: gratis op schriftelijk verzoek.

INSTRUCTIES AAN DE AUTEURS

Algemene voorwaarden

Manuscripten (één origineel en vier kopieën) worden gezonden aan Agri-Overseas aan het bovenvermeld adres. Ze mogen in één van de volgende vier talen geschreven worden: Frans, Engels, Nederlands of Spaans. Sluit een aanbiedingsbrief in met opgave van het correspondentie-adres. Elk artikel zal worden voorgelegd aan twee deskundigen en kan aan de auteurs worden teruggestuurd voor bijwerking. Eén exemplaar blijft eigendom van Agri-Overseas. De eerste auteur van elk gepubliceerd artikel zal 20 afdrucken van het artikel ontvangen.

Praktische richtlijnen

Manuscripten mogen niet meer bedragen dan 10 getypte bladzijden op wit DIN A4 (21 x 29,7 cm) met dubbele regelstand en 5 cm linkse marge of op diskette.

Opstelling

Titel: bondig doch informatief.

Auteurs: onder de titel en voorafgegaan door hun initialen (voluit voor de Dames). Institutionele adressen worden gegeven onderaan de eerste bladzijde.

Keywords: maximum 7 in het Engels.

Samenvatting: in de taal van het artikel (maximaal 200 woorden) en in het Engels.

Inleiding.

Materiaal en methodes (of waarnemingen).

Resultaten.

Discussie.

Dankbetuiging: indien nodig.

Literatuurlijst: gerangschikt volgens alfabetische volgorde van auteurs-namen en genummerd van 1 tot x. In de tekst wordt naar deze (tussen haakjes) verwezen.

De referenties vermelden:

- Voor tijdschriften: auteursnamen met initialen, jaar van publikatie, volledige titel van het artikel in de oorspronkelijke taal, naam van het tijdschrift, nummer van de jaargang (onderlijnd), eerste en laatste bladzijde van het artikel.
Voorbeeld: Poste G., 1972, Mechanisms of virus induced cell fusion. Int. Rev. Cytol. **33**, 157-222.
- Voor boeken: auteursnamen met initialen, jaar van publikatie, volledige titel van het boek, naam van de uitgever, plaats van publikatie, eerste en laatste bladzijde van het geciteerde hoofdstuk.
Voorbeeld: Korbach M.M. & Ziger R.S., 1972, Heterozygotes detection in Tay-Sachs disease. A prototype community screening program for the prevention of recessive genetic disorders. pp 613-632 in: B.W. Volks en S.M. Aronson (Editors), Sphingolipids and allied disorders Plenum, New York.

Tabellen en figuren dienen zorgvuldig ontworpen op afzonderlijke bladzijden genummerd met Arabische cijfers aan ommezijde. Figuren zullen professioneel worden weergegeven. Zend kontrastrijke, niet gemonteerde foto's op glanzend papier en genummerd aan ommezijde. Titels en onderschriften worden weergegeven op een afzonderlijke bladzijde.

- Aanbevelingen:**
- Vermijd het gebruik van voetnoten
 - Vermijd het gebruik van koppeltekens in de tekst
 - Vermijd het gebruik van onnodige hoofdletters
 - Duid de nationaliteit, het diploma en de functie aan van elke auteur
 - Geef de Engelse vertaling van de titel

Recht opgemaakte manuscripten kunnen worden afgewezen of zullen de publikatie ervan vertragen.

TROPICULTURA

1998-99 Vol.16-17 N°3

Four issues a year (3th timester of 1999)

CONTENTS

ORIGINAL ARTICLES

- Genotype by Environment Interaction and Testing Environments for Plantain and Banana (*Musa* spp. L.)
Breeding in West Africa (*in English*)
R. Ortiz & Ilse de Cauwer 97
- Optimizing Sample Surveys in Farming Systems Research (*in French*)
H. De Groote & O. Traoré 103
- Effect of Goat Digestive Tractus on the Seeds Germination of *Zizyphus mauritiana* Lam. (*in French*)
M. Guèye, P.I. Samb & A. Nongonierma 109
- Supply Response to Risk : The Case of Cereal Sector in the North of Tunisia (*in French*)
D. Méhouachi & R.F.J. Romain 113
- Physical-Chemical Characteristics of some Cassava Traditional Meals (foutou, placali and kokondé)
(*in French*)
Virginie Zoumenou, F. Aboua, D. Gnakri & A. Kamenan 120
- Effect of the Density on the Biomass Production on African Giant Snails *Archachatina marginata* in
Benin (*in French*)
O.D Koukandé, M. Ehouinsou & G. Dossou-Gbété 127
- Synthesis of Results on Coffee Agronomy Research in Rwanda on 31 March 1994 (*in French*)
V. Rutunga, F. Kavamahanga & C. Nsengimana 130
- Influence of Various Physicochemical Treatments of *Mucuna pruriens* Seeds on the Nutrient Chemical
Composition (*in French*)
C.S. Dossa, G.A. Mensah, A.D. Dossa & C. Adoun 141
- Rhodeps Grass Evaluation of Rhodes Grass Cultivars under Emirates Conditions (*in English*)
Y.M. Ibrahim 147
- Factors Involved in the Development of Nutfall Due to *Phytophthora Katsurae* in Ivory Coast (*in English*)
J. Pohé 150
- TECHNICAL NOTES
- Fans and Resistances Park in Drying Technologies Appropriate for Tropical Environment(*in French*)
C. Kapseu, J.R. Puiggali, F. Broto, M. Roques & J.P. Nadea 154
- BIBLIOGRAPHY 159

TROPICULTURA is a peer-reviewed journal indexed by AGRIS, CABI and SESAME

GDIC

DGCI