

TROPICULTURA

2006 Vol. 24 N°4

Trimestriel (octobre- novembre- décembre)

Driemaandelijks (oktober- november- december)

Se publica po año (octubre- noviembre- diciembre)



Vache comorienne, Les Comores (Mohéli), décembre 2002.

Crédit: Vétérinaires Sans Frontières, Belgium.

Editeur responsable/ Verantwoordelijke uitgever: J. Vercruysse
Square du Bastion 1A Bolwerksquare
1050 Bruxelles / Brussel

Avec les soutiens
de la Direction générale de la Coopération au Développement DGCD
www.dgdc.be
du Service public Fédéral Affaires étrangères, Commerce extérieur
et Coopération au Développement
www.diplobel.fgov.be,
et de la Région Bruxelles Capitale

Met de steun van
de Directie-Generaal Ontwikkelingssamenwerking DGOS
www.dgdc.be
de Federale Overheidsdienst Buitenlandse Zaken, Buitenlandse Handel
en Ontwikkelingssamenwerking
www.diplobel.fgov.be
en van het Brusselse Gewest

BUREAU DE DEPOT – AFGIFTEKANTOOR
BRUXELLES X / BRUSSEL X



ARTICLES ORIGINAUX/OORSPRONKELIJKE ARTIKELS/ARTICULOS ORIGINALES

N₂ Fixation by Soybean in the Nigerian Moist Savanna: Effects of Maturity Class and Phosphorus Fertilizer Fixation d'azote par le soja dans les savanes humides du Nigeria: effets de la période de maturité et de l'engrais phosphaté N ₂ fixatie door de sojaboon in de Nigeriaanse vochtige savanne: effect van de rijpheidsperiode en van fosforhoudende meststof Fijación de la nitrogena por la soja en las sabanas húmedas de Nigeria: efectos del periodo de madurez y del abono fosfatado I.J. Ogoke, A.O. Togun, R.J. Carsky & K.E. Dashiell	193
Amélioration du statut organique d'un sol ferrugineux tropical lessivé sous jachère artificielle à <i>Andropogon</i> spp. au Burkina Faso: effet des traitements sur la chimie du sol Verbetering van het organische materiaalgehalte in een uitgeoogde tropische ijzerhoudende bodem onder een braaklandbegroeiing met <i>Andropogon</i> spp. (Burkina Faso): behandelingseffecten op de chemische structuur van de bodem Mejoramiento del contenido de materia orgánica en un suelo gris ferruginoso en barbecho artificial de <i>Andropogon</i> spp. en Burkina Faso: efectos de los tratamientos en la composición química del suelo N.A. Somé, V. Hien & S.J. Ouédraogo	200
Influence de <i>Boscia senegalensis</i> (Pers) Lam. Ex Poir. (Capparaceae) sur les capacités de dispersion de <i>Dinarmus basalis</i> Rond. (Hymenoptera- Pteromalidae) dans les systèmes de stockage traditionnels de niébé Effect van <i>Boscia senegalensis</i> (Pers) Lam. Ex Poir. (Capparaceae) op de verspreidingscapaciteiten van <i>Dinarmus basalis</i> Rond (Hymenoptera- Pteromalidae) in de traditionele opslag van cowpea Influencia de <i>Boscia senegalensis</i> (Pers) Lam. Ex Poir. (Capparaceae) en las capacidades de diseminación de <i>Dinarmus basalis</i> Rond. (Hymenoptera- Pteromalidae) en los sistemas tradicionales de almacenaje de caupi (<i>Vigna unguiculata</i>) A. Doumma & I. Alzouma	208
Agro-biodiversity in Subsistence Farming Systems of South Somalia –Collection and Agronomic Assessment of Somali Sorghum (<i>Sorghum bicolor</i> (L.) Moench) Germplasm Agro-biodiversité dans les systèmes agricoles de subsistance de la Somalie du sud –collection et évaluation agronomique du germoplasme de sorgho (<i>Sorghum bicolor</i> (L.) Moench) somalien Agro-biodiversiteit in overlevingslandbouwsystemen in Zuid-Somalië –verzameling en landbouwkundige evaluatie van verschillende sorghum-accessies (<i>Sorghum bicolor</i> (L.) Moench) Agro-biodiversidad en los sistemas agrícolas de subsistencia en Somalia del Sur –Recolección y evaluación agronómica del germoplasma de sorgho somali (<i>Sorghum bicolor</i> (L.) Moench) M. Manzelli, S. Benedettelli & V. Vecchio	213
Régénération <i>in vitro</i> de plantes de tomate <i>Lycopersicon esculentum</i> Mill. adaptées au NaCl <i>In vitro</i> regeneratie van NaCl-aangepaste tomatenplanten (<i>Lycopersicon esculentum</i> Mill.) Regeneración <i>in vitro</i> de plantas de tomate (<i>Lycopersicon esculentum</i> Mill.) adaptadas al NaCl Messaï Abir, C. Hannachi & E. Zid	221
Mise en évidence d'un agent coagulant utilisable en fromagerie dans les fruits de <i>Balanites aegyptiaca</i> Studie van een stollingsagent bruikbaar in de kaasfabricage die aanwezig is in de vruchten van <i>Balanites aegyptiaca</i> Puesta en evidencia de un agente coagulante aprovechable en industria quesera en las frutas de <i>Balanites aegyptiaca</i> D.G. Libouga, Dominique Vercaigne-Marko, Sana Longa Djangal, Iliassou Choukambou, A.L. Ebangi Messine Ombionyo, R.G. Beka & D. Guillochon	229
Analyse économique de la production de purée de tomate à petite échelle au Bénin Economische studie van de kleinschalige productie van tomatenpuree in Benin Análisis económico de la producción a pequeña escala de puré de tomates en Benin J. Dossou, I. Soulé & Marcelline Montcho	239
Caractérisation de la fertilité du sol en fonction des mauvaises herbes présentes Karakterisering van de bodemvruchtbaarheid op basis van het aanwezige onkruid Caracterización de la fertilidad del suelo según las malezas presentes M. M'Biandoum, H. Guibert & J.P. Olina	247
LES ACTIONS DE LA DGCD/DE ACTIVITEITEN VAN DE DGIS/LAS ACTIVIDADES DE LA DGCD	253
BIBLIOGRAPHIE/BOEKBESPREKING/BIBLIOGRAFIA	255

N₂ Fixation by Soybean in the Nigerian Moist Savanna: Effects of Maturity Class and Phosphorus Fertilizer

I.J. Ogoke^{1*}, A.O. Togun², R.J. Carsky³  & K.E. Dashiell⁴

Keywords: N fixation- Nodulation- Nodule efficiency- Cropping system- Nigeria

Summary

A study was carried out to determine the effect of P fertilizer and maturity class (days to maturity) on nodulation and N₂ fixation by soybean in the Nigerian moist savanna (NMS). One early (TGx1485-1D), one medium (TGx536-02D), and two late (TGx923-2E and TGx1670-1F) soybean varieties were sown at four sites in NMS with P application rates of 0, 30 and 60 kg. ha⁻¹. Nodulation increased with days to maturity and P rate. In late varieties, application of P substantially increased number of nodules.plant⁻¹ by 84-134%, and nodule dry weight.plant⁻¹ by 20-50%. Increasing P rate significantly increased specific nodulation (number of nodules per root dry weight) by 24-39% for all varieties but depressed nodule mass to whole plant mass ratio in medium and late varieties. Weight nodule⁻¹ significantly reduced with increasing P rate and days to maturity class. Although nodule efficiency (g N fixed/nodule g weight) increased with P rate and days to maturity, only in medium (TGx536-02D) and late (TGx1670-1F) varieties was it significantly increased with P application. Over all varieties, P application significantly increased nodule efficiency by 6-10%. At harvest, N derived from the atmosphere was 61-83 kg.ha⁻¹ in early and medium varieties, and 78-109 kg.ha⁻¹ in late varieties. It increased significantly by 100-148% when P was applied. With an initial available soil P content < 7 mg.kg⁻¹ at most sites, N₂ fixation increased in soybean with application of P and days to maturity.

Résumé

Fixation d'azote par le soja dans les savanes humides du Nigeria: effets de la période de maturité et de l'engrais phosphaté

Une étude a été conduite dans les savanes humides du Nigeria (SHN) pour déterminer l'effet de l'engrais phosphaté et de la classe de précocité (nombre de jours jusqu'à maturité) sur la nodulation et la fixation de N₂ par le soja. Quatre variétés de soja dont une à maturité précoce (TGx1485-1D), une à maturité moyenne (TGx536-02D), et deux à maturité tardive (TGx923-2E et TGx1670-1F) ont été semées dans quatre sites des SHN avec application de trois doses de P (0, 30 et 60 kg.ha⁻¹). Les résultats obtenus montrent que la nodulation a augmenté avec la durée du cycle de la plante et la dose de P appliquée. Pour les variétés tardives, l'application de P a contribué de 84-134% à l'augmentation du nombre de nodules et de 20-50% à celle du poids sec des nodules par plante. Une augmentation de la dose de P a accru de 24-39% la nodulation spécifique (nombre de nodules par poids sec des racines) pour toutes les variétés mais a déprimé le rapport de la masse des nodules sur la masse totale de la plante chez les variétés à maturités intermédiaire et tardive. Le poids des nodules a diminué significativement avec l'augmentation de la dose de P et de la durée du cycle de la culture. Bien que l'efficacité des nodules (g N fixé/ g poids nodule) ait augmenté avec l'augmentation de la dose de P et du nombre de jours jusqu'à maturité, cette augmentation n'a été statistiquement significative que pour la variété à maturité moyenne (TGx536-02D) et la variété à maturité tardive (TGx1670-1F). L'application de P a augmenté significativement de 6-10% l'efficacité des nodules. A la récolte, la fixation de N atmosphérique était de 61-83 kg.ha⁻¹ pour les variétés précoce et moyenne alors qu'elle était de 78-109 kg.ha⁻¹ pour les variétés tardives. Avec l'application de P, la fixation a augmenté de 100-148%. Avec une teneur initiale en P disponible dans le sol < 7 mg.kg⁻¹ dans la plupart des sites, la fixation de N₂ a augmenté dans le soja avec l'application de P et avec la durée du cycle de la plante.

¹Department of Crop Science and Technology, Federal University of Technology, P.M.B. 1526, Owerri, Nigeria. E-mail: ogoke_ij@yahoo .com *Corresponding Author.

²Department of Crop Protection and Environmental Biology, University of Ibadan, Nigeria.

³International Institute of Tropical Agriculture (IITA), Lambourn, Carolyn House, 26 Dingwall Road, Croydon CR9 3EE, UK.

⁴Division of Agricultural Sciences and Natural Resources, Oklahoma State University, USA.

 Dr. Carsky died in a bomb attack in November 2004 while working for West African Rice Development Authority in Ivory Coast.

Received on 22.05.02 and accepted for publication on 28.09.05

Introduction

Among all inputs applied in order to maximize agricultural output, nitrogenous fertilizers rank first (6). They make up 50% of all nutrient inputs (10). The efficiency of these fertilizers, however, is one of the lowest among plant nutrients. Nitrogenous fertilizers are subject to losses due to denitrification leading to release of nitrogen N_2 and NO_2 gases, volatilization of ammonia, run-off and leaching which can contaminate surface and underground water.

Under tropical conditions, the efficiency of applied nutrient has been estimated to be less than 50% N, 10-30% for P and about 40% for K (4). For instance, Subbiah *et al.* (33) reported that when 120 kg. $N\cdot ha^{-1}$ (contained in N fertilizer compounds) was applied to maize in a single dressing, only 21% could be recovered from soils. High rates of N fertilization especially when using ammonium sulphate have also been shown to acidify soils (2, 20, 28, 32).

In addition to environmental problems, farmers in the Nigerian moist savanna (NMS) have to contend with the rising costs of N fertilizer, the availability of which is often erratic. Therefore, technologies that will reduce N fertilizer input by resource-poor farmers in the NMS are urgently needed. Nitrogen input through biological N_2 fixation (BNF) by grain legumes can help to maintain soil N reserves as well as substitute for N fertilizer requirement for large crop yields (26). Although soybean is a relatively new crop to the moist savanna ecological zone of Nigeria, its cultivation either in rotation or intercrop with cereals in NMS zone is increasing. After soybean grain harvest, N contents of root and harvest residues are made available to the soil through decomposition.

The amount of N derived from the atmosphere increases with days to maturity (crop duration) in grain legumes (15, 26). This is because increased crop duration in the field means a longer period of nodule activity. Moist savanna soils, however, have characteristically low available P making application of P through fertilizers necessary (9). Apart from P deficiency limiting plant growth, it can also limit symbiotic N_2 fixation as the latter has been noted to have a higher P requirement for optimal functioning than either plant growth or nitrate assimilation. If this P constraint is overcome, grain legumes in the cereal-based cropping system of NMS should be able to fix a greater amount of N_2 . Consequently, greater N input through N_2 fixation will be possible in this type of cropping system. This study was, therefore, carried out to determine the effect of P application in low P soils and of days to maturity in soybean on N_2 fixation and N nutrition benefits.

Material and methods

This study was carried out at Mokwa ($9^{\circ}18'N$, $5^{\circ}04'E$), Gidan Waya ($9^{\circ}28'N$, $8^{\circ}22'E$), Kasuwan Magani

($10^{\circ}24'N$, $7^{\circ}42'E$), and Fashola ($7^{\circ}56'N$, $3^{\circ}45'E$) in the moist savanna ecological zone of Nigeria. Moist savannas make up about 71% of the 730,000 km^2 occupied by savannas in Nigeria (19, 21). With a precipitation/evaporation ratio ranging between 0.40 - 0.10 (16), this ecological zone is well-suited to annual crops of medium duration such as groundnut, maize and soybean (19).

The study was laid out as a split-plot in randomized complete block with three replications. Main plot treatments were four soybean varieties, grouped into three maturity classes discriminated by days to maturity. They included one early (TGx1485-1D), one medium (TGx536-02D), and two late (TGx923-2E and TGx1670-1F) varieties. They were obtained from Crop Improvement Division (CID) of the International

Table 1
Key characteristics of soybean varieties used in the study

Varieties	Days to maturity	Maturity class
TGx1485-1D	95	Early
TGx536-02D	100	Medium
TGx923-2E	115-120	Late
TGx1670-1F	115-120	Late

Source: Crop Improvement Division (CID) of the International Institute of Tropical Agriculture (IITA), Ibadan, Nigeria.

Institute of Tropical Agriculture (IITA), Ibadan in Nigeria. The characteristics (according to CID) of the soybean varieties used are presented in table 1.

Most varieties of soybean that IITA has released in Nigeria (including the ones used in this study) are able to nodulate freely in farmers' fields (29). Sub-plot treatments were three P rates of 0, 30 and 60 kg. $P\cdot ha^{-1}$ applied as triple superphosphate (TSP). Each sub-plot measured 5 x 4.5 m^2 . Before sowing, TSP was applied along the sowing rows and mixed with the soil by hand. Soybean seeds were drilled in rows 5 m long and 75 cm apart. Three weeks after sowing, soybean plants were thinned to obtain a within row spacing of 8 cm. Rice was grown (at the three P rates) as a control crop to estimate the amount of N derived from the atmosphere (Nd_{fa}) using the N-difference method. In this method, Nd_{fa} is determined by subtracting the amount of N accumulated at harvest (with or without P fertilizer application) in the non-fixing crop (rice in this case) from that of the fixing crop (soybean) (27). The proportion of N derived from the atmosphere was calculated as the amount of N derived from the atmosphere in soybean as a percentage of total N in soybean. Total N comprised the N contained in standing biomass at harvest and fallen litter.

Although differences may occur in the capacities of the fixing and non-fixing plants to use soil N, it has been reported that with low soil N and control plant accumulating much less N than the legume, error due

to plant type will be minimized (27).

The amount of rainfall during the growing season ranged from 623 to 1,089 mm with experimental sites. Doorenbos and Pruitt (11) have reported an optimum water requirement in the range of 450-825 mm for soybean. Twenty soil core samples collected from 0-20 cm depth were bulked for each site, air-dried and crushed. Samples were sieved through 2 mm and 0.05 mm meshes for determination of particle size, total nitrogen (N), % organic carbon, soil organic matter, and available P. Soil samples were subjected to Kjeldahl digestion at 360 °C for 2 hours with lithium sulphate, 30% hydrogen peroxide and concentrated H₂SO₄ in the presence of selenium as catalyst in a block digester. Total N was determined from the digest by steam distillation with excess NaOH. NH₄⁺ collected in the distillate was neutralised by titrating with HCl. Available P was also determined from the extract using Bray II method. Percentage organic carbon was determined by oxidizing soil sample with K₂Cr₂O₇ solution and H₂SO₄ at 150 °C for 30 minutes. This solution was titrated with ferrous ammonium sulphate solution after cooling. The various procedures followed for soil analysis were as outlined by Okalebo *et al.* (25). Organic matter content was obtained by multiplying % organic C with 1.729. Soil particle size was determined by the pipette method (13). Soil pH was measured by a pH meter using a soil to water ratio of 1:1.

Soil sample analysis showed that total soil N was low at all sites and averaged 0.8 g.kg⁻¹ (Table 2).

Low total soil N level has been reported to be favourable to nodulation and atmospheric N fixation (5). Consequently, the nodulating soybean varieties used in the experiment were expected to be able to derive more N from the atmosphere. Table 2 shows that initial available soil P averaged 8.3 mg.kg⁻¹ for all experimental sites. According to soil fertility status elaborated for Nigerian soils (12), soil P status was high (16.2 mg.kg⁻¹) at Mokwa, but low (<7 mg.kg⁻¹) at other sites.

At podding stage which was about 54 days after planting (DAP) in the early and medium length varieties and 75 DAP in the late varieties, five soybean plants randomly selected within the five central rows of each

plot were sampled for nodulation. Soil around the roots of individual plant to be sampled was loosened using a fork to a depth of about 20 cm. Each plant was then carefully pulled up. All nodules were separated from roots, counted, oven-dried at 65 °C for 48 hours and weighed. Specific nodulation at podding was calculated as number of nodules per of root dry weight while nodule efficiency was calculated as Nd/fa per nodule g weight (g N fixed/g nodule) (methods explained above).

At final harvest in soybean (about 100 DAP in early and medium, and 124 DAP in late varieties) respectively, standing plants within three central rows of each plot were cut at the base just above the ground. Because all leaves had fallen from soybean plants at time of harvest, leaf litter including petiole within harvest area was collected using a 0.5 x 0.5 m² quadrat. Rice plants were also cut above the soil surface within a harvest area of 1 x 1.5 m². Harvest biomass of soybean and rice, and soybean litter samples were oven-dried at 65 °C for 48 hours and milled to pass through a 1 mm sieve. Nitrogen contents of the various plant samples were determined by digestion with conc. H₂SO₄ and subsequent steam distillation with excess NaOH before the distillate was neutralized by titrating with HCl (25).

Analysis of variance and means separation were conducted using the General Linear Model of Statistical Analysis System Institute Inc. (31).

Results

Nodulation in soybean

The number of nodules per soybean plant determined by counting at 54 DAP was significantly ($p < 0.01$) affected by variety, P application and their interaction. Number of nodules per soybean plant increased in all varieties as P level increased. Table 3 shows that with increasing P application there were more nodules. plant⁻¹ in late soybean varieties than in early and medium varieties. Compared with no P treatment, 30 kg P.ha⁻¹ significantly increased number of nodules. plant⁻¹ by 53-68% in early and medium soybean varieties, and by 82-88% in late maturing varieties. Relative to 30 kg P.ha⁻¹, the application of 60 kg P.ha⁻¹

Table 2
Soil chemical and physical properties from samples taken from 0-20 cm depth at the experimental sites

Properties	Sites			
	Mokwa	Fashola	Gidan Waya	Kasuwan Magani
pH in water (1:1)	6.1	6.1	4.9	5.6
Org. matter (g.kg ⁻¹)	0.88	1.02	1.50	1.30
Total N (g.kg ⁻¹)	0.60	0.69	1.13	0.78
Bray-II P (mg.kg ⁻¹)	16.2	5.2	6.2	5.7
Sand (g.kg ⁻¹)	770	860	650	590
Silt (g.kg ⁻¹)	190	110	210	260
Clay (g.kg ⁻¹)	40	30	140	150
Textural class	Loamy sand	Loamy sand	Sandy loam	Sandy loam

did not significantly increase number of nodules. plant^{-1} in the early and medium varieties. The additional 24-28% increase in number of nodules. plant^{-1} observed in late varieties was, however, significant. Number of nodules. plant^{-1} in late varieties was at least double that in the early and medium varieties. Over all varieties, application of P at the rate of 30 kg P.ha $^{-1}$ significantly increased number of nodules. plant^{-1} by 75% while there was a further 21% increase with 60 kg P.ha $^{-1}$ treatment.

The effects of variety, P application and their interaction were significant ($p < 0.01$) on nodule dry weight per soybean plant. Application of 30 kg P.ha $^{-1}$ increased nodule dry weight. plant^{-1} by 12-13% in early and medium varieties, and 20-34% in late varieties (Table 3). Compared to the effect of 30 kg P.ha $^{-1}$, a significant increase in nodule dry weight. plant^{-1} was observed only in TGx923-2E (a late maturing variety) when 60 kg P.ha $^{-1}$ was applied. At all P rates, nodule dry weight. plant^{-1} was largest in TGx923-2E.

Consequently, the significantly largest nodule dry weight. plant^{-1} was observed in this variety.

Table 3 also shows that over all varieties, the application of 30 and 60 kg P.ha $^{-1}$ significantly increased nodule dry weight. plant^{-1} of soybean by 19 and 27%, respectively.

The ratio of nodule mass to whole plant mass was significantly ($p < 0.01$) affected by variety, P application and their interaction (Table 3). P application reduced this ratio in all varieties except in TGx1485-1D (the early variety). Increasing P application reduced nodule mass to whole plant mass ratio by 25% in TGx536-02D, 25% in TGx923-2E, and 36% in TGx1670-1F. When P was applied at 30 or 60 kg P.ha $^{-1}$, nodule mass to whole plant mass ratio was significantly reduced by at least 24%.

Weight.nodule $^{-1}$ in soybean was significantly affected by variety ($p < 0.01$). Late soybean varieties had significantly lower weight.nodule $^{-1}$ compared to early and medium varieties (Table 3). Weight.nodule $^{-1}$ was highest at 27.1 mg.nodule $^{-1}$ in the medium variety (TGx536-02D). It decreased significantly ($p < 0.01$) with P application. For all varieties, weight.nodule $^{-1}$ was depressed by 34 and 44% when 30 and 60 kg

Table 3
Effect of soybean variety by P rate interaction on nodulation and nodule efficiency

P rate (kg.ha ⁻¹)	Variety				Mean
	TGx1485-1D (Early)	TGx536-02D (Medium)	TGx923-2E (Late)	TGx1670-1F (Late)	
-----number of nodules per plant-----					
0	28	30	51	50	40
30	47	46	93	94	70
60	49	54	119	117	85
Mean	41	44	87	87	
-----nodule dry weight per plant (g.plant ⁻¹) -----					
0	0.70	0.69	0.92	0.79	0.79
30	0.79	0.77	1.23	0.95	0.94
60	0.82	0.83	1.38	0.97	1.00
Mean	0.77	0.76	1.18	0.90	
-----nodule mass: whole plant mass-----					
0	0.112	0.124	0.089	0.074	0.100
30	0.097	0.093	0.067	0.047	0.076
60	0.115	0.080	0.055	0.038	0.072
Mean	0.108	0.099	0.070	0.053	
-----weight per nodule (g.nodule ⁻¹)-----					
0	29.8	37.1	21.2	19.0	26.8
30	18.1	25.6	14.1	12.7	17.6
60	18.8	18.8	12.3	10.7	15.1
Mean	22.2	27.1	15.8	14.1	
-----nodule efficiency (g N ₂ fixed /g nodule weight)-----					
0	0.27	0.23	0.37	0.42	0.32
30	0.29	0.27	0.38	0.58	0.38
60	0.25	0.33	0.42	0.66	0.42
Mean	0.27	0.28	0.39	0.55	

Standard error for number of nodule per plant: P rate= 2.6; Variety= 3.1; Variety*P rate= 5.3.

Standard error for nodule dry weight per plant: P rate= 0.014; Variety= 0.016; Variety*P rate= 0.027.

Standard error for nodule mass:whole plant mass: P rate= 0.0035; Variety= 0.0041; Variety*P rate= 0.0067.

Standard error for weight per nodule: P rate= 1.73; Variety= 1.99; Variety*P rate= 3.45.

Standard error for nodule efficiency: P rate= 0.014; Variety= 0.017; Variety*P rate= 0.027.

P.ha⁻¹ were applied, respectively. Although results show that increasing P rate depresses weight.nodule⁻¹ in the varieties studied, ANOVA showed no significant variety by P rate interaction effect on this parameter. Specific nodulation (number of nodules per dry weight of root) in soybean was significantly ($p < 0.05$) increased by 24% when 30 kg P.ha⁻¹ was applied (Figure 1). A further 15% increase with another 30 kg P.ha⁻¹ increment was, however, not significant. Variety and variety by P rate interaction had no significant effect on specific nodulation in soybean.

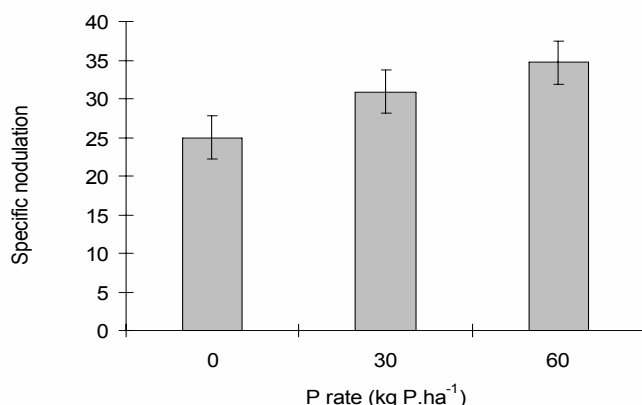


Figure 1: Effect of P fertilizer on specific nodulation in soybean.

Amount of N₂ derived from the atmosphere

The efficiency with which atmospheric N was fixed in the nodules, determined as the amount of N fixed divided by weight of nodules (g N fixed/g nodules), was significantly ($p < 0.01$) affected by variety, P application and their interaction. The significant variety by P rate interaction effect on nodule efficiency resulted from the responses of medium (TGx536-02D) and late (TGx1670-1F) varieties and no response in the early variety (Table 3). Starting from 0.23 g.g⁻¹ without P applied, nodule efficiency was significantly increased by 43% in TGx536-02D when 60 kg P.ha⁻¹ was applied. In TGx1670-1F on the other hand, the 38% and 57% increases in nodule efficiency due to 30 and 60 kg P.ha⁻¹, respectively, were significant. At each P rate, nodule efficiency was significantly higher in the late maturing varieties. Relative to when no P was applied, efficiency of N₂ fixation in nodules was significantly increased by 18% with 30 kg P.ha⁻¹ and 31% with 60 kg P.ha⁻¹. Table 3 also shows that averaged over all P rates, root nodules in late varieties were significantly more efficient in fixing N₂ compared to early and medium varieties. Nodule efficiency was significantly higher in the late variety, TGx1670-1F (0.55 g.g⁻¹). This was at least double nodule efficiency in early and medium varieties.

The amount of nitrogen derived from the atmosphere (Ndfa) in soybean was significantly affected by variety ($p < 0.01$). Results presented in figure 2 show that longer cycle in soybean varieties significantly increased the amount of Ndfa. Among varieties tested, TGx1485-1D (the early maturing variety) had the significantly lowest

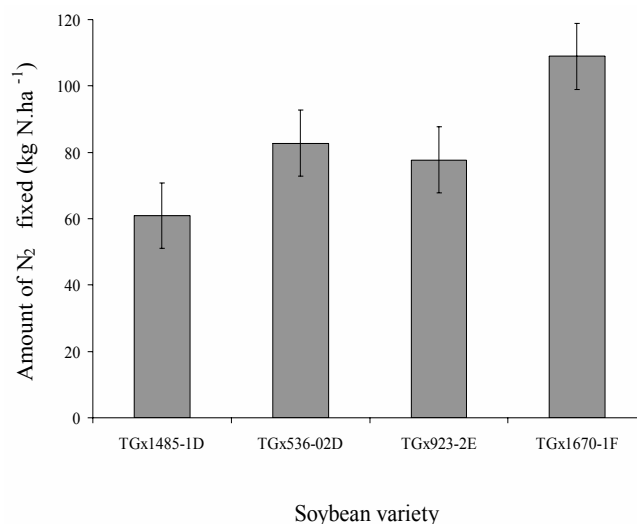


Figure 2: Effect of variety on the amount of N₂ fixed at final harvest in soybean.

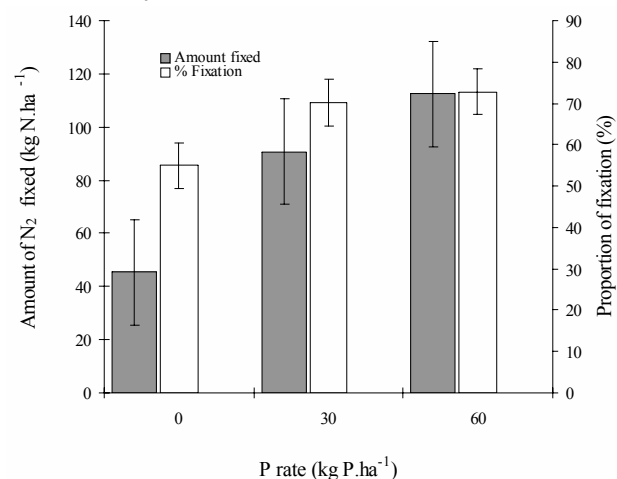


Figure 3: Effect of P fertilizer on the amount and proportion of N₂ fixed at final harvest in soybean.

amount of Ndfa (60.9 kg N.ha⁻¹), while the significantly largest amount of Ndfa (108.9 kg N.ha⁻¹) was in one of the late varieties (TGx1670-1F). Also, application of P at the rates of 30 and 60 kg.ha⁻¹, significantly ($p < 0.01$) increased Ndfa in soybean by 100 and 148%, respectively (Figure 3). No significant effect of variety was observed on the proportion of N₂ derived from the atmosphere (pfix). However, relative to when no P was applied, 30 and 60 kg P.ha⁻¹ treatments significantly ($p < 0.01$) increased pfix in soybean by 15 and 17% respectively (Figure 3). The effect of variety by P rate interaction on Ndfa or pfix was not significant in this study.

Discussion

Results from this study showed that longer duration to maturity in varieties and P application significantly increased the number of nodules.plant⁻¹ in soybean but depressed weight.nodule⁻¹. Visual observations also showed that with increasing number of nodules.plant⁻¹, nodules became smaller in size and weighed less, presumably because of competition for photosynthate. Nodules have also been reported

by other authors (15) to be smaller such that nodule mass.plant⁻¹ is reduced at intermediate nitrate concentrations. Reduction in mean nodule size observed in this study was associated with significantly higher nodule efficiency (expressed as g N fixed/g nodules) with significant reductions in weight.nodule⁻¹, suggesting better rhizobial activity.

In agreement with earlier reports (17, 18), increasing days to maturity and P rate increased nodule dry weight but reduced nodule mass to whole plant mass ratio. There was greater proportional increase in total plant dry weight arising from increased vegetative growth. Enhanced growth with increased nodulation suggests that nodules with rhizobia in them had a positive effect on soybean N nutrition. The non-significant effect of maturity class on specific nodulation seems to suggest that irrespective of variety, there is a maximum nodulation capacity per root dry weight of soybean plants. Of course, the number of nodules present is dependent on the amount of assimilate available to them. Carrol and Mathews (7) have inferred that early infection by rhizobia in legume roots results in a signal that is translocated to the root and thus suppresses further development of nodules. In this phenomenon of autoregulation, a legume root system will only develop a certain number of active nodules, beyond which no further new infection occur (15). However, application of P increased number of nodules more than soybean root dry weight, showing the importance of P in increasing specific nodulation. Application of P when available soil P is low has similarly been shown to increase number and dry weight of nodules (23, 30).

The effect of days to maturity in soybean was evident on the amount of N₂ fixed as late varieties (TGx1670-1F and TGx923-2E) had more Ndfa than early (TGx1485-1D) and medium (TGx536-02D) varieties. N₂ fixation has equally been reported to increase with increasing crop duration (1, 14). This is expected because longer growth duration allows for a longer period of N₂ fixation in the nodules. While soybean could fix 15-162 kg N.ha⁻¹ (22), an estimate of 26-188 kg N.ha⁻¹ in the tropics has been made (15). In the moist savanna environments of Nigeria, Ndfa was in the range of 61 to 109 kg N.ha⁻¹ in the soybean varieties studied. On

the average, soybean Ndfa in this study was 66% of the total aboveground N against the 70-90% from previous estimates (15).

Available soil P at the study sites averaged less than 10.5 mg.kg⁻¹ which Aune and Lal (3) noted as being the critical value for grain legumes. As a result, the application of P positively increased all nodulation parameters, and ultimately increased the amount of Ndfa in soybean. Cassman *et al.* (8) have similarly reported the enhancement of nodulation and N₂ fixation in soybean when P is applied. Higher Ndfa resulting from longer days to maturity and higher P rate is attributable to higher yield potential and higher levels of nodule efficiency.

Since late maturing soybean varieties were able to fix more N₂ than early and medium varieties, greater N contribution to any cropping system is expected through their roots, litter and harvest residues. A positive N balance by soybean crop in NMS has thus been reported elsewhere due to the effect of increased crop duration and P application (24). Late maturing soybean varieties are, therefore, able to give higher N benefit compared to early and medium varieties for the improvement of the cropping systems of the moist savanna. This is apart from the possible higher yield resulting from longer duration. The positive effect of P application on most parameters underline the importance of P fertilization under low available soil P conditions. Results, however, show that for most parameters the effects of 30 and 60 kg P.ha⁻¹ treatments were not significantly different. Post experiment soil analyses (data not shown) indicated that P rate of 30 kg.ha⁻¹ gave rise to available soil P build-up above the reported critical level (3). This rate of P application appears sufficient under the low soil available P conditions of the Nigerian moist savanna.

Acknowledgements

The authors are grateful to Messrs R. Oyom, L. Ushie, S. Bako, L. Ajuka, A. Azeez and P. Igbooba for their assistance in the field and laboratory. Our appreciation also goes to Drs. G. Tian and N. Sanginga for providing laboratory facilities. This is IITA publication No. IITA/01/JA/02.

Literature

1. Abaidoo R.C., Dashiell K.E., Sanginga N., Keyser H.H. & Singleton P.W., 1999, Time-course of dinitrogen fixation of promiscuous soyabean cultivars measured by the isotope dilution method. *Biology and Fertility of Soils*, 30, 187-192.
2. Adetunji M.T., 1994, Nitrogen application and underground water contamination in some agricultural soils of south western Nigeria. *Fertilizer Research*, 37, 19-163.
3. Aune J.B. & Lal R., 1995, The tropical soil productivity calculator – A model for assessing effects of soil management on productivity. pp 499-520. *In*: R. Lal & B.A. Stewart (editors), *Soil Management: Experimental Basis for Sustainability and Environmental Quality*. Lewis Publishers, Boca Raton, Fla.
4. Baligar V.C. & Bennett O.L., 1986, NPK fertilizer efficiency - a situation analysis for the tropics. *Fertilizer Research*, 10, 147-164.
5. Bezdicsek O.F., Evans D.W., Adebe B. & Witters R.E., 1978, Evaluation of peat and granular inoculum for soyabean yield and N fixation under irrigation. *Agronomy Journal*, 70, 865-868.
6. Bohlool B.B., Ladha J.K., Garrity D.P. & George T., 1992, Biological N fixation for sustainable agriculture: a perspective. *Plant and Soil*, 141, 1-11.
7. Carrol B.J. & Mathews A., 1990, Nitrate inhibition of nodulation in legumes. pp 159-180. *In*: P.M. Greshoff (editor), *Molecular biology of symbiotic Nitrogen Fixation*. CRC Press, Boca Raton, Fla.
8. Cassman K.G., Singleton P.W. & Linquist B.A., 1993, Input/output analysis of the cumulative soyabean response to phosphorus on an ultisol. *Field Crops Research*, 34, 23-36.

9. Chien S.H., Carmona, G., Menon R.G. & Hellums D.T., 1993, Effect of phosphate rock sources on biological nitrogen fixation by soyabean. *Fertilizer Research*, 34, 153-159.
10. Christianson C.B. & Vlek P.L.G., 1991, Alleviating soil fertility constraints to food production in West Africa. Efficiency of N fertilizers applied to food crops. pp 69-91. *In*: A.U. Mokwunye, (editor), *Alleviating Soil Fertility Constraints to Increase Crop Production in West Africa*. Kluwer Academic Publishers, The Netherlands.
11. Doorenbos J. & Pruitt W.O., 1977, Guidelines for predicting crop water requirements. FAO irrigation and drainage paper 24, Food and Agricultural Organization of the United Nations, Rome.
12. Enwezor W.O., Udo E.J., Usoroh N.J., Ayotade K.A., Adepetu J.A., Chude V.O. & Udegbe C.I., 1989, Fertilizer use and management practices for crops in Nigeria (Series No. 2). Fertilizer Procurement and Distribution Division, Federal Ministry of Agriculture, Lagos, Nigeria. 163 p.
13. Gee G.W. & Bauder J.W., 1986, Particle-size analysis. pp 383-411. *In*: A. Klute (ed.), *Methods of soil analysis: Part 1 - Physical and mineralogical methods*. SSSA Book Series: 5. Madison, Wisconsin, USA.
14. George T., Singleton P.W. & Bohlool B.B., 1988, Yield, soil nitrogen uptake, and fixation by soyabean from four maturity groups grown at three elevations. *Agronomy Journal*, 80, 563-567.
15. Giller K.E. & Wilson K.J., 1991, Nitrogen fixation in tropical cropping systems. CAB International, Wallingford, U.K. 313 p.
16. Isichei A.O. & Akobundu I.O., 1995, Vegetation as a resource: characterization and management in the moist savannas of Africa. pp. 31-48. *In*: B.T. Kang, I.O. Akobundu, V.M. Manyong, R.J. Carsky, Sanginga, N. & E.A. Kueneman (editors), *Moist savannas of Africa: potentials and constraints for crop production*. Proceedings of the International Workshop held at Cotonou, Republic of Benin, 19-23 September 1994. IITA, Ibadan.
17. Israel D.W., 1987, Investigation of the role of phosphorus in symbiotic dinitrogen fixation. *Plant Physiology*, 84, 835-840.
18. Israel D.W., 1993, Symbiotic dinitrogen fixation and host-plant growth during development of and recovery from P deficiency. *Physiologia Plantarum*, 88, 294-300.
19. Jagtap S.S. 1995, Environmental characterization of the moist lowland savanna of Africa. pp 9-29. *In*: B.T. Kang, I.O. Akobundu, V.M. Manyong, R.J. Carsky, Sanginga, N. & E.A. Kueneman (editors), *Moist savannas of Africa: potentials and constraints for crop production*. Proceedings of the International Workshop held at Cotonou, Republic of Benin, 19-23 September 1994. IITA, Ibadan.
20. Juo A.S.R., Dabiri A. & Franzluebber K., 1995, Acidification of a kaolinitic alfisol under continuous cropping with nitrogen fertilization in West Africa. *Plant and Soil*, 17, 245-253.
21. Kowal J.M. & Knabe D.T., 1972, An agroclimatological atlas of the northern states of Nigeria with explanatory notes. Ahmadu Bello University Press, Zaria.
22. Larue T.A. & Patterson T.G., 1981, How much N do legumes fix? *Advances in agronomy*, 34, 15 - 38.
23. McLaughlin M.J., Malik K.A., Memon K.S. & Idris M., 1990, The role of phosphorus in N fixation in upland crops. pp 295-305. *In*: *Phosphorus requirements for sustainable agriculture in Asia and Oceania*. IRRI.
24. Ogoke I.J., Carsky R.J., Togun A.O. & Dashiell K., 2003, Effect of P fertilizer application on N balance of soyabean crop in the Guinea savanna of Nigeria. *Agriculture ecosystem and environment*, 100, 153-159.
25. Okalebo J.R., Gathua K.W. & Woomer P.L., 1993, Laboratory methods of soil and plant analysis: a working manual. TSBF Programme, UNESCO-ROSTA, Nairobi, Kenya. 84 p.
26. Peoples M.B. & Craswell E.T., 1992, Biological nitrogen fixation: investments, expectations and actual contributions to agriculture. *Plant and Soil*, 141, 13-39.
27. Peoples M.B., Faizah A.W., Rerkasem B. & Herridge D.F., 1989, Methodology for evaluation nitrogen fixation by nodulated legumes in the field. *ACIAR Monograph N°11*, vii. 76 p.
28. Pieri C.J.M.G., 1992, Fertility of soils: a future for farming in the West African savannah. Springer-Verlag, Berlin. 348 p.
29. Sanginga N., Thottappilly G. & Dashiell K., 2000, Effectiveness of rhizobia nodulating recent promiscuous soyabean selections in the moist savanna of Nigeria. *Soil Biology & Biochemistry*, 32, 127-133.
30. Singleton P.W., AbdelMagid H.M. & Tavares J.W., 1985, Effect of phosphorus on the effectiveness of strains of *Rhizobium japonicum*. *Soil Science Society of America Journal*, 49, 613-616.
31. Statistical Analysis System Institute Inc., 1992, SAS/STAT User's guide. SAS, Cary, NC.
32. Stumpe J.M. & Vlek P.L.G., 1991, Acidification induced by different nitrogen sources in columns of selected tropical soils. *Soil Science Society of America Journal*, 55, 145-151.
33. Subbiah B.V., Sachdev M.S., Arora R.P. & Sud Y.K., 1985, Efficiency of fertilizer use in multiple cropping system - studies with isotope technique. *Fertilizer News*, 30, 45-48.

I.J. Ogoke, Nigerian, Ph.D. Crop Physiology, Department of Crop Science and Technology, Federal University of Technology, P.M.B. 1526, Owerri, Nigeria.

A.O. Togun, Nigerian, Ph.D. Crop Physiology, Department of Crop Protection and Environmental Biology, University of Ibadan, Nigeria.

R.J. Carsky, American, Ph.D., International Institute of Tropical Agriculture (IITA), Lambourn, Carolyn House, 26 Dingwall Road, Croydon CR9 3EE, UK.

†Dr. Carsky died in a bomb attack in November 2004 while working for West African Rice Development Authority in Ivory Coast.

K.E. Dashiell, American, Ph.D., Division of Agricultural Sciences and Natural Resources, Oklahoma State University, USA.

Amélioration du statut organique d'un sol ferrugineux tropical lessivé sous jachère artificielle à *Andropogon* spp. au Burkina Faso: effet des traitements sur la chimie du sol

Keywords: *Andropogon gayanus*- *Andropogon ascinodis*- Soil fertility- Artificial fallows- Chemical constituents of soil- Burkina Faso

N.A. Somé^{1*}, V. Hien² & S.J. Ouédraogo³

Résumé

Les sols de la zone soudano-sahélienne sont le plus souvent de type ferrugineux et ils sont caractérisés par leur faible niveau de productivité. Cet état est aggravé par le raccourcissement de la durée de la jachère et la culture continue de type minier. Afin de trouver des solutions palliatives à la chute des rendements consécutive à la baisse du niveau de fertilité, un essai a été installé à Sobaka, dans la zone soudanienne du Burkina Faso. Dans la présente étude, il s'est agi de créer une prairie artificielle à base de *Andropogon* spp. et de suivre l'évolution des éléments chimiques au bout de trois ans de jachère. L'objectif est d'obtenir à terme une amélioration des propriétés bio-physico-chimiques des sols et un raccourcissement de la durée de mise en jachère. Les paramètres suivants ont été évalués: les teneurs en carbone, en azote, en phosphore, en potassium et le pH des sols. Les résultats montrent que les amendements organiques provenant de la litière et des racines des andropogonées augmentent significativement le stock de matière organique du sol de plus 40%. Les andropogonées utilisées en jachères artificielles peuvent être une alternative pour l'amélioration de la fertilité des sols et pour le raccourcissement de la durée des jachères en zone tropicale.

Summary

Improvement of Organic Status in Tropical Ferruginous Soil under *Andropogon* spp. Fallow (Burkina Faso): Treatment Effects on Soil Chemical Elements

Among the soils of the Sudanian zone, the ferruginous types are the most common and are characterized by low levels of productivity. The quality of these soils decreases further because of the shortening of the fallow duration and the mining type of cultivation. The trial carried out at Sobaka, in the Sudanian zone of Burkina Faso was designed to study palliative solutions to the yield reductions consecutive to the decrease in ferruginous soil fertility. An artificial prairie based on *Andropogon* spp. was created and allowed to stand fallow for 3-years to monitor the evolution of chemical constituents of the soil. The objectives were to obtain rapid improvement of the bio-physico-chemical properties of the soils and to permit a shortening of the fallow duration. Total carbon, nitrogen, phosphorus, potassium and pH of the soils were measured. Results showed that litter and roots from andropogoneae improved significantly the stock of organic matter of the soil by more than 40%. *Andropogon* spp. when used in artificial fallow improves soil fertility and permits the shortening of fallow duration in tropical areas.

Introduction

La stratégie de la jachère naturelle de longue durée (20 à 30 ans) a été développée de longue date par les paysans africains pour pallier la baisse du niveau de fertilité des sols cultivés. Cependant, avec la pression démographique sur les terres, on observe un raccourcissement de la durée de la jachère, voire même une certaine tendance à sa disparition au profit d'une agriculture sédentaire de type "minier" qui se traduit par l'utilisation de peu ou pas d'intrants agricoles et l'exportation des résidus de récolte (4, 18, 28). Ce système qui appauvrit considérablement le sol est à la base de la chute des rendements. La capacité de la jachère naturelle de longue durée

à restaurer la fertilité des sols a été bien établie par de nombreux auteurs (18, 21, 23, 26, 24, 31). En effet, les différents travaux comparant les systèmes de culture et de jachère ont toujours montré que dans les sols cultivés, le bilan annuel des éléments nutritifs est négatif et que, à l'inverse, le bilan sous jachère est positif. Ce bilan est particulièrement dû au recyclage interne des éléments nutritifs par les graminées pérennes, c'est-à-dire cette capacité qu'elles ont de transférer vers les parties souterraines par le phénomène de la rhizodéposition (litière racinaire), une partie des éléments contenus au départ dans les parties aériennes (1, 7, 29). Du reste,

^{1*} Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso, BP 1091, Bobo-Dioulasso, Burkina Faso, Tel 20 97 32 95/70 23 54 27. ansome30@hotmail.com

² INERA, Kamboinse, BP 476, Ouagadougou, Burkina Faso.

³ INERA, DPF, BP 8645, Ouagadougou, Burkina Faso.

Reçu le 13.08.04 et accepté pour publication le 10.10.05.

en savane, une grande partie des organes aériens des végétaux est détruite chaque année par le passage des feux et transformée en cendre qui peut être partiellement réincorporée au sol. Ce sont donc les parties souterraines qui contribuent le mieux à la formation des stocks organiques (2, 29). Breman (7) donne les chiffres de 10 à 15 kg N/ha qui seraient ainsi restitués par les parties souterraines. Pour les savanes à *Andropogon* spp., Greenland (16) trouve une accumulation de l'ordre de 2 à 10 kg N/ha/an. Charreau et Nicou (10), Soltner (25), Feller *et al.* (13), Feller (14), Hoefsloot *et al.* (15), Somé (26), ont montré l'existence d'une corrélation positive entre l'augmentation du stock organique du sol et le type de végétation dominant dans les jachères.

Andropogon gayanus et *Andropogon asciodis* sont des espèces indicatrices d'une bonne fertilité du sol, aux propriétés nettoyantes (elles éliminent les adventices) et aux effets structurants au niveau des sols (6, 8, 12, 26, 27). La cinétique du renouvellement des stocks organiques en jachère est largement sous la dépendance de la dynamique dans le temps et dans l'espace des graminées pérennes, notamment *Andropogon* spp. (26) Ces différentes observations laissent entrevoir la possibilité de réduire le temps de jachère en améliorant les processus de restauration de la fertilité des sols par l'implantation des andropogonées en prairies.

Dans la présente étude, il s'est agi de créer une prairie artificielle à base de *Andropogon* spp., et de suivre l'évolution des éléments chimiques au bout de trois ans de jachère. L'objectif est d'obtenir à terme une amélioration des propriétés bio-physico-chimiques des sols et un raccourcissement de la durée de mise en jachère.

Matériel et méthodes

Le site de l'essai

Le site a été installé sur un sol ferrugineux tropical lessivé induré profond (30), dans une parcelle qui a été cultivée pendant 10 ans sans interruption et ayant porté la même spéculon (le sorgho).

Matériel végétal

Andropogon gayanus Kunth, *Andropogon asciodis* C.B.Cl, sont des graminées vivaces, du type biomorphologique hémicryptophytes cespiceux (11). La variété locale de sorgho est utilisée.

Dispositif expérimental

Le dispositif principal est un bloc complet randomisé à trois répétitions comprenant les traitements suivants:

- culture de sorgho après une jachère à *Andropogon gayanus* d'une durée de 3 ans [SJ(Ag)₃];
- culture d'une jachère à *Andropogon asciodis* d'une durée de 3 ans [SJ(Aa)₃];

- culture de sorgho après une jachère naturelle d'une durée de 3 ans [S(Jn)₃];
- une jachère artificielle à *Andropogon gayanus* d'une durée de 3 ans [J(Ag)₃];
- une jachère artificielle à *Andropogon asciodis* d'une durée de 3 ans [J(Aa)₃];
- une parcelle témoin régulièrement mise en culture depuis 3 ans [T(Cc)];
- une parcelle témoin mise en jachère naturelle depuis 3 ans [T(Jn)₃].

La surface de chaque bloc est de 150 m² (15 m x 10 m) et le nombre de répétition de 3.

Les éclats d'andropogon ont été repiqués à partir d'éclats de souche du 15 juin au 07 juillet 1997.

Méthodes d'analyses des sols

Prélèvement des échantillons de sol

Les échantillons de sol ont été prélevés au niveau des horizons 0-10 cm et 10-20 cm, sous touffe et hors touffe, à l'aide d'une tarière. Afin de tenir compte de l'hétérogénéité du milieu, un échantillon composite a été constitué à partir d'un mélange de 5 prélèvements par horizon. Les prélèvements ont été effectués en fin de campagne agricole. Ceci a permis de mesurer les effets résiduels des traitements: sorgho après jachère de 3 ans à *A. gayanus* [SJ(Ag)₃], sorgho après jachère de 3 ans à *A. asciodis* [SJ(Aa)₃] et sorgho après jachère naturelle de 3 ans [ST(Jn)₃].

Analyses chimiques

Les analyses chimiques des échantillons de sol ont été faites au laboratoire de chimie des sols et des végétaux du département Gestion des Ressources Naturelles et Système de Production (GRN/SP) de l'Institut de l'Environnement et des Recherches Agricoles (INERA).

La méthodologie de l'extraction des éléments étudiés se présente comme suit:

- le dosage du carbone organique (C_o) est effectué par la méthode de Walkley et Black;
- l'azote organique a été dosé par la méthode Kjeldah;
- le phosphore total est dosé par colorimétrie automatique;
- la méthode utilisée pour le dosage du phosphore assimilable est celle de Bray, à pH 3,5. Le dosage se fait par spectrophotométrie;
- le potassium échangeable est dosé par photométrie de flamme.

Traitement des données

Le traitement des données des analyses chimiques a été réalisé par le sous-programme «Oneway de SIMSTAT/MVSP». Les teneurs des différents éléments dosés ont été soumises à une analyse de variance et à un critère de classification au moyen du test de comparaison de moyennes de la plus petite différence significative (test de Scheffe). Le seuil de probabilité de 0,05 en-dessous duquel l'hypothèse nulle (égalité entre les moyennes) est rejetée a été retenu.

Résultats

Effet des traitements sur la distribution du carbone et de la matière organique

Les résultats analytiques des teneurs en carbone et de la matière organique sont consignés dans les tableaux 1 et 2.

Sous touffes et pour l'horizon 0-10 cm (Tableau 1), on peut classer par ordre de grandeur décroissant les teneurs en carbone des différents traitements comme suit: Jachère à *A. ascinodis* de 3 ans - jachère à *A. gayanus* de 3 ans - sorgho après jachère à *A. gayanus* de 3 ans - témoin mis en jachère naturelle de 3 ans - sorgho après jachère naturelle de 3 ans - sorgho après jachère à *A. ascinodis* de 3 ans - témoin mis en culture continue depuis 3 ans.

D'une manière générale, sous touffes, les différents

types de jachères de courtes durées (artificielle ou naturelle) ont permis de rehausser la teneur en carbone de l'horizon de surface 0-10 cm et même de l'horizon sous-jacent 10-20 cm, et partant d'améliorer le stock de matière organique du sol. On observe cependant que cette tendance est beaucoup plus marquée au niveau des jachères à *A. gayanus* et à *A. ascinodis* qu'au niveau de la jachère naturelle et elle est même maintenue au-delà de la première année de mise en culture. On note aussi au niveau des profondeurs étudiées que les sols rhizosphériques présentent les plus fortes teneurs en carbone par rapport aux sols hors rhizosphère. L'analyse des teneurs en carbone de l'horizon 10-20 cm prélevé hors touffe (Tableau 1) ne révèle aucune différence significative entre les

Tableau 1
Teneurs moyennes en carbone (mg/kg du poids sec du sol)

Traitements	Sous touffe Horizon		Hors touffe Horizon		Probabilité
	0-10 cm	10-20 cm	0-10 cm	10-20 cm	
T(Cc)	3654,39 ^a _D	3611,68 ^a _B	3175,09 ^a _B	3512,76 ^a _A	0,17
T(Jn) ₃	4705,36 ^a _B	4300,66 ^a _A	4705,36 ^a _A	4300,00 ^a _A	0,70
S(Jn) ₃	4269,69 ^a _C	4290,54 ^a _A	4137,98 ^a _A	4249,12 ^a _A	0,97
J(Ag) ₃	5237,05 ^a _A	3783,10 ^c _B	4169,23 ^b _A	3380,01 ^d _A	0,0009
SJ(Ag) ₃	4905,39 ^a _A	4631,04 ^a _A	4467,32 ^a _A	4193,76 ^b _A	0,13
J(Aa) ₃	5647,68 ^a _A	4194,32 ^c _A	4351,17 ^b _A	3673,94 ^d _A	0,004
SJ(Aa) ₃	4226,54 ^a _C	3868,46 ^a _B	3954,46 ^a _A	3956,28 ^a _A	0,82
Probabilité	0,0000	0,035	0,02	0,20	

T(Cc): Témoin mis en culture continue.

T(Jn)3: Témoin mis en jachère naturelle.

S(Jn)3: Sorgho après jachère naturelle de 3 ans.

J(Ag)3: Jachère à *A. gayanus* de 3 ans.

SJ(Ag)3: Sorgho après jachère de 3 ans à *A. gayanus*.

J(Aa)3: Jachère à *A. ascinodis* de 3 ans.

SJ(Aa)3: Sorgho après jachère de 3 ans à *A. ascinodis*.

A l'intérieur de chaque ligne, les moyennes suivies de la même lettre en exposant ne sont pas significativement différentes au seuil de 5% selon le test de Scheffe.

A l'intérieur de chaque colonne, les moyennes suivies de la même lettre en indice ne sont pas significativement différentes au seuil de 5% selon le test de Scheffe.

Tableau 2
Matière organique (MO) des sols (en %)

Traitements	Sous touffe Horizon		Hors touffe Horizon		Probabilité
	0-10 cm	10-20 cm	0-10 cm	10-20 cm	
T(Cc)	0,630 ^a _D	0,623 ^a _B	0,547 ^a _B	0,605 ^a _A	0,17
T(Jn) ₃	0,811 ^a _B	0,741 ^a _A	0,811 ^a _A	0,741 ^a _A	0,70
S(Jn) ₃	0,736 ^a _C	0,740 ^a _A	0,714 ^a _A	0,733 ^a _A	0,97
J(Ag) ₃	0,903 ^a _A	0,652 ^c _B	0,719 ^b _A	0,585 ^d _A	0,0009
SJ(Ag) ₃	0,846 ^a _A	0,798 ^a _A	0,770 ^a _A	0,723 ^b _A	0,13
J(Aa) ₃	0,974 ^a _A	0,723 ^c _A	0,750 ^b _A	0,633 ^d _A	0,004
SJ(Aa) ₃	0,729 ^a _C	0,667 ^a _B	0,682 ^a _A	0,682 ^a _A	0,82
Probabilité	0,0000	0,035	0,02	0,20	

T(Cc): Témoin mis en culture continue.

T(Jn)3: Témoin mis en jachère naturelle.

S(Jn)3: Sorgho après jachère naturelle de 3 ans.

J(Ag)3: Jachère à *A. gayanus* de 3 ans.

SJ(Ag)3: Sorgho après jachère de 3 ans à *A. gayanus*.

J(Aa)3: Jachère à *A. ascinodis* de 3 ans.

SJ(Aa)3: Sorgho après jachère de 3 ans à *A. ascinodis*.

A l'intérieur de chaque ligne, les moyennes suivies de la même lettre en exposant ne sont pas significativement différentes au seuil de 5% selon le test de Scheffe.

A l'intérieur de chaque colonne, les moyennes suivies de la même lettre en indice ne sont pas significativement différentes au seuil de 5% selon le test de Scheffe.

traitements, même si l'on observe que, par rapport au témoin mis en culture continue, les teneurs en carbone des traitements sorgho après jachères de 3 ans à *A. gayanus* et à *A. ascinodis* sont légèrement en hausse. Les sols prélevés hors touffe et pour l'horizon 0-10 cm, les jachères ont amélioré significativement la teneur en carbone des sols, mais dans une moindre mesure par rapport aux effets similaires observés sous touffe. Pour la profondeur 10-20 cm, hors touffe (Tableau 1), les teneurs en carbone des traitements ne diffèrent pas significativement entre elles.

Effet des traitements sur la distribution de l'azote

Les résultats analytiques de la distribution de l'azote sont consignés dans le tableau 3.

Sous touffe, et pour l'horizon 0-10 cm (Tableau 3), l'analyse de variance n'a pas permis de révéler une différence significative entre les traitements. Cependant, le test de comparaison de moyenne montre que seule la teneur en azote de la jachère de 3 ans à *A. ascinodis* est élevée et se différencie significativement de celle du témoin en culture continue et de la jachère de 3 ans à *A. gayanus*.

Au niveau de l'horizon 10-20 cm sous touffe et des horizons 0-10 cm et 10-20 cm hors touffe (Tableau 3), les différents traitements appliqués n'ont pas changé significativement les teneurs en azote et ce, par rapport aux témoins.

On observe de même que la teneur en azote est distribuée de façon homogène en fonction de la profondeur.

Effet des traitements sur la distribution du phosphore et du potassium

Les résultats analytiques de la distribution du phosphore et du potassium sont consignés dans les tableaux 4 et 5.

Effet des traitements sur la distribution du phosphore

Sous touffe (Tableau 5), on observe que le traitement sorgho après jachère de 3 ans à *A. gayanus* présente la teneur la plus élevée en phosphore total. Ce traitement diffère significativement des traitements T(Cc), T(Jn)₃, J(Aa)₃, pour l'horizon 0-10 cm et des traitements T(Cc), J(Ag)₃, SJ(Aa)₃, pour l'horizon 10-20 cm. Les teneurs en phosphore assimilable (Tableau 5), ne diffèrent pas significativement. Hors touffe et pour l'horizon 0-10 cm (Tableau 4), la teneur en phosphore total du traitement sorgho après jachère de 3 ans à *A. gayanus* est la plus élevée. Elle diffère significativement du témoin mis en culture continue. L'analyse du phosphore assimilable (Tableau 4) ne révèle pas de différence significative entre les traitements. Hors touffe et pour l'horizon 10-20 cm, il n'y a pas de différence significative (Tableau 4). Dans l'ensemble, les sols testés présentent des faibles teneurs en phosphore assimilable. Les teneurs ne dépassent guère 15 ppm de P.

Effet des traitements sur la distribution du potassium

Les teneurs en potassium total de tous les traitements sont faibles et ne diffèrent pas significativement entre elles (Tableaux 4 et 5). Les teneurs dépassent rarement 500 ppm de K. Cela va se traduire par des faibles valeurs en potassium disponible.

Effet des traitements sur le pH du sol

Les résultats analytiques du pH du sol sont présentés dans les tableaux 6 et 7.

On constate généralement que le pH_{eau} (Tableau 6) au niveau des parcelles mises en culture T(Cc); SJ(Ag)₃; ST(Jn)₃; SJ(Aa)₃ est significativement plus élevé par rapport aux parcelles de jachères (T(Jn)₃; J(Ag)₃;

Tableau 3
Teneurs moyennes en azote (mg/kg du poids sec du sol)

Traitements	Sous touffe Horizon		Hors touffe Horizon		Probabilité
	0-10 cm	10-20 cm	0-10 cm	10-20 cm	
T(Cc)	211,09 ^a _D	229,74 ^a _B	183,83 ^a _B	206,33 ^a _A	0,40
T(Jn) ₃	278,28 ^a _B	282,06 ^a _A	278,28 ^a _A	282,06 ^a _A	0,99
S(Jn) ₃	314,67 ^a _C	296,57 ^a _A	294,13 ^a _A	295,63 ^a _A	0,99
J(Ag) ₃	237,63 ^a _A	225,24 ^c _B	272,28 ^b _A	239,05 ^d _A	0,91
SJ(Ag) ₃	298,67 ^a _A	291,10 ^a _A	277,02 ^a _A	268,74 ^b _A	0,97
J(Aa) ₃	416,55 ^a _A	289,80 ^c _A	284,09 ^b _A	241,84 ^d _A	0,21
SJ(Aa) ₃	318,41 ^a _C	299,91 ^a _B	258,03 ^a _A	276,46 ^a _A	0,83
Probabilité	0,12	0,82	0,63	0,73	

T(Cc): Témoin mis en culture continue.

S(Jn)₃: Sorgho après jachère naturelle de 3 ans.

SJ(Ag)₃: Sorgho après jachère de 3 ans à *A. gayanus*.

SJ(Aa)₃: Sorgho après jachère de 3 ans à *A. ascinodis*.

T(Jn)₃: Témoin mis en jachère naturelle.

J(Ag)₃: Jachère à *A. gayanus* de 3 ans.

J(Aa)₃: Jachère à *A. ascinodis* de 3 ans.

A l'intérieur de chaque ligne, les moyennes suivies de la même lettre en exposant ne sont pas significativement différentes au seuil de 5% selon le test de Scheffe.

A l'intérieur de chaque colonne, les moyennes suivies de la même lettre en indice ne sont pas significativement différentes au seuil de 5% selon le test de Scheffe.

Tableau 4
Teneurs moyennes en phosphore et en potassium en mg/kg de poids sec de sol hors touffe

Hors touffe Traitements	Phosphore (P) total		P. assimilable		Potassium total	
	Horizon		Horizon		Horizon	
	0-10 cm	10-20 cm	0-10 cm	10-20 cm	0-10 cm	10-20 cm
T(Cc)	53.55 b	68.36 a	13.83 a	13.90 a	390.93 a	381.24 a
T(Jn)3	69.24 a	101.14 a	13.72 a	7.58 a	299.57 a	316.88 a
S(Jn)3	83.44 a	126.66 a	11.06 a	9.27 a	406.14 a	424.74 a
J(Ag)3	84.89 a	68.54 a	10.05 a	11.23 a	346.21 a	285.50 a
SJ(Ag)3	123.54 a	144.85 a	14.49 a	13.61 a	321.43 a	316.38 a
J(Aa)3	75.12 a	71.23 a	9.97 a	8.61 a	332.35 a	231.33 a
SJ(Aa)3	72.46 a	92.73 a	6.64 a	12.07 a	278.05 a	277.81 a
Probabilité	0,16	0,16	0,43	0,60	0,75	0,45

T(Cc): Témoin mis en culture continue.

S(Jn)3: Sorgho après jachère naturelle de 3 ans.

SJ(Ag)3: Sorgho après jachère de 3 ans à *A. gayanus*.

SJ(Aa)3: Sorgho après jachère de 3 ans à *A. ascinodis*.

T(Jn)3: Témoin mis en jachère naturelle.

J(Ag)3: Jachère à *A. gayanus* de 3 ans.

J(Aa)3: Jachère à *A. ascinodis* de 3 ans.

A l'intérieur de chaque ligne, les moyennes suivies de la même lettre en exposant ne sont pas significativement différentes au seuil de 5% selon le test de Scheffe.

A l'intérieur de chaque colonne, les moyennes suivies de la même lettre en indice ne sont pas significativement différentes au seuil de 5% selon le test de Scheffe.

Tableau 5
Teneurs moyennes en phosphore et en potassium en mg/kg sous touffe

Sous touffe Traitements	Phosphore (P) total		P. assimilable		Potassium total	
	Horizon		Horizon		Horizon	
	0-10 cm	10-20 cm	0-10 cm	10-20 cm	0-10 cm	10-20 cm
T(Cc)	58.46 b	79.09 b	14.69 a	16.96 a	366.88 a	468.96 a
T(Jn)3	69.26 b	101.14 a	13.72 a	7.58 a	299.57 a	316.88 a
S(Jn)3	92.72 a	113.16 a	10.89 a	9.35 a	333.38 a	426.59 a
J(Ag)3	82.31 a	91.55 b	15.22 a	9.77 a	328.60 a	244.85 a
SJ(Ag)3	137.16 a	162.72 a	14.29 a	15.83 a	375.45 a	304.55 a
J(Aa)3	73.45 b	87.35 b	9.55 a	6.42 a	209.24 a	267.08 a
SJ(Aa)3	99.64 a	92.4 b	13.73 a	10.32 a	331.52 a	287.92 a
Probabilité	0,10	0,07	0,76	0,21	0,73	0,48

T(Cc): Témoin mis en culture continue.

S(Jn)3: Sorgho après jachère naturelle de 3 ans.

SJ(Ag)3: Sorgho après jachère de 3 ans à *A. gayanus*.

SJ(Aa)3: Sorgho après jachère de 3 ans à *A. ascinodis*.

T(Jn)3: Témoin mis en jachère naturelle.

J(Ag)3: Jachère à *A. gayanus* de 3 ans.

J(Aa)3: Jachère à *A. ascinodis* de 3 ans.

A l'intérieur de chaque ligne, les moyennes suivies de la même lettre en exposant ne sont pas significativement différentes au seuil de 5% selon le test de Scheffe.

A l'intérieur de chaque colonne, les moyennes suivies de la même lettre en indice ne sont pas significativement différentes au seuil de 5% selon le test de Scheffe.

J(Aa)₃). Les mêmes tendances s'observent au niveau du pH_{KCl} (Tableau 7).

D'une manière générale, le pH_{eau} des sols testés varie de 5,0 à 6,1 (Tableau 6). Quant au pH_{KCl} (Tableau 7), il s'échelonne entre 4,5 et 5,4. Ces sols sont classés par le Référentiel Pédologique Français comme acides (5).

Enfin, l'examen du tableau 7 montre que le pH du sol est plus élevé au niveau de l'horizon de surface (0-10 cm) que celui sous-jacent (10-20 cm).

Discussion

De l'analyse des différents résultats, les observations suivantes peuvent être faites:

- une bonne capacité de survie et d'adaptation des andropogonnées après le repiquage;
- un gain net en carbone de:
 - 43,31% et 54,55% respectivement sous *A. gayanus* et *A. ascinodis* par rapport à la culture continue;
 - 11,3% et 20,03% respectivement sous *A. gayanus* et *A. ascinodis* par rapport à la jachère naturelle;
 - 28,76% sous couverture à herbacées annuelles par rapport aux témoins mis en culture continue.

Les teneurs en carbone des traitements sorgho après jachère de 3 ans à *A. gayanus* et à *A. ascinodis* sont significativement plus élevées par rapport au témoin sorgho mis en culture continue.

Ces teneurs traduisent aussi une hausse propor-

Tableau 6
Valeurs moyennes du pH_{eau} du sol

Traitements	Sous touffe Horizon		Hors touffe Horizon		Probabilité
	0-10 cm	10-20 cm	0-10 cm	10-20 cm	
T(Cc)	6,13 ^a _A	6,04 ^a _A	6,169 ^a _A	6,03 ^a _A	0,58
T(Jn) ₃	5,69 ^a _B	5,66 ^a _A	5,69 ^a _B	5,66 ^a _A	0,96
S(Jn) ₃	6,00 ^a _A	5,74 ^a _A	5,91 ^a _A	5,78 ^a _A	0,31
J(Ag) ₃	5,65 ^a _B	5,72 ^a _A	5,79 ^a _A	5,47 ^a _B	0,40
SJ(Ag) ₃	6,01 ^a _A	5,84 ^a _A	5,92 ^a _A	5,76 ^a _A	0,59
J(Aa) ₃	5,59 ^a _C	5,59 ^a _A	5,68 ^a _B	5,45 ^a _B	0,21
SJ(Aa) ₃	5,99 ^a _A	5,69 ^a _A	6,03 ^a _A	5,77 ^a _A	0,43
Probabilité	0,006	0,28	0,046	0,03	

T(Cc): Témoin mis en culture continue.

T(Jn)3: Témoin mis en jachère naturelle.

S(Jn)3: Sorgho après jachère naturelle de 3 ans.

J(Ag)3: Jachère à *A. gayanus* de 3 ans.

SJ(Ag)3: Sorgho après jachère de 3 ans à *A. gayanus*.

J(Aa)3: Jachère à *A. ascinodis* de 3 ans.

SJ(Aa)3: Sorgho après jachère de 3 ans à *A. ascinodis*.

A l'intérieur de chaque ligne, les moyennes suivies de la même lettre en exposant ne sont pas significativement différentes au seuil de 5% selon le test de Scheffe.

A l'intérieur de chaque colonne, les moyennes suivies de la même lettre en indice ne sont pas significativement différentes au seuil de 5% selon le test de Scheffe.

Tableau 7
Valeurs moyennes du pH_{KCl} du sol

Traitements	Sous touffe Horizon		Hors touffe Horizon		Probabilité
	0-10 cm	10-20 cm	0-10 cm	10-20 cm	
T(Cc)	5,48 ^a _A	5,09 ^b _A	5,57 ^a _A	5,09 ^b _A	0,04
T(Jn) ₃	5,00 ^a _B	4,75 ^b _A	5,00 ^a _B	4,75 ^b _A	0,02
S(Jn) ₃	5,25 ^a _A	4,87 ^b _A	5,30 ^a _A	4,98 ^a _A	0,06
J(Ag) ₃	4,98 ^a _B	4,78 ^b _A	4,98 ^a _B	4,47 ^b _B	0,009
SJ(Ag) ₃	5,41 ^a _A	5,01 ^a _A	5,38 ^a _A	5,00 ^a _A	0,084
J(Aa) ₃	4,87 ^a _C	4,64 ^b _A	4,996 ^a _B	4,51 ^b _B	0,0003
SJ(Aa) ₃	5,29 ^a _A	4,88 ^a _A	5,33 ^a _A	5,06 ^a _A	0,28
Probabilité	0,009	0,20	0,007	0,002	

T(Cc): Témoin mis en culture continue.

T(Jn)3: Témoin mis en jachère naturelle.

S(Jn)3: Sorgho après jachère naturelle de 3 ans.

J(Ag)3: Jachère à *A. gayanus* de 3 ans.

SJ(Ag)3: Sorgho après jachère de 3 ans à *A. gayanus*.

J(Aa)3: Jachère à *A. ascinodis* de 3 ans.

SJ(Aa)3: Sorgho après jachère de 3 ans à *A. ascinodis*.

A l'intérieur de chaque ligne, les moyennes suivies de la même lettre en exposant ne sont pas significativement différentes au seuil de 5% selon le test de Scheffe.

A l'intérieur de chaque colonne, les moyennes suivies de la même lettre en indice ne sont pas significativement différentes au seuil de 5% selon le test de Scheffe.

tionnelle du stock de matière organique du sol. Sous touffes et pour l'horizon 0-10 cm, la teneur en carbone du sol est fonction du mode de gestion appliqué. La biomasse épigée des jachères de 3 ans à *A. gayanus* et à *A. ascinodis* étant fauchée et exportée à la fin de chaque campagne, sa contribution dans les variations observées au niveau des teneurs en éléments chimiques est faible. Ce sont donc essentiellement les parties souterraines des graminées, qui contribuent pour une large part à l'accroissement des teneurs en carbone des sols étudiés. Ces résultats sont en conformité avec ceux donnés par Abbadie (2) pour Lamto, par Greenland et Nye (17), par César et Coulibaly (9), par Piéri (21, 22), par Somé (26) et Somé *et al.* (27). En effet, pour Buldgen et Dieng (8), le

renouvellement annuel des racines de ces graminées avoisine 72%.

Des auteurs comme Feller *et al.* (13), Hoefsloot *et al.* (15), Paniagua *et al.* (20), ont montré que la jachère améliorée, même de courte durée, améliore dans une certaine mesure les conditions du milieu.

L'accumulation de l'azote observée au niveau de l'horizon 0-10 cm sous couverture à *A. ascinodis* par rapport au témoin mis en culture continue peut révéler une bonne activité microbienne due à l'effet rhizosphérique. Ainsi, on peut penser que la faune du sol s'attaque préférentiellement à la matière organique nouvellement incorporée (19), ce qui aboutit à la libéralisation (minéralisation de la matière organique et des cadavres microbiens) et à la

participation de l'azote à la formation des substances humiques (25), et à son accumulation sur le complexe adsorbant sous forme de cation NH_4^+ . En effet, une étude récente menée par Abbadie *et al.* (3) a montré que ces types de graminées bloquent le cycle de l'azote sous forme ammoniacale, empêchant ainsi sa lixiviation.

La teneur en azote du sol est nettement inférieure sous couverture à *A. gayanus*. Selon Abbadie *et al.*, (3), la structure en touffe dense d' *A. gayanus* lui confère la possibilité de "court-circuiter" le cycle de l'azote. Pour ces auteurs, les racines vivantes de cette espèce ont la capacité de transférer directement l'azote organique issu des racines mortes sans qu'il ne transite par le stock humique du sol. Ce qui pourrait probablement expliquer les teneurs en azote relativement faibles observées au niveau du sol sous couverture à *A. gayanus*.

L'analyse des résultats montre l'existence de carence en nutriments (P, K) au niveau de sols testés (ferrugineux tropicaux lessivés). Une étude menée par l'équipe du Département Productions Forestières de l'INERA (1997) au niveau des sols ferrugineux tropicaux

lessivés du Bam et de l'Oubritenga au Burkina Faso a donné des résultats similaires. Dans un système de culture ne recevant pas d'engrais, le phosphore et le potassium proviennent essentiellement de l'altération des roches riches en phosphate, en micas et en feldspaths potassiques (5), qui sont peu présentes dans les sols ferrugineux.

Conclusion

L'un des objectifs pratiques de la mise en jachère est de restaurer la fertilité des sols. *Andropogon gayanus* et *Andropogon ascinodis* ont montré des propriétés à même d'améliorer les paramètres chimiques à partir de leurs racines et de restaurer ainsi la fertilité des sols. Ceci laisse entrevoir une possible amélioration de la fertilité des sols cultivés par l'implantation de *Andropogon* spp. sous forme de jachères artificielles. Ces jachères artificielles contribuent également au raccourcissement des jachères en zone soudanienne et aux nombreuses autres fonctions et utilisations connues des andropogonées (fourrage et matière première pour l'artisanat).

Références bibliographiques

1. Abbadie L., 1990, Aspects fonctionnels du cycle de l'azote dans la strate herbacée de la savane de LAMTO. Th. doctorat, Univ. Pierre et Marie Curie, Paris VI, 158 p.
2. Abbadie L., 1995, Organic matter and nutrient dynamics in wet savana of Ivory Coast: facts and hypothesis. Functioning and dynamics of natural and perturbed ecosystems. Bellan D., Bonin G., Emig C. Eds, pp. 197-203.
3. Abbadie L., Lata J.C. & Tavernier V., 2000, Impact des graminées pérennes sur une ressource rare: l'azote. In: Floret C. et Pontanier R., La jachère en Afrique tropicale. Rôles, aménagements, alternatives. Actes du séminaire international, Dakar, 13-16 avril 1999, Vol I, John Libbey-eurotext -IRD-CORAF, pp. 189-193.
4. Albrecht A., Angers D.A., Beare M.H. & Blanchart E., 1998, Déterminants organiques et biologiques de l'agrégation: implication pour la recapitalisation de la fertilité physique des sols tropicaux. Cahiers Agriculture, 7, 357-363.
5. Baize D., 1988, Guide des analyses courantes en pédologie. INRA. Paris. 172 p.
6. Blic P. De, 1997, Organisation structurale et comportement physique du sol sous l'effet de la culture et de la jachère. I. Evolution du profil cultural au cours de la jachère à *Andropogon* spp. Laboratoire de pédologie; ORSTOM, Burkina Faso, 24 p. + annexes.
7. Berman H., 1982, La production des herbes pérennes et des arbres. In: Penning De Vries F.W.T. et Djiteye M.A. eds. La productivité des pâturages sahéliens PUDOC, Wageningen, pp. 399-411.
8. Buldgen A. & Dieng A., 1997, *Andropogon gayanus* var. *bisquamulatus*. Les presses agronomiques de Gembloux A.S.B.L., 171 p.
9. César J. & Coulibaly Z., 1991, Le rôle des jachères et des cultures fourragères dans le maintien de la fertilité des terres. In: Savanes d'Afrique, terres fertiles? Actes des rencontres internationales. Ministère de la coopération et du développement/ CIRAD, pp. 271-287.
10. Charreau C. & Nicou R., 1971, L'amélioration du profil cultural dans les sols sableux et sablo-argileux de la zone sèche ouest africaine et ses indices agronomiques. L'agronomie tropicale, 26, 5, 565-631.
11. Descoings B.M., 1976, Approche des formations herbeuses tropicales par la structure de la végétation. Thèse Doc., Univ. des Sciences et Techniques du Languedoc, Montpellier, 221 p.
12. Djimadoum M., 1999, Recherche des facteurs favorables à l'installation du peuplement de *Andropogon gayanus* Kunth dans les jachères en savanes soudanaises. Cas de la région de Bondoukuy, Burkina-Faso. Mémoire de DEA. Option biologie et écologie végétales. FAST/ IRD/ CRNST, 67 p. + annexes.
13. Feller C., Lavelle P., Albrecht A. & Nicolardot B., 1993, La jachère et le fonctionnement des sols tropicaux: rôle de l'activité biologique et des matières organiques. Quelques éléments de réflexion. In: Floret Ch. et Serpentier G. eds, La jachère en Afrique de l'ouest. Orstom, Colloques et séminaires, Paris France, pp. 15-32.
14. Feller C., 1994, La matière organique dans les sols tropicaux à argile 1: 1. Recherche de compartiments organiques fonctionnels. Une approche granulométrique. Thèse de doct. Es Sc. Nat. Université Louis Pasteur, 393 p. + annexes.
15. Hoefsloot H., Van Der Pol F. & Roelevelled L., 1993, Jachères améliorées. Option pour le développement de systèmes de production en Afrique de l'ouest. Bulletin 333. Institut Royal des Tropiques. Amsterdam Kit développement agricole, 86 p.
16. Greeland D.J., 1977, Contribution of micro-organisms to the status of tropical soils. In: Ayanaba A. et Dart P.J. eds Biological nitrogen fixation in farming systems of the tropics. J. Willey, New York, pp. 13-26.
17. Greeland D.J. & Nye P.H. 1959, Increase in the carbon and nitrogen content of tropical soil under natural fallows. Journal of Science, 10, 284-299.
18. Jean S., 1975, Les jachères en Afrique tropicale. Interprétation technique et foncière. Institut d'Ethnologie, Musée de l'Homme, Paris 168 p.
19. Myers R.J.K., Palm C.A., Cueva E., Gunatilleke & Bossard M., 1989, The synchronisation of nutrients mineralization and plants demand. In: Woomer P.L. et Swift M.J. eds, The biological management of tropical soil fertility. John Willey & Son, pp. 88-110.
20. Paniagua A., Kammerbauer J. & Andrews A.M., 1999, Relationship of soil characteristics to vegetation succession on a sequence of degraded and rehabilitated soils in Honduras. Agriculture, ecosystems and environment, pp. 215-225.
21. Pieri C., 1989, Fertilité des terres de savanes. (Bilan de trente ans de recherche et de développement agricole au sud du Sahara). Ministère de la coopération et du développement, CIRAD/ IRAT, 444 p.
22. Pieri C., 1991, Les bases agronomiques de l'amélioration et du maintien de la fertilité des terres de savanes au sud du Sahara. In: Savanes d'Afrique, terres fertiles ? Actes des rencontres internationales. Ministère de la coopération et du développement, CIRAD, pp. 43-52.

23. Sédogo M.P., 1981, Contribution à la valorisation des résidus culturaux en sol ferrugineux et sous climat tropical semi-aride (Matière organique du sol et nutrition azotée des cultures). Thèse Doct. - Ingénieur, ENSAIA, Nancy, France, 198 p.
24. Sédogo M.P., 1993, Evolution des sols ferrugineux lessivés sous culture: incidence des modes de gestion sur la fertilité. Thèse Doct. Es Sc. Univ. Nat. De Côte d'Ivoire, 285 p + annexes.
25. Soltner D., 1994, Les bases de la production végétale. Collection: sciences et techniques agricoles. 20^e édition. 467 p.
26. Somé A.N., 1996, Les systèmes écologiques post-culturels de la zone soudanaise (Burkina Faso): structure spatio-temporelle des communautés végétales et évolution des caractères pédologiques. Thèse Doct. Univ. Pierre et Marie Curie (Paris VI), 212 p. (+ annexes).
27. Somé A.N., Hien V. & Alexandre D.Y., 2000, Dynamique comparée de la matière organique du sol dans les jachères soudanaise sous l'influence d'herbacées annuelles et pérennes. *In*: Floret C. et Pontanier R. eds, La jachère en Afrique tropicale. Rôles, Aménagements, Alternatives. Actes du séminaire international, Dakar, 13-16 avril 1999, Vol I, John Libbey-eurotext -IRD-CORAF, pp. 212-222.
28. Taonda S.J., Bertrand R., Dickey J., Morel J.L. & Sanon K., 1995, Dégradation des sols en agriculture minière au Burkina Faso. *Cah. Agri.* 4, 5: pp. 363-369.
29. Young A., 1989, Agroforestry for soil conservation. CAB International, ICRAF, Wallingford, Nairobi. 120 p.
30. Zombré N.P., Djimadoun M., Somé N.A. & Blic P. De, 1995, Etude pédologique du terroir de Sobaka: forêt classée du Nazinon (texte et carte pédologique). Programme J.O.S.E.F., IRBET/ ORSTOM - Ouagadougou, 41 p.
31. Zoungrana I., 1993, Les jachères nord-soudanaises du Burkina Faso. I - Analyse de la reconstitution de la végétation herbacée. *In*: La jachère en Afrique de l'Ouest. Colloques et séminaires, ORSTOM, Paris, pp. 351-357.

N.A. Somé, Burkinabè, Ingénieur des Eaux et Forêts, Ecologue, Maître-Assistant, Université Polytechnique de Bobo, BP. 1091, Bobo-dioulasso, Burkina-Faso.
 V. Hien, Burkinabè, Doctorat unique en Agro-pédologie, Chef du Département de Recherche sur la Gestion des Ressources Naturelles et Systèmes de Production.

S.J. Ouédraogo, Burkinabè, Ingénieur du Développement Rural, Chargé de Recherche en écologie forestière (CAMES).

Influence de *Boscia senegalensis* (Pers) Lam. Ex Poir. (Capparaceae) sur les capacités de dispersion de *Dinarmus basalis* Rond. (Hymenoptera-Pteromalidae) dans les systèmes de stockage traditionnels de niébé

A. Doumma^{1*} & I. Alzouma¹

Keywords: *Boscia senegalensis*- Traditional storage system- Capacity of dispersion- Bruchidae- Cowpea- Niger

Résumé

Au cours de cette étude, nous avons analysé l'impact de *Boscia senegalensis* (Pers) Lam. Ex Poir. (Capparaceae) sur les capacités de dispersion de *Dinarmus basalis* Rond (Hymenoptera-Pteromalidae), ectoparasitoïde solitaire des stades larvaires et nymphaux des bruchidés ravageurs de niébé (*Vigna unguiculata* (L.) Walp), à l'intérieur d'un système de stockage traditionnel. Les résultats obtenus au cours de cette étude montrent que, quelle que soit la position du patch [Petit sachet (5 cm x 5 cm x 2 cm)] à mailles lâches (0,5 cm x 0,5 cm) contenant le lot de graines «bruchées» traité, les femelles de *D. basalis* sont capables de se déplacer entre les graines de niébé pour localiser et parasiter leurs hôtes. En situation de non choix, les taux de parasitisme enregistrés sont relativement plus faibles que ceux enregistrés lorsque le patch n'est pas traité à *B. senegalensis*. Cependant, en situation de choix, les femelles de *D. basalis* évitent le patch traité avec la plante insecticide *B. senegalensis* au profit du ou des patches non traités.

Summary

Impact of *Boscia senegalensis* (Pers) Lam. Ex Poir. (Capparaceae) on the Dispersion Capacities of *Dinarmus basalis* Rond (Hymenoptera-Pteromalidae) in Traditional Storage System

In this study, the impact of *Boscia senegalensis* (Pers) Lam. Ex Poir. (Capparaceae) on dispersion capacities of *Dinarmus basalis* Rond (Hymenoptera-Pteromalidae), a solitary ectoparasitoid of the development stages of bruchid pests of cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp), within a traditional storage system is analysed. The results point out that, whatever the position of the treated patch, females of *D. basalis* are able to move between seeds of cowpea and some of them are able to localize and parasitize their hosts. In a non choice situation, the rates of parasitism observed were less important than the ones obtained when the patches were not treated with *B. senegalensis*. Nevertheless in situation of choice, females seem to avoid the patch treated with the insecticidal plant *B. senegalensis*.

Introduction

Des essais de lutte biologique conduits dans de petits systèmes de stockage traditionnels de niébé (*V. unguiculata*) ont montré l'efficacité des introductions régulières de *D. basalis* dans le contrôle des populations de bruches (2, 8). Or ces systèmes de stockage constituent des milieux très particuliers caractérisés par un relatif confinement, une luminosité réduite, une circulation d'air limitée aux mouvements convectifs, une dispersion des hôtes dans une masse importante de graines et une densité en hôtes variable au cours du temps. Les travaux réalisés par plusieurs auteurs ont montré que, malgré ces conditions, les parasitoïdes sont capables de se déplacer, localiser et parasiter leurs hôtes dans de telles structures. Parmi ces travaux réalisés on peut citer ceux de Huignard (6), Van Huis *et al.* (10), Cortesero (1) et Doumma (2) respectivement sur *U. lariophaga*, *E. vuilleti* et *D. basalis*. Ces auteurs ont montré que ces trois espèces de parasitoïdes qui occupent la même niche écologique présentent un géotropisme négatif

assez marqué qui s'exprime même à l'obscurité.

Les travaux réalisés par Doumma (2), Doumma et Alzouma (4), et Sou (9) ont montré que la méthode traditionnelle de lutte par introductions régulières de *B. senegalensis* constitue un moyen efficace de contrôle des populations de bruches dans les systèmes de stockage. Toutefois, ce produit affecte aussi bien les bruches que les hyménoptères parasitoïdes en limitant considérablement leur développement dans les stocks.

Par conséquent, il nous a paru intéressant d'étudier l'influence de ce produit sur les déplacements des femelles de *D. basalis*; notamment le comportement de ces femelles dans un stock de niébé comprenant plusieurs patches dont certains sont traités avec *B. senegalensis*.

Matériel et méthodes

1. La plante insecticide: *Boscia senegalensis*

B. senegalensis est un petit arbuste pouvant atteindre

¹Université A.M., BP. 10662, Niamey, Niger. *E-mail: doumma@yahoo.com

Reçu le 03.06.04 et accepté pour publication le 12.10.05.

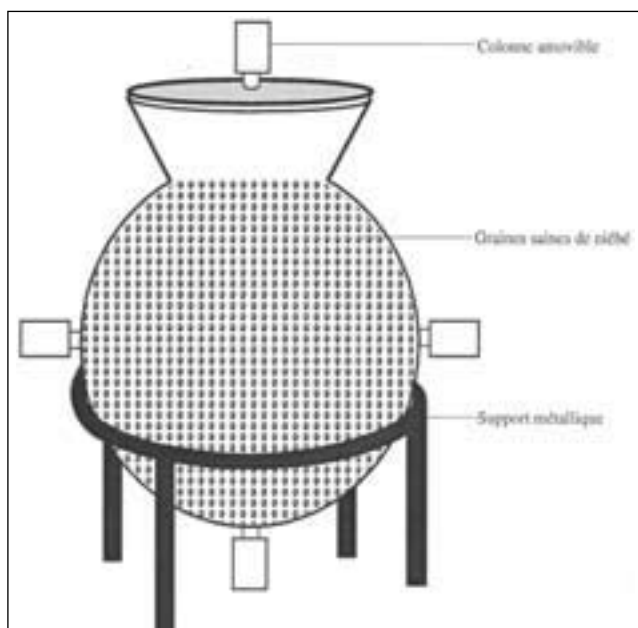


Figure 1: Dispositif expérimental d'étude des déplacements des femelles de *D. Basalis*.

3 m de haut et qui pousse sur des sols très secs pierreux, argileux ou latéritiques. Cette plante très répandue au Niger est employée traditionnellement par les paysans dans la protection des stocks.

Une analyse de la phénologie de cette plante en fonction du temps montre que de novembre à mars, la plante garde des feuilles intactes; par contre entre mars et juin (date des premières pluies au Niger) les feuilles deviennent jaunes et même parfois difficiles à trouver.

Les feuilles utilisées pour nos expériences sont immédiatement broyées après cueillette et introduites dans le patch de graines «bruchées».

2. La souche de *D. basalis*

La souche de *D. basalis* utilisée au cours de cette étude provient de gousses infestées achetées auprès de petits agriculteurs à Balleyara, localité située à environ 100 km au nord-est de Niamey. La souche est ensuite maintenue au laboratoire sur des graines de variété locale infestées par des larves de *C. maculatus*.

3. Réalisation des tests

Les femelles utilisées au cours de cette expérience sont isolées dès l'émergence. Elles sont ensuite placées pendant trois jours avec des mâles dans une boîte de Pétri contenant une centaine de graines «bruchées» (graines contenant des larves et des nymphes de *C. maculatus*) de *V. unguiculata*.

La veille du test, les femelles sont isolées.

Le jour du test, c'est-à-dire à J4, les femelles ainsi isolées sont introduites dans le canari rempli de graines saines de *V. unguiculata*.

Au bout de 48 h les canaris sont vidés et les femelles retirées

4. Le dispositif expérimental (Figure 1)

Le dispositif expérimental utilisé pour cette étude est un canari muni de quatre petites colonnes amovibles d'environ 10 cm de long permettant l'introduction des femelles de *D. basalis* dans les directions définies.

La disposition des colonnes est la suivante:

- une colonne placée en haut sur le couvercle de l'ouverture principale,
- une colonne placée sur la partie basale du canari,
- deux colonnes placées latéralement sur les côtés droit et gauche du canari. L'ensemble du système repose sur un support métallique.

5. Protocole expérimental

Deux situations expérimentales ont été examinées:

- un seul patch traité avec le produit est placé soit dans la partie inférieure du canari et les femelles sont introduites par la partie supérieure, soit inversement (Figure 2)

- trois patchs (un traité et deux non traités) sont placés dans le canari selon les positions suivantes (Figure 3):

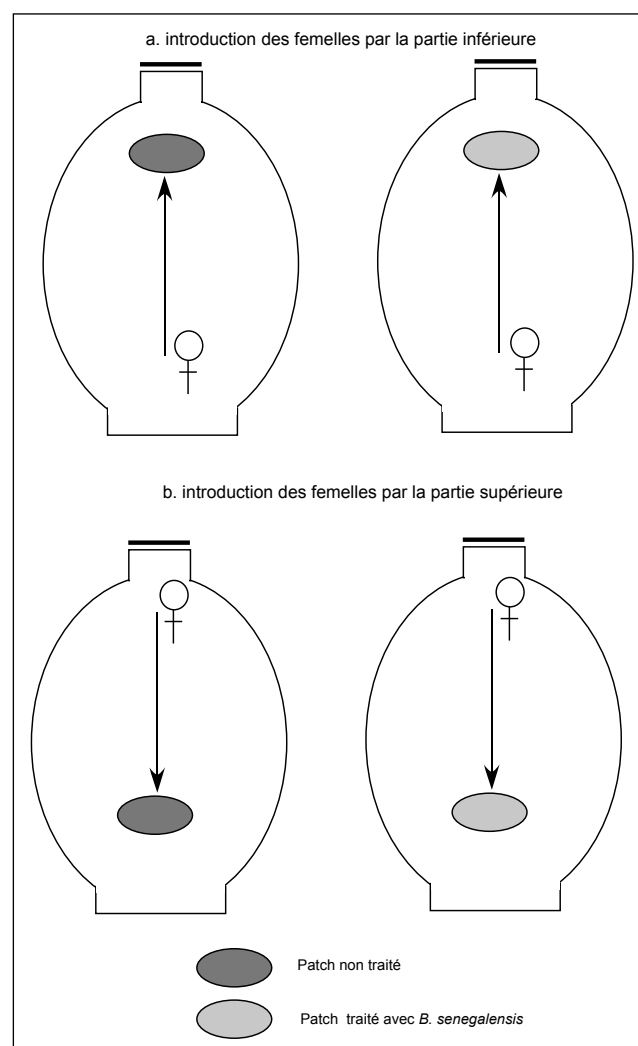


Figure 2: Protocole expérimental d'étude des déplacements des femelles de *D. basalis* en situation de non choix.

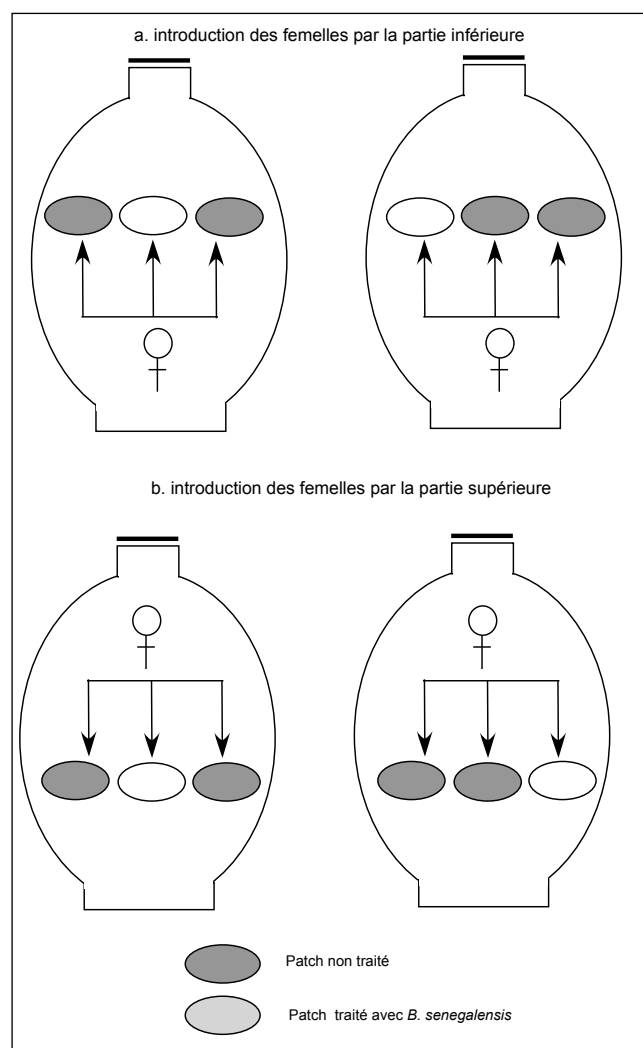


Figure 3: Protocole expérimental d'étude des déplacements des femelles de *D. basalis* en situation de choix.

*Le patch traité est au milieu du stock et les deux autres non traités sont placés de part et d'autre au niveau du canari (gauche et droite). Les femelles sont introduites soit par la partie inférieure du canari, soit par la partie supérieure.

*Le patch traité est placé latéralement à gauche dans le canari et les deux patches non traités, l'un au centre et le second à droite latéralement; les femelles sont introduites soit par la partie inférieure, soit par la partie supérieure.

Quatre répétitions sont réalisées pour chaque situation expérimentale avec 20 femelles et 20 hôtes/patch pour chaque répétition. Après dissection des graines «bruchées», le nombre d'hôtes parasités dans chaque

patch est recensé, ce qui permet d'estimer le taux de parasitisme pour chaque situation expérimentale.

6. Test statistique utilisé

Les taux de parasitisme enregistrés en fonction des différents niveaux d'introduction ont été comparés au moyen d'un test de comparaison Khi-deux au seuil de 95%.

Résultats

1. En situation de non choix

Lorsqu'un patch traité avec du broyât de feuilles vertes de *B. senegalensis* est placé soit dans la partie supérieure, soit dans la partie inférieure du canari, et que les femelles de *D. basalis* sont introduites en sens inverse (respectivement dans les parties inférieure et supérieure du canari), les résultats obtenus montrent que le taux de parasitisme des larves de bruches ne semble pas varier en fonction du point d'introduction des femelles dans le canari.

Toutefois, les différents taux de parasitisme enregistrés dans ces conditions sont relativement plus faibles que ceux lorsque les patches ne sont pas traités avec le broyât de la plante (Tableau 1).

2. En situation de choix

Les résultats obtenus montrent que:

Quand le patch traité est placé au milieu du stock et que les femelles sont introduites par la partie inférieure du canari, les patches non soumis au traitement sont les plus parasités; cependant, il n'y a pas de différence significative entre les taux de parasitisme observés au niveau de ces patches (Tableau 2). Il en est de même lorsque, les patches étant disposés de la même manière que précédemment, les femelles sont introduites par la partie supérieure du canari. Mais les taux de parasitisme enregistrés sont nettement plus faibles que dans le premier cas (introduction par la partie inférieure).

Par contre, lorsque le patch traité est placé latéralement à gauche du canari et que les femelles sont introduites par la partie inférieure, le taux de parasitisme du patch placé au milieu du stock est significativement plus important que ceux des patches placés dans les parties latérales du canari. Ces derniers ne sont d'ailleurs pas significativement différents (Tableau 3).

Cependant lorsque, les patches ayant la même disposition que précédemment, les femelles sont introduites par la partie supérieure du canari, l'analyse

Tableau 1
Taux de parasitisme enregistrés en présence ou non de *B. senegalensis*

Lieu d'introduction des femelles de <i>D. basalis</i>	Patch non traité avec <i>B. senegalensis</i>	Patch traité avec <i>B. senegalensis</i>
Partie inférieure	56,25 % a	17,6 % b
Partie supérieure	31,25 % a	14,2 % b

Les valeurs sont comparées avec un test khi-deux ($p \leq 0,05$, 1 ddl). Pour un même niveau d'introduction, les valeurs affectées d'une lettre identique ne sont pas significativement différentes.

Tableau 2
Taux de parasitisme observés quand les patchs sont placés au milieu et aux côtés latéraux du canari

Lieu d'introduction des femelles de <i>D. basalis</i>	Taux de parasitisme des larves de bruches	
Partie inférieure	Milieu *	0 % a
	Gauche	53,5% b
	Droite	48,3% b
Partie supérieure	Milieu *	0 % a
	Gauche	35,25 % b
	Droite	30% b

* Patch traité avec *B. senegalensis*

Les valeurs sont comparées avec un test khi-deux ($p \leq 0,05$, 1 ddl). Les valeurs affectées d'une lettre identique ne sont pas significativement différentes.

Tableau 3
Taux de parasitisme observés quand les patchs sont introduits au milieu et aux côtés latéraux du canari

Lieu d'introduction des femelles de <i>D. basalis</i>	Taux de parasitisme des larves de bruches	
Partie inférieure	Milieu	50 % b
	Gauche*	0 % a
	Droite	9 % a
Partie supérieure	Milieu	30 % b
	Gauche*	0 % a
	Droite	10 % a

* Patch traité avec *B. senegalensis*

Les valeurs sont comparées avec un test khi-deux ($p \leq 0,05$, 1 ddl). Les valeurs affectées d'une lettre identique ne sont pas significativement différentes.

des résultats ne montre pas de différence significative entre les taux de parasitisme des patchs non traités. Par ailleurs, dans les deux cas d'introductions réalisées (Tableaux 2 et 3) aucun hôte n'a été parasité au niveau des patchs traités à *B. senegalensis*.

Ainsi, quelle que soit la position du patch traité, les femelles de *D. basalis* sont capables de se déplacer entre les graines de niébé pour localiser et parasiter leurs hôtes. Cependant, dans tous les cas étudiés les femelles semblent éviter le patch traité avec la plante insecticide *B. senegalensis*.

Discussion

Les résultats obtenus au cours de cette étude montrent que *B. senegalensis* semble réduire considérablement les déplacements des femelles de *D. basalis* dans les systèmes de stockage traditionnel de niébé. En effet, lorsqu'un patch traité avec le broyat de feuilles vertes de cette plante est présenté aux femelles, on constate que seulement un nombre très limité d'hôtes sont

parasités par comparaison au témoin en situation de non choix. Par contre, lorsque la femelle se présente devant une situation de choix, il apparaît clairement qu'elle est capable de discriminer entre des patchs sains et des patchs traités avec *B. senegalensis*.

Cette capacité de discrimination qui se traduit par un comportement d'évitement de la ponte s'exprime systématiquement par un choix préférentiel de ponte pour les hôtes sains (5).

Ces résultats pourraient expliquer les effectifs faibles d'hyménoptères parasitoïdes observés lorsque les stocks de niébé sont traités avec des produits naturels (2, 9).

Dans toutes les situations expérimentales, le taux de parasitisme est plus important lors des migrations ascendantes que lors des migrations descendantes. *D. basalis* présente un géotropisme négatif comme cela a été démontré chez cette espèce par Doumma (2), Doumma et Alzouma (3), chez *E. vuilleti* par Cortesero (1) et chez *Anisopteromalus calandrae* par Press (7) et Van Huis *et al.* (11).

Références bibliographiques

- Cortesero A.M., 1993, La recherche de l'hôte chez *Eupelmus vuilleti* (Crw). Analyse des relations trophiques entre la plante (*V. unguiculata* L. Walp), l'hôte (*B. atrolineatus* Pic) et le parasitoïde. Thèse de doctorat, Université de Tours (France). 134 pages.
- Doumma A., 1998, Contribution à la recherche de méthodes de lutte contre *B. atrolineatus* P. et *C. maculatus* F. (Coleoptera-Bruchidae), ravageurs du niébé (*V. unguiculata* (L.) Walp) (Leguminosae-Papilionaceae), en zone sahéenne. Thèse de doctorat 3^e cycle, Université A.M. de Niamey, 136 pages.
- Doumma A. & Alzouma I., 2000, Etude des déplacements de *D. basalis* R. (Hymenoptera-Pteromalidae) dans un système de stockage traditionnel de niébé (*V. unguiculata* (L.) Walp). Sci. Agron. & Dév. 2, 1, 29-37.
- Doumma A. & Alzouma I., 2001, Effets de *Boscia senegalensis* (Pers.) Lam. Ex Poir. (Capparaceae sur l'évolution des populations de bruches dans les systèmes de stockage traditionnel de niébé (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) en zone sahéenne. Tropicultura, 19, 4, 199-202.
- Gauthier N., 1996, Etude d'un ectoparasitoïde solitaire, *Dinarmus basalis* Rond (Hymenoptera-pteromalidae) en situation de compétition intra- et interspécifique: activité reproductrice et réponses comportementales. Thèse de Doctorat. Université de Tours, 183 pages.
- Huignard J., 1996, Biological control of bruchid insect pest of cowpea in west Africa. Rapport final contrat CEE (1993-1996). 142 pages.
- Press P.F., 1988, Movement of a weevil parasitoid, *Anisopteromalus calandrae* (Howard), within a column of wheat in relation to host location. J. Agric. Entomol. 5, 205-208.
- Sanon A., 1997, Contribution à l'étude du contrôle biologique des populations de Bruchidae ravageurs des graines de niébé, *V. unguiculata* (L.) Walp., au cours de leur stockage au Burkina Faso. Thèse de Doctorat 3^e cycle. Université de Ouagadougou. 162 pages.
- Sou S., 1998, Etude des populations de bruches et de leurs parasitoïdes

- dans un agrosystème sahélien au Burkina Faso: Mise en place de méthodes de lutte intégrée. Thèse 3^e cycle. Université de Ouagadougou. 127 pages.
10. Van Huis A., Van Albeek F. & Kaashoek N.K., 1993, Host location behaviour in experimental cowpea stocks. *In: Lutte biologique contre les Bruchidae ravageurs du niébé en Afrique de l'ouest. Rapport CEE*, 47 pages.
11. Van Huis A., Van Albeek F. & Pesch G.S.K., 1996, Research of the component of the egg parasitoid *U. lariophaga*. *In: Biological control of bruchid insects pests of cowpea in west africa (1993-1996)*, pp. 39-96.
- A. Doumma, Nigérien, Maître-assistant, Enseignant-chercheur à la Faculté des Sciences de l'Université A.M. de Niamey, Niger.
- I. Alzouma, Nigérien, Professeur titulaire à la Faculté des Sciences de l'Université A.M. de Niamey, Niger.

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 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 herrineren al onze lezers eraan, vooral diegenen in de ontwikkelingslanden, dat TROPICULTURA bestemd is voor ieder die werk verricht op het gebied 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.

Agro-biodiversity in Subsistence Farming Systems of South Somalia – Collection and Agronomic Assessment of Somali Sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) Germplasm

M. Manzelli*, S. Benedettelli & V. Vecchio

Keywords: Adaptation- Phenotypic diversity- Landraces- Sorghum- Somalia

Summary

After the collapse of Siyad Barre' regime, Somalia lost any form of agricultural research with negative consequences on food availability and seed sector stability. A first step to restore food security can be represented by enhancing local genetic resources. Sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) is a very important crop in rainfed areas of Somalia serving as primary source of food and forage. Eight morphological and productive characteristics were chosen to assess the phenotypic variability of 7 accessions from South Somalia. Univariate (ANOVA) and multivariate (discriminant and cluster analysis) methods were used to assess the productive variation within the accession and to group the 7 accessions into clusters based on quantitative characters. The results showed that there is a wide morpho-agronomical diversity among accessions, especially regarding specific features suitable for different purpose, such as grain and/or forage production. Moreover the landraces were able to grow and produce under harsh environmental conditions. The gathered information can be used to promote the conservation and future improvement of local sorghum landraces, thus aiding in the stabilisation of a secure and sustainable food resource for farmers of southern Somalia.

Résumé

Agro-biodiversité dans les systèmes agricoles de subsistance de la Somalie du sud – collection et évaluation agronomique du germoplasme de sorgho (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) somalien

Après l'effondrement du régime de Siyad Barre, la Somalie a perdu toutes ses institutions de recherche agricole. Cela s'est traduit par des conséquences négatives sur la disponibilité d'aliments et la stabilité du secteur semencier. L'amélioration des ressources génétiques autochtones peut constituer un premier pas pour rétablir la sécurité alimentaire. Le sorgho (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) est une importante céréale dans les zones pluviales de la Somalie où elle représente une des principales sources d'aliments et de fourrage. Huit caractéristiques morphologiques et productives ont été choisies pour évaluer la variabilité phénotypique de sept accessions collectées dans la Somalie du sud. On a utilisé des méthodes d'analyse univariées (ANOVA) et multivariées (analyse discriminante et de regroupements) pour évaluer la variation productive dans les accessions et pour grouper les accessions sur la base des données quantitatives. Les résultats ont indiqué qu'il y a une ample diversité morpho-agronomique parmi les accessions, spécialement pour ce qui concerne certaines caractéristiques exploitables pour différentes utilisations, comme la production de grains et/ou de fourrage. En outre, les variétés locales ont été capables de se développer et de produire en conditions environnementales très difficiles. Les informations obtenues peuvent être utilisées pour promouvoir la conservation et l'amélioration futures des variétés locales du sorgho, en aidant à stabiliser les possibilités d'approvisionnement d'une source d'aliments de subsistance pour les agriculteurs de la Somalie du sud.

Introduction

Sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) is the fifth worldwide most important food crop serving over 400 million people in the semi-arid regions of the world (1, 13).

According to what is reported in the literature, the

species *Sorghum bicolor* was domesticated in the region of the horn of Africa in an area including Ethiopia, Sudan and Chad (10, 11). In particular, Ethiopia is considered a centre of probable origin of sorghum (12). India and China are considered as other

Department of Agronomy and Land Management, Faculty of Agriculture, University of Florence, Italy.

*P. le delle Cascine 18, 50144 Florence, Italy. Tel. +39 055 3288245, Fax +39 055 332472, e-mail marco.manzelli@unifi.it

Received on 18.01.05 and accepted for publication on 13.10.05.

centres of domestication (11).

Agricultural biodiversity represents the main outcome of thousands of years of farmers activities in selection, breeding and farming and its wideness is highly correlated with duration of domestication and type of farming systems adopted. Referring to sorghum, high level of diversity was detected in Ethiopia, Eritrea, Sudan, Somalia, Burkina Faso, Tanzania, Rwanda, Zimbabwe, India, China, etc (2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 14, 15, 16, 19, 22, 24, 26, 28). These efforts registered a high degree of diversity in terms of morphological, productive and regional variation, climatic adaptation and crop utilisation. In particular close links were detected between landraces and environmental conditions, highlighting the central role that those landraces plays in local subsistence agriculture.

After the collapse of Siyad Barre's regime, Somalia lost all the existing institutions. The impact on agriculture and rural livelihoods is complex and many causes, as recurrent droughts, floods, farmers' displacement, etc., have determined the progressive agricultural production decrease registered in the last decade. Farmers have lost many important inputs, including local selected seed that often represents one of the few resources for local farmers to maintain or increase production. Risk of genetic erosion is particularly high and farmers' inability to preserve quality seed for the next season is increasing with unpredictable consequences on rural livelihood.

Sorghum represents the dominant crop cultivated in the rainfed areas of South Somalia between the two main rivers Juba and Shabelle, followed by cowpea (*Vigna unguiculata*) and sesame (*Sesamum indicum*), while Maize (*Zea mays*) ranks second and its cultivation is mainly concentrated in flood irrigated areas (20). Somali sorghums are important as food and fodder crop, especially in rainfed areas where livestock represents a crucial point to the success of local agro-pastoralist communities. Then sorghum biomass is an important supplementary fodder to natural grazing, especially during the dry season (*Jilaal* in Somali language), as recently documented in studies conducted in northwest (22) and southern (20) regions of Somalia. Grains are mainly used for making *injera*, an unleavened bread from fermented dough, or

traditional porridges.

The objective of the present study was to *in situ* assess the extent of morphological and productive variation in 7 landraces collected in some district of south Somalia by univariate and multivariate statistical procedures. From this preliminary work, the identification of useful landraces can be useful in developing cultivars compatible with farmers' needs and assuring sustainable production levels over the years.

This research was a preliminary investigation of Somali sorghum diversity in rainfed areas of south Somalia in order to provide useful information for the implementation of some research activities foreseen in a project, funded by European Commission and assigned to the Italian NGO CINS (Cooperazione Italiana Nord Sud), entitled "Farming system improved through the strengthening of local seed systems in the Galbeed and Bay regions of Somalia".

Material and methods

Plant material

Sorghum samples were collected during the month of March 2002 in the districts of Baidoa, Burhakaba, Jowhar, Qansaxdhere and Qoryoley in south Somalia, that represent the main Somali area dedicated to rainfed sorghum cultivation. This collection consists of 20 accessions of local sorghums, maintained in the germplasm laboratory of the Department of Agronomy and Land Management of Faculty of Agriculture of Florence. Passport data and descriptors were recorded following guidelines reported in "Descriptors for Sorghum" (18). The main morphological characters used by local farmers in classifying and naming sorghum landraces include midrib and seed colour, panicle shape and compactness. Stalk juiciness is associated with midrib colour (3), with a low level associated with a white midrib, and a high sugar content with a green or yellowish midrib. Information was also gathered on growth habits, especially days to harvest.

Seed availability and collection site were the main criteria used to select 7 accessions for morphological and agronomical evaluation (Table 1).

Table 1
Collected and evaluated sorghum accessions

Accession	Local Name	Collecting area		Collecting data
		District	Village	
101	Shamurey	Burhakaba	Dugdumale	20-03-02
102	Adey	Baydoa	Gofgaduud	28-03-02
103	Galgaley	Burhakaba	Dooygadahey	22-03-02
104	Jiray	Jowhar	Morojido	17-03-02
105	Moordi	Burhakaba	Sabid	24-03-02
106	Abur Cas	Qansaxdhere	Ufurow	28-03-02
107	Gabey Godbuy	Qoryoley	Gaywarow	24-03-02

These accessions were sown in an experimental field close to the village of Kaytoy in the district of Merka on alluvial soil during the rainy season, adopting a randomised block design with four replications. Each plot was 10 m x 5 m. A skim ploughing followed by a harrowing were used as preliminary field works. The subsequent furrowing was carried out with a traditional furrow (*kababe* in Somali language) maintaining a distance of 70 cm between rows. Three seeds per hole were sowed at a distance of 15 cm along the row. A thinning activity was carried out in order to maintain a plant density of 10 p/m². For each accession and each plot at least 15 plants were sampled for quantitative evaluation.

Days for 50% flowering were recorded on a plot basis. Observation on midrib colour and measurements of Green Leaf Number (GLN) and Plant Height (PH) were recorded each 10-15 days on 15 plants per plot.

At harvest time the following quantitative parameters were measured: Plant Height (PH), Knot Number (KN), Plant Dry Weight (PDW), Tillering Number (TN), Panicle Weight (PW), 1000-Seed Weight (1000-SW), Inflorescence Length (IL), Harvest Index (HI).

Statistical analysis

Homogeneity of the error of variance among the 7 accessions was assessed by Bartlett's test for each of the quantitative characters, using a *p* value of 0.05.

The analysis of variance for repeated measures was performed for variables PH and GLF regularly monitored. Polynomial tests were performed within subjects to test changes across the repeated measures.

For the quantitative variables (PH, KN, PDW, TN, PW, 1000-SW, IL, HI) the analysis of variance was carried out using a mix model, considering the *within population* as a fixed source of variation and the *within block* as a random factor. Bonferroni multiple pairwise comparison test was performed for each source of variation.

Discriminant analysis was used to assess the differences between morphological variation of the 7 accessions for 8 quantitative characters (PH, KN, PDW, TN, PW, 1000-SW, IL, HI). Sorghum landrace ordination by canonical discriminant analysis was visualized by a 2D-graph. The measure of dissimilarity of canonical scores of group means was Euclidean distance. The resulted distance matrix was utilised for the cluster analysis by the Unweighted Pair-Group Method Using Arithmetic Average (UPGMA) algorithm (25). The relationship between accessions was visualised by a dendrogram.

Results

Six of collected landraces belong to *Durra* race, while the accessions Gabey Godbuy (107) can be classified as *Caudatum* type.

The grain colour was white (Adey, Gabey Godbuy), yellow (Galgaley, Jiray) or red (Shamurey, Moordi, Abur Cas) with a little variation within landraces.

Juiciness of the stalks, typically chewed like sugarcane, varied among accessions but little difference was recorded within accession confirming the distinction made by local farmers. The accessions Shamurey (101), Jiray (104) and Abur Cas (106) showed a high percentage of plants with a dull green midrib, while white midrib was highly frequent in accessions Adey (102), Galgaley (103), Moordi (105) and Gabey Godbuy (107). Moreover the midrib colour did not vary during the crop cycle, as confirmed by previous studies (22).

No significant differences were detected in days to 50% flowering with values ranging from 40 to 45 days. Harvesting was done after 85 days from sowing with a difference of ± 3 days between accessions.

Univariate analysis

The Bartlett's test showed homogeneity of the error of variance for each quantitative variable confirming that replication variances gave an unbiased estimation of population variance.

ANOVA for repeated measures and within subject polynomial tests detected significant differences in both plant height and green leaf number. Concerning plant height no variation was observed in growing trends, while differences in growth rate were particularly evident between the 20° and 55° day from sowing. The higher growth rate was observed in accession Moordi (105), followed by the group including the accessions Shamurey (101), Galgaley (103) and Jiray (104), the group including the accessions Adey (102) and Abur Cas (106), and the accession Gabey Godbuy (107).

Aphid attack and wind damage determined differences in green leaf number, highlighted a different susceptibility degree between accessions and, as consequence, a discontinuous trend in leaf number increase. Accessions Adey (102) and Abur Cas (106) were the most susceptible to aphid attack, while accessions Galgaley (103) and Moordi (105) were particularly damaged by wind.

Table 2 summarises the means of the quantitative variables used in this study. No block effects were observed. Significant differences in plant height were found and it is possible to distinguish between two main groups: a first group including the accessions Shamurey (101), Galgaley (103), Jiray (104) and Moordi (105) with values ranging from 176 to 197 cm, a second group constituted by the accessions Adey (102), Abur Cas (106) and Gabey Godbuy (107) ranging from 120 to 138 cm.

Even if significant, the differences detected in knot number were not so wide. The accessions arose an average number of 12 knots, except the accession Gabey Godbuy with 11 knots.

A great variation was observed in plant dry weight

Table 2
ANOVA results and means of quantitative variables by accessions

Accession		PH, cm		KN, n°		PDW, g		TN, n°	
101	Shamurey	180.7	a	11.7	ab	253.7	ab	1.5	a
102	Adey	138.7	b	11.8	ab	193.4	cd	0.9	b
103	Galgaley	176.4	a	11.7	ab	262.2	a	1.5	a
104	Jiray	176.7	a	11.7	ab	208.5	bd	1.5	a
105	Moordi	197.5	a	12.3	a	171.3	d	1.6	a
106	Abur Cas	130.4	b	11.7	ab	95.9	e	0.0	c
107	Gabey Godbuy	120.5	b	11.2	b	239.7	ac	0.0	c
F-test significativity		**		*		**		**	
		PW, g		1000-SW, g		IL, cm		HI, %	
101	Shamurey	40.9	b	25.2	b	15.7	b	16.9	c
102	Adey	30.0	b	24.2	bc	7.9	de	16.2	c
103	Galgaley	34.5	b	24.0	bc	15.1	b	13.5	cd
104	Jiray	28.8	b	23.6	bc	10.2	cd	14.8	cd
105	Moordi	45.0	b	25.1	b	10.8	c	26.4	b
106	Abur Cas	9.0	c	20.5	c	7.1	e	9.6	d
107	Gabey Godbuy	148.3	a	32.8	a	23.0	a	63.5	a
F-test significativity		**		**		**		**	

For each column means followed by a common letter are not significantly different at 0.05 level.

**= F test significant at 0.01 level, *= F test significant at 0.05 level, ns= F test not significant.

with values ranging from 96 to 262 g. Two of the tallest accessions, Shamurey (101) and Galgaley (103), respectively reached 254 and 262 g in weight. The accession Gabey Godbuy (107), in spite of a reduced height, reached a weight of 240 g. An other group includes the accessions Adey (102), Jiray (104) and Moordi (105) showing a range between 171 and 208 g. In particular the accession Moordi (105) reached a relatively low plant weight (171 g) despite its development in height. The accession Abur Cas (106) showed the lowest value (96 g).

The variation in tillering number followed the grouping trend observed in plant height. In particular the accessions Abur Cas (106) and Gabey Godbuy (107) did not tiller at all.

The variation observed in panicle weight permits to point out the good performance of accession Gabey Godbuy (107) raising a value of 148 g that indicates an interesting productivity level as reported by local farmers. On the opposite the accession Abur Cas (106) showed small panicles, not exceeding the average value of 9 g and confirming its aptitude for forage production instead of grain production. The other accessions grouped together with values comprised between 28 and 45 g.

The 1000-seed weight was similar for all accessions except for Gabey Godbuy (107) which had the highest value (32.8 g). With particular reference to local sorghum landraces, this parameter is positively associated with drought resistance (23), higher germination percentage, better stand established and higher grain yield (6).

Concerning the variable inflorescence length, the trend followed what was observed in panicle weight.

The accession Gabey Godbuy (107) showed the highest value (23 cm), confirming its belonging to the race *Caudatum*, whilst the other accessions reached lower values. Nevertheless, the *Durra* accessions showed a high degree of variation. Accessions Shamurey (101) and Galgaley (103) grouped together with values of 15.7 and 15.1 g. A second group was represented by accessions Jiray (104) and Moordi (105) with an inflorescence length of 10.2 and 10.8 cm, while accessions Adey (102) and Abur Cas (106) did not exceed the threshold of 8 cm. Inflorescence length is an important yield component (3). It is a stable character that features a particular race (11, 17, 21). The accessions of the area, in general, belong to the race *Durra* characterised by a compact and oval panicle inserted on a recurved peduncle. Erected and semi-compact elliptic forms, e.g. *Caudatum* types, are less frequent.

Head compactness seems to be associated with humidity at flowering and ripening time. In particular very dense panicles are frequently found in areas of extremely dry conditions (3).

The harvest index was higher than 60% only for the accession Gabey Godbuy (107) indicating a specific feature for grain production. Low harvest index characterised all the other accessions showing values lower than 30%. In particular the accession Abur Cas (106) did not overcome the threshold of 10% confirming its low general productivity.

However, this suitable forage landrace aptitude has a strategic importance in such agro-pastoral environment as the whole plant represents a good forage resource, especially during the dry season (*Jilaal* in Somali language).

Table 3
Summary of discriminant analysis for 7 sorghum accessions by accession

	No	True accession						
		101	102	103	104	105	106	107
101	42	27		15				
102	39		36		3			
103	39	15		21	3			
104	57	3	9	9	33	3		
105	48				6	42		
106	45						45	
107	45							45
% correct		60.0	80.0	46.7	73.3	93.3	100.0	100.0

Table 4
Eigenvalues, total variance and cumulative variance

	DF1	DF2	DF3	DF4	DF5	DF6
Eigenvalues	16.817	4.652	1.197	0.453	0.036	0.004
% of total variance	72.6	20.1	5.2	2.0	0.2	0.0
% cumulative variance	72.6	92.7	97.9	99.8	100.0	100.0

Multivariate analysis

Discriminant analysis, using the accessions as grouping variable, highlighted that most of the accessions reached a high percentage of classification, except for the accessions Shamurey (101) and Galgaley (103) (Table 3). In particular all the plants belonging to the accessions Abur Cas (106) and Gabey Godbuy (107) have been classified into their accession of provenance, clearly showing a distinct and higher phenotypic homogeneity.

The first three discriminant functions explain almost the total variation between the 7 sorghum accessions for the 8 quantitative variables studied (Table 4). The variables plant dry weight, 1000-seed weight,

inflorescence length and harvest index were the most important characters contributing to the first three discriminant functions.

By observing the landrace spatial distribution (Figure 1), it is possible to highlight a relatively wide area including the great part of landraces, that constitutes the basic germplasm, and two distinct areas grouping the plants of accessions Abur Cas (106) and Gabey Godbuy (107).

Cluster analysis, based on Euclidean distance matrix, was used to obtain a dendrogram of the accessions (Figure 2). The dendrogram clearly indicates that

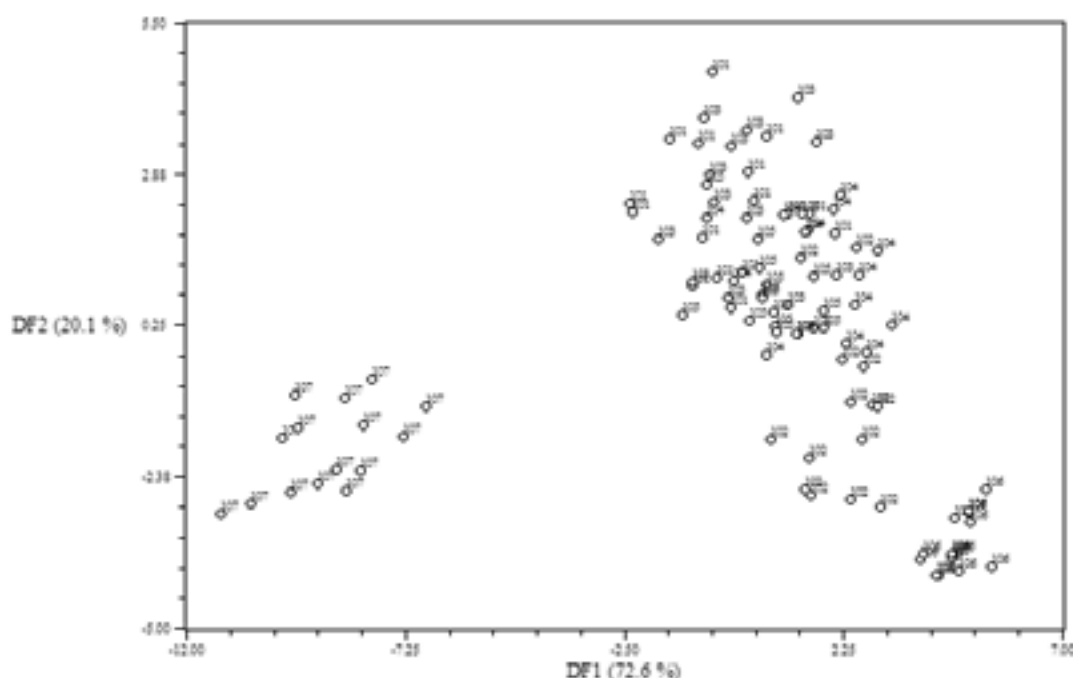


Figure 1: Sorghum landrace ordination by canonical discriminant analysis.

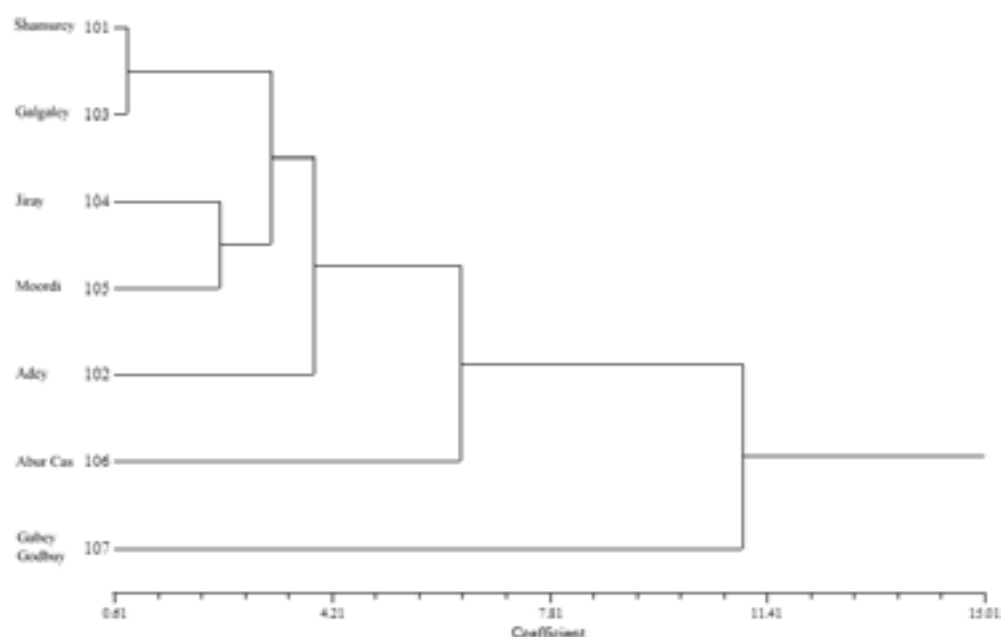


Figure 2: Dendrogram showing the clustering pattern between the 7 Somali sorghum accessions.

accessions Abur Cas (106) and Gabey Godbuy (107) are isolated from the other accessions. The other landraces form a distinct cluster, in which it is possible to underline the closeness between the accessions Shamurey (101) and Galgaley (103).

Discussion and conclusion

According to the literature, some studies on sorghum germplasm have been conducted in South Somalia (8, 24). These efforts were mainly directed to germplasm collection and *in situ* trial evaluations were carried out at Baidoa, Somalia, in order to identify desirable lines for use in the sorghum improvement programme of Somalia. However due to the beginning of civil strife, the country lost any form of agricultural research and those studies ceased completely. In general, the few available information referred to landraces with interesting features in terms of earliness, grain and fodder quality, resistance to storage pests, stem borers and drought stress (24). These authors also highlighted a close genealogical relation between Somali and Ethiopian Highlands sorghums, even if with consistent differences in panicle size and earliness. In particular they suggested a transformation of Ethiopian sorghums over a period of several years and their progressive adaptation to the short growing season and limited rainfall conditions of southern Somalia (24).

This study represents a preliminary investigation on sorghum germplasm collected in the Districts of Baidoa, Burhakaba, Jowhar, Qansaxdhere and Qoryooley. The experimental trial has been carried out *in loco* using traditional farming techniques in order to assess the productive response of accessions under local environmental conditions. As known, the landraces constitution follows an evolutionary process in which human beings and environment are the main actors

in shaping the genetic dynamics of crop populations. Then, the possibility to *in situ* preserve and assess local germplasm can be particularly useful in defining those parameters necessary to the development of cultivars able to grow in marginal and heterogeneous environmental conditions. The results showed an interesting range of variation within and among accessions for the characteristics studied, confirming the existence of variable landraces with specific features. In addition names given by farmers to the accessions are consistent and indicate substantial differences, underscoring the importance to consider farmers' knowledge of diversity and use of local germplasm.

The accessions Gabey Godbuy (107), belonging to *Caudatum* race, showed characteristics different from all the other accessions: reduced height, high 1000-seed weight and harvest index, and a consistent morphological and productive stability. The good grain production and high harvest index denote a specific aptitude for grain production. Anyway it is important to note that the accession, even if of reduced height, is characterised by large stalks and, as consequence, high plant weights. Then its utilisation for forage production has not to be excluded. Also the accession Abur Cas (106) was classified far from other accessions, in particular showing the lowest grain production, plant weight and harvest index. The remaining accessions formed a quite homogenous group denoting a similar productive adaptation and, considering their good biomass production performance, a dual-purpose application. Moreover the existence of this basic germplasm permits to form the hypothesis that the accessions Abur Cas (106) and Gabey Godbuy (107) had a probable different origin and were separately maintained over the years. No significant differences were detected in days

to 50% flowering and earliness confirming the landrace adaptation to Somali short growing season mentioned in previous studies. Moreover these accessions are able to grow and produce under very harsh environmental conditions (heat, drought, poor soils, etc.) making this germplasm a vital source of genes for breeding efforts. Local environment conditions influenced the genotypic constitution of landraces suggesting a close relationship between agro-ecological conditions and morpho-phenological variation of germplasm (22).

Comparing to modern varieties, these landraces have interesting earliness features and high yield potential in terms of biomass and grain production. The sugar content in the stalks have been only evaluated by empirical methods but further analysis are desirable to evaluate this character in new possible exploitation pattern of the crop.

The presence of such diversity in a narrow germplasm collection indicates that farmers deliberately maintain a wide diversity of sorghum landraces to meet their needs. In fact *in situ* conservation allows adaptation and evolution to continue. Traditional farming systems often show a wide genetic diversity well exhibited in landraces that are maintained by farmers in a dynamic process of selection and breeding (9). In particular those landraces exhibit their high potential in local marginal areas, where they appears equal or sometimes superior to modern varieties in term of yields (27). Then genetic variability present in landraces serves to avoid crop failure by reducing vulnerability to diseases, pests and environmental stresses (9).

Even if in the past the farmers' breeding activities have been considered as "primitive" by professional breeders, several researchers have recently changed their point of view concentrating their attention on those traditional activities that, even now, constitutes one of the main strong forces in local farming system

development (9). It is now well known that landraces and farmers are interdependent and both are in need of each other for their survival (2).

Today this traditional interdependence is continuously threatened by unpredictable environmental and social changes with negative consequences on rural livelihoods and maintenance of agricultural genetic diversity. In particular the ecosystems in the drylands, as rainfed areas of Somalia, are fragile. The degradation of habitats and the loss of their agrobiodiversity are already leading to irreversible situations responsible for local communities' displacement, desertification and increasing food insecurity and mass poverty.

The case of Somalia follows the same trend observed in other PVS where the local agriculture is being relegated to marginal and risk-prone areas. Somali farmers report the loss of some old traditional landraces and a strong weakening in local seed networks (20, 22) with a serious negative impact on sorghum cultivation, as reported in the last decade.

Undoubtedly, the conservation and improvement of sorghum accessions are of practical value in this area. The definition of farmer-oriented conservation and improvement programs will lead to a greater production stability of this traditional food crop before losing its high potential. This manuscript reports the first attempt to characterise some of the sorghum genetic diversity found in southern Somalia. As reported in previous studies, the analytical methods outlined in this research represents an useful tool in detecting crop genetic variability and can aid in the definition of future conservation strategies and improvement programs of Somali sorghums.

As recognized by the Convention on Biological diversity, the world-wide future food supply depends on the conservation and exploitation of genetic diversity and this research attempts to add to that body of knowledge.

Literature

1. Andrews D.J. & Bramel-Cox, 1993, Breeding cultivars for sustainable crop production in low input dry land agriculture in the tropics pp. 211-223, in: D.R. Buxton, R. Shibles, R.A. Forsberg, B.L. Blad, K.H. Asay, G.M. Paulsen & R.F. Wilson (Editors), International Crop Science, Crop Sci Soc Amer Inc, Madison, Wisconsin, USA.
2. Appa Rao S., Mengesha M.H., Gopal Reddy V. & Prasada Rao K.E., 1998, Collecting and evaluation of sorghum germplasm from Rwanda. Plant Genetic Resources Newsletter, 114, 26-28.
3. Appa Rao S., Prasada Rao K.E., Mengesha M.H. & Gopal Reddy V., 1996, Morphological diversity in sorghum germplasm from India. Genetic Resources and Crop Evolution, 43, 559-567.
4. Ayana A. & Bekele E., 1998, Geographical patterns of morphological variation in sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) germplasm from Ethiopia and Eritrea: qualitative characters. Hereditas, 129, 195-205.
5. Ayana A. & Bekele E., 1999, Multivariate analysis of morphological variation in sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) germplasm from Ethiopia and Eritrea. Genetic Resources and Crop Evolution, 46, 273-284.
6. Ayana A. & Bekele E., 2000, Geographical patterns of morphological variation in sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) germplasm from Ethiopia and Eritrea: quantitative characters. Euphytica, 115, 91-104.
7. Chivasa W., Harris D., Chiduza C., Nyamudeza P. & Mashingaidze A.B., 2000, Biodiversity on farm in semiarid agriculture: a case study from a smallholder farming system in Zimbabwe. Zimbabwe Science News, 34, 1, 13-18.
8. Damania A.B. & Rao V.A., 1980, Collecting sorghum in Somalia. FAO/IBPGR Plant Genetic Resources Newsletter, 40, 14-16.
9. de Boef W.S., Berg T. & Haverkort B., 1996, Crop genetic resources pp. 103-128, in: Bunders J., Haverkort B. & Hiemstra W. (Editors), Biotechnology: building on farmers' knowledge, Macmillan Education LTD, London and Basingstoke, 240 p.
10. de Wet J.M.J., Harlan J.R. & Price E.G., 1976, Variability in *Sorghum bicolor* pp. 453-463, in: Harlan J.R., de Wet J.M.J. & Stemler A.B.L. (Editor.), Origins of African Plant Domestication, Mouton, The Hague, Paris.
11. Doggett H., 1988, Sorghum, 2nd edition, Longman, UK.
12. Doggett H. & Prasada Rao K.E., 1995, in: Smartt J. & Simmonds N.W. (editors), Evolution of Crops Plants, 2nd edition, Longman, UK.
13. FAOSTAT data, 2004.
14. Friis Hansen E., 2000, Farmers' management and use of crop genetic diversity in Tanzania pp. 66-71, in: Almekinders C. (editor), Encouraging diversity: the conservation and development of plant genetic resources, London, UK.

15. Geleta N. & Labuschagne, 2005 (Prepublication date), Qualitative traits variation in sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) germplasm from eastern highlands of Ethiopia. Biodiversity and conservation, posted on line until publication under <http://www.kluweronline.com/issn/0960-3115>.
16. Grenier C., Bramel P.J., Dahlberf J.A., El-Ahmadi A., Mahmoud M., Peterson G.C., Rosenow D.T. & Ejeta G., 2004, Sorghums of the Sudan: analysis of regional diversity and distribution. Genetic Resources and Crop Evolution, 51, 489-500.
17. Harlan J.R., 1992, Crops and man, CSSA, Madison, Wisconsin.
18. IPGRI & ICRISAT, 1993, Descriptors for sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench). International Board for Plant Genetic Resources, Rome, Italy; International Crop Research Institute for the Semi-Arid Tropics, Patancheru, India.
19. Li Y. & Li C., 1997, Phenotypic diversity of sorghum landraces pp. 659-668, in: China International Conference on Genetic Improvement of Sorghum and Pearl Millet.
20. Longley C., Jones R., Hussein Ahmed M. & Audi P., 2001, Seed sector study of southern Somalia pp. 16-23, in: final report to EC Somalia Unit, ODI (Overseas Development Institute) and ICRISAT (International Crops Research Institute for the Semi Arid Tropics), 91 p.
21. Mann J.A., Kimber C.T. & Miller F.R., 1983, The origin and early cultivation of sorghums in Africa. Texas Agric. Exp. Stn. Bull. 1454.
22. Manzelli M., Benedettelli S. & Vecchio V., 2005 (in press), Agricultural biodiversity in northwest Somalia – an assessment among selected Somali sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) germplasm. Biodiversity and conservation.
23. Okonkwo C.A.C. & Onoenyi F.I., 1998, Morphological characters as indicators of drought resistance in diverse sorghum varieties in the scrub savannah, Nigeria. Tropical Agriculture, 75, 4, 440-444.
24. Prasada Rao K.E., Hussein Mao Haji & Mengesha M.H., 1989, Collecting sorghum germplasm in Somalia. FAO/IBPGR Plant Genetic Resources Newsletter, 78-79, 41.
25. Sneath P.H.A. & Sokal R.R., 1973, Numerical taxonomy. W.H. Freeman, San Francisco, CA.
26. Teshome A., Baum B.R., Fähring L., Torrance J.K., Arnason T.J. & Lambert J.D., 1997, Sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) landrace variation and classification in north Shewa and south Welo, Ethiopia. Euphytica, 97, 255-263.
27. Weltzien E. & Fishbeck G., 1990, Performance and variability of local barley landraces in near-eastern environments. Plant Breeding, 104, 58-67.
28. Zongo J.D., Gouyon P.H. & Sandmeier M., 1993, Genetic variability among sorghum accessions from the Sahelian agroecological region of Burkina Faso. Biodiversity and Conservation, 2, 6, 627-636.

M. Manzelli, Italian, Degree in Tropical and Subtropical Agronomic Sciences, PhD in Agro-biotechnologies for tropical production, Researcher, Department of Agronomy and Land Management, Faculty of Agriculture, University of Florence, Italy.

S. Benedettelli, Italian, Degree in Agronomic Sciences, Associate Professor of Plant Breeding and Statistics, Department of Agronomy and Land Management, Faculty of Agriculture, University of Florence, Italy.

V. Vecchio, Italian, Degree in Agronomic Sciences, Full Professor of Tropical and Subtropical Crop Species, Department of Agronomy and Land Management, Faculty of Agriculture, University of Florence, Italy.

Régénération *in vitro* de plantes de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) adaptées au NaCl

Messaï Abir^{1*}, C. Hannachi¹ & E. Zid²

Keywords: Tomato- *In vitro* regeneration- Leaf callus- Internodes callus- Adapted-plant- Salinity- Tunisia

Résumé

Des plantules de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.), variété Sabra, issues de semis des graines *in vitro* sont utilisées pour le prélèvement de segments d'entre-nœuds et de fragments de feuilles. Ces deux types d'explants sont cultivés sur le milieu de Murashige et Skoog (17) contenant de l'ANA 0,2 mg.l⁻¹ et de la BA 2 mg.l⁻¹, additionné ou non de NaCl 3 et 6 g.l⁻¹ pour régénérer des plantes tolérantes à la salinité. Les résultats obtenus montrent que les deux types d'explants forment des cals en absence et en présence de NaCl. Cependant le sel du milieu affecte la croissance et la nutrition minérale des cals. La croissance des cals est stimulée par NaCl à 3 g.l⁻¹ et diminuée à 6 g.l⁻¹. La présence de sel dans le milieu de culture augmente significativement les teneurs en Na⁺ et Cl⁻ des deux types des cals, diminue légèrement les teneurs en K⁺, alors qu'il reste sans effet marqué sur celles de Ca²⁺. Les cals foliaires présentent des teneurs en Ca²⁺ et en K⁺ plus élevées et montrent une meilleure tolérance au sel que les cals caulinaires. Ces derniers ne régénèrent des pousses qu'en absence de NaCl alors que les cals foliaires adaptés au NaCl (3 g.l⁻¹) régénèrent des pousses. Cependant la plupart des pousses régénérées sont atteintes d'hyperhydricité. Celles qui échappent à ce phénomène évoluent en plantes entières après enracinement et acclimatation. Cultivées dans la tourbe sous serre, ces plantes tolèrent également 3 g.l⁻¹ de NaCl additionné dans la solution d'irrigation.

Summary

In vitro Regeneration of NaCl-adapted Tomato Plants (*Lycopersicon esculentum* Mill.)

In vitro growth seedlings of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill. Var. Sabra) were used as source of explants: internode segment and leaf fragment. These explants were cultivated into a MS-based medium containing 0.2 mg.l⁻¹ ANA and 2 mg.l⁻¹ BAP, supplemented or not with NaCl at 3 and 6 g.l⁻¹ in order to regenerate salt-tolerant plants. Results show that internode's segment and leaf fragment formed callus both in the control and in the saline media (3 and 6 g.l⁻¹). However NaCl affected calli growth and mineral uptake. The callus growth was stimulated by NaCl at 3 g.l⁻¹, but reduced at 6 g.l⁻¹. Na⁺ and Cl⁻ content of calli increased in saline media with respect to the control. K⁺ content decreased slightly with salinity, but Ca²⁺ content did not change. Leaf callus showed higher K⁺ and Ca²⁺ contents both in the control and saline media and were more salt tolerant than internodes callus. Latest ones regenerated shoots only on control medium. Leaf callus adapted to 3 g.l⁻¹ NaCl were able to regenerate shoots, but with high percentage of hyperhydricity. Regenerated plants were rooted and acclimatized successfully and they tolerated 3 g.l⁻¹ NaCl added to irrigation solution, when cultivated on peat under glasshouse.

Introduction

La tomate est le légume le plus consommé dans le monde après la pomme de terre. Elle est cultivée sous presque toutes les latitudes avec une superficie d'environ 3 millions d'hectares. Sa culture occupe près du tiers des surfaces mondiales consacrées aux légumes. La production mondiale s'élevait en 1994 à 77,5 millions de tonnes (3). En Tunisie, la tomate se cultive sur une superficie de 24.234 hectares et produit 1.040.100 t.an⁻¹. Cependant, cette production se caractérise par des faibles rendements, allant de 33 t.ha⁻¹ (tomate de plein champ: mars à août) à 63 t.ha⁻¹ (tomate de serre: septembre à juin). En effet, les

rendements qu'on souhaite atteindre sont de l'ordre de 40 à 50 t.ha⁻¹ pour les tomates de plein champ et de 120 t.ha⁻¹ pour les tomates de serre (9). Ces faibles rendements sont dus principalement aux températures basses (≤ 10 °C sous serre) et élevées (≥ 30 °C en plein champ) et, à la salinité (apports excessifs des engrais et irrigation avec des eaux saumâtres 3 à 4 g/l). Cette dernière contrainte perturbe plusieurs processus physiologiques de la plante qui se traduisent par une réduction de la croissance et du développement (6, 22).

En vue de surmonter cette difficulté, deux principales

¹Ecole Supérieure d'Horticulture et d'Elevage de Chott Mariem, Laboratoire de Cultures maraîchères et de Cultures *in vitro*. ESH, 4042 Chott-Mariem, Sousse, Tunisie.

²Faculté des Sciences de Tunis, Unité d'Ecophysiologie et Nutrition des Plantes, Campus Universitaire, 1060 Tunis, Tunisie.

*M^{lle} Messaï Abir, Ecole Supérieure d'Horticulture et d'Elevage, BP 47, 4042 Chott-Mariem. Sousse. Tunisie. abir132000@yahoo.fr.

Tel. personnel: 216 97313281. Tel. professionnel: 216 73 348544 - 216 73 348544. Fax: 216 73 348 691.

Reçu le 31.08.05 et accepté pour publication le 13.10.05.

méthodes d'amélioration peuvent être proposées: la sélection gamétique par allofécondations, mutations naturelles, mutations induites et croisements dirigés (13) et la sélection par voie biotechnologique, en pratiquant la culture de cellules ou de cals résistants à NaCl (1, 11). Les travaux de recherche portant sur la sélection des plantes tolérantes au stress salin se sont intensifiés mais restent encore à leur début. Par contre, l'introduction des méthodes biotechnologiques (régénération *in vitro* de plantes adaptées au NaCl ...), amorcée depuis une vingtaine d'années pour suppléer les voies classiques de l'amélioration de l'espèce, constitue une étape prometteuse et utile pour l'étude de mécanismes de tolérance au NaCl et pour la régénération de plantes tolérantes à la salinité. La technique de culture *in vitro*, source de variabilité génétique exploitable dans les programmes d'amélioration de la tolérance à la salinité (19), s'est avérée efficace pour isoler des lignées cellulaires tolérantes au stress salin chez la tomate (15), le tabac (18) et la pomme de terre (7). Les résultats des travaux de recherche de Hannachi *et al.* (8) sur la pomme de terre (variété Claustar) ont montré que les plantes régénérées sur cals cellulaires adaptés au NaCl peuvent tubériser au champ lorsqu'elles sont irriguées avec une eau additionnée de NaCl 4 g/l. Des plantes entières de la famille des Solanacées ont été régénérées à partir de lignées cellulaires sélectionnées pour leur résistance à la salinité et la transmission de ce caractère de tolérance à leur descendance a été observée (12, 18). Dans certains cas, la croissance des cals obtenus sous pression de sélection saline est aussi bonne que celle des cals cultivés sur milieu non salé. De plus, ces lignées tolérantes se développent mieux en présence de sel qu'en son absence (20). Pour la tomate, des cellules adaptées au sel, transférées sur milieu dépourvu de NaCl, puis remises en contact du sel, présentent la même activité de croissance que des cellules témoins cultivées en permanence sur un milieu non salé. Ainsi, pour atteindre ce même objectif chez la tomate (variété Sabra), le présent travail vise à régénérer des plantes à partir des cals caulinaires et foliaires préalablement adaptés au NaCl.

Matériel et méthodes

1. Matériel végétal

Le matériel végétal de tomate appartient à la variété Sabra. Il se compose de segments d'entre-nœuds et de fragments de feuilles. Ces explants sont prélevés sur des plantes-mères, âgées de 4 semaines, issues de la germination *in vitro* des graines en absence ou en présence de NaCl 3 et 6 g.l⁻¹. Les segments d'entre-nœuds de 4 à 5 mm de longueur et 1 mm de diamètre sont posés horizontalement sur le milieu gélosé. Les fragments de feuilles de 6 à 7 mm de longueur et 4 mm de largeur sont découpés et déposés sur la face dorsale. Cette orientation, ainsi que les blessures occasionnées par la section, favorisent l'induction des cals et la régénération de bourgeons (25, 26).

2. Milieux de culture

La culture des segments de tige et de fragments de feuilles ainsi que les cals correspondants est faite dans le milieu de Murashige et Skoog (17) pour les sels minéraux, macro et oligo-éléments, à l'exception du fer. Ce dernier élément est ajouté sous forme chélatée (EDTA). Le milieu contient, en outre, le saccharose 30 g.l⁻¹, la thiamine-HCl 0.4 mg.l⁻¹, le myo-inositol 100 mg.l⁻¹ et l'agar-agar 8 g.l⁻¹. Les hormones de croissance utilisées sont l'ANA à 0,1 mg.l⁻¹ et la BA à 2 mg.l⁻¹. Les pousses régénérées sur cals sont également cultivées sur le milieu MS additionné d'ANA 0,1 mg.l⁻¹, en vue de leur enracinement. Le pH du milieu est ajusté à 5,8 par NaOH ou HCl 0.1N. Ce milieu est réparti, après cuisson, dans des récipients, puis autoclavé pendant 20 min à une température de 120 °C, sous une pression de 1 bar. La culture des explants est réalisée dans deux types de récipients: des tubes à essai et des bocaux. Les tubes, de 24 mm de diamètre et 150 mm de longueur, sont fermés par des capuchons en plastique autoclavable.

Après enracinement, les vitroplants sont retirés des tubes à essai, rincés à l'eau distillée pour enlever l'excès de milieu, trempés dans une solution de benlate 1 g.l⁻¹ (50% Benomyl) contre les champignons et ensuite repiqués dans des plaques alvéolées, préalablement remplies de tourbe noire désinfectée. Après 3 semaines d'acclimatation, les plantes sont transférées en pots plastiques (diamètre 16 cm, longueur 20 cm) remplis de tourbe noire désinfectée.

3. Protocole expérimental

3.1. Régénération des pousses

Le milieu de culture (milieu MS, tourbe) est dépourvu ou additionné de NaCl 3 ou 6 g.l⁻¹. Dans le milieu MS, trois traitements sont conçus; 0, 3 et 6 g.l⁻¹ de NaCl, chaque traitement est représenté par 18 explants (segment de tige ou fragment de feuille) à raison d'un explant par tube à essai. Les cals foliaires et caulinaires formés sont fragmentés en 5 à 6 microcals, puis transférés pour une deuxième subculture dans les bocaux à raison de 6 microcals par bocal. Chaque traitement (0, 3 et 6 g/l de NaCl) est représenté par 30 explants (cals caulinaires ou cals foliaires).

3.2. Enracinement des pousses

Les pousses régénérées sont transférées dans des tubes à essai pour l'enracinement (24 pousses régénérées sur milieu témoin, 16 pousses sur milieu additionné de 3 g.l⁻¹, aucune pousse n'est obtenue à 6 g.l⁻¹). Les plantes enracinées obtenues sont cultivées sur tourbe dans des pots plastiques. Les concentrations de NaCl d'origine sont conservées.

4. Conditions environnementales

Après une semaine de culture à l'obscurité, les explants sont éclairés avec une intensité de 35 µmol. de photons.m⁻².s⁻¹ (chambre de culture), à une

température de 24 °C, jusqu'à l'apparition des cals. Les vitroplants, cultivés dans des plaques alvéolées sont maintenus à une température de 23 °C et une humidité saturante (chambre de culture) durant 3 semaines puis, ils sont transférés dans une serre plastique (culture dans des pots plastiques) où la température est de 23 °C et l'humidité relative de 76%.

5. Paramètres mesurés

Les masses de matière fraîche et de matière sèche des cals cellulaires sont déterminées à l'aide d'une balance Mettler de précision 0,01 mg. La matière sèche est mesurée après un séjour de 48 h dans une étuve à 80 °C. L'indice de sensibilité au NaCl est calculé par la différence entre la masse de matière sèche des cals obtenus sur NaCl et celles des cals obtenus sur milieu dépourvu de NaCl, exprimée en % du témoin.

6. Extraction et dosage des ions minéraux

Les cals cellulaires séchés sont mis dans des piluliers contenant 25 ml d'acide nitrique 0,1N. L'extraction des ions a lieu à la température ambiante du laboratoire pendant au moins 48 h. Les ions K^+ , Na^+ et Ca^{2+} sont dosés par spectrophotométrie de flamme en émission (photomètre Eppendorf). L'ion Cl^- est dosé par colométrie à l'aide d'un chloridomètre (Buchler-Cotlove). Les teneurs ioniques sont exprimées en $meq.g^{-1}$ MS ou en $\mu eq.g^{-1}$ MS. La fraction ionique équivalente $K/(K+Na)$ est déterminée sur les teneurs ioniques. Rapportée à la fraction ionique $K/(K+Na)$ dans le milieu de culture, elle permet de définir la sélectivité K/Na de l'accumulation des tissus (cals).

Résultats

1. Production de cals

1.1. Observations des cals

Après 4 semaines de culture, les segments de tiges et les fragments de feuilles forment des cals cellulaires aussi bien en absence qu'en présence de NaCl. Le cal caulinaire apparaît au niveau des deux sections, puis se généralise à l'ensemble de l'explant. Le cal foliaire débute à la périphérie de lésions occasionnées, puis s'étend progressivement aux tissus non lésés de l'explant. Les deux types de cals cellulaires sont garnis de nodules verts. En absence de NaCl dans le milieu de culture, les cals issus d'explants foliaires ou caulinaires sont verts et compacts tandis qu'en présence de NaCl à $3g.l^{-1}$, les cals deviennent vert-clair (face supérieure) à jaune (face inférieure) et compacts. En outre, sous la concentration double de NaCl ($6g.l^{-1}$), la majorité des deux types de cals brunissent. La texture friable l'emporte sur la texture compacte. Fragmentés et remis en culture durant 2 semaines en absence ou en présence de NaCl, les cals nodulaires compacts verdâtres ou bruns bourgeonnent et régénèrent des pousses (Figure 1).

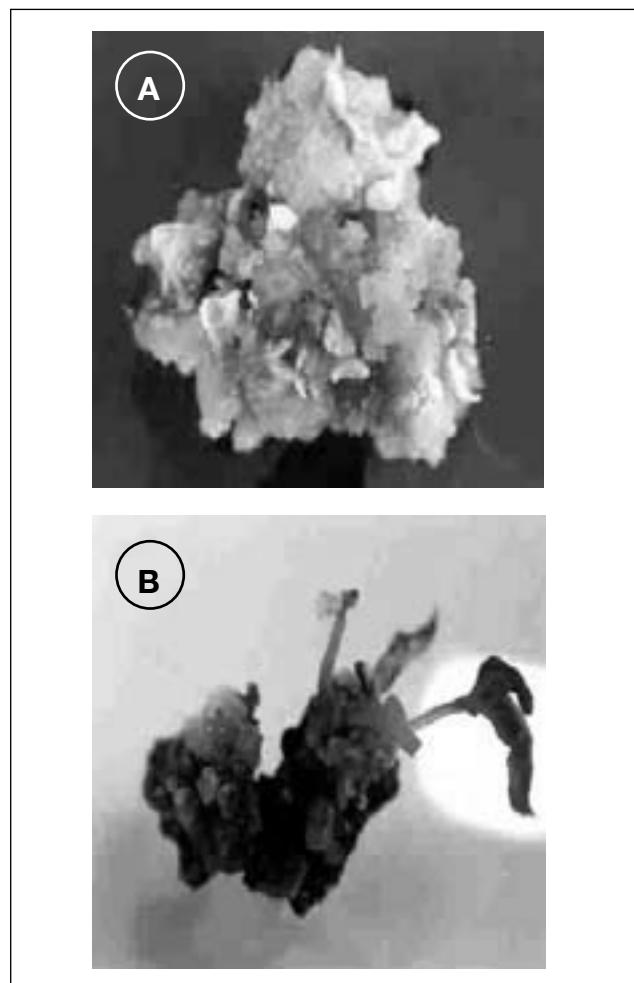


Figure 1: Cals nodulaires compacts, verdâtres et bruns régénérant de pousses, obtenus, en absence (A) et en présence (B) de NaCl $3g.l^{-1}$.

1.2. Croissance des cals

Après 4 semaines de culture, les matières fraîche et sèche des cals caulinaires et des cals foliaires sont déterminées (Figure 2).

En présence comme en absence du sel dans le milieu de culture, les cals caulinaires produisent plus de matière fraîche que les cals foliaires. En effet, sur milieu témoin, la matière fraîche des cals caulinaires est égale à 3.400 mg et seulement 2.900 mg chez les cals foliaires. Sous contrainte saline, la concentration $3g/l$ NaCl stimule significativement la production de biomasse fraîche chez les cals caulinaires (+ 34% par rapport à la biomasse fraîche des cals caulinaires témoins), alors que celle des cals foliaires est peu augmentée (+3,33% uniquement). Par contre, la double concentration ($6g/l$), provoque une diminution significative de la biomasse fraîche des deux types de cals, soit une diminution de 35% au niveau des cals foliaires à 50% au niveau des cals caulinaires (Figure 2a).

Concernant la production de matière sèche, la figure 2b montre qu'en absence du stress salin, les cals caulinaires produisent plus de matière sèche que les cals foliaires (une différence de 20%). L'addition

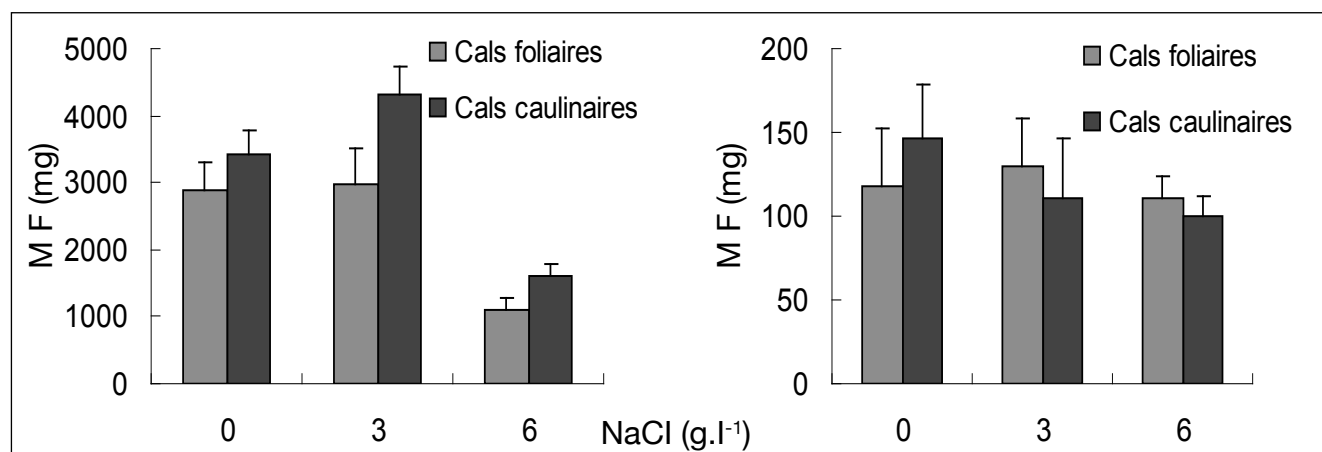


Figure 2: Matière fraîche (a) et sèche (b) des cals foliaires et des cals caulinaires de tomate (var. Sabra) cultivés *in vitro* pendant quatre semaines, en absence et en présence de NaCl (3 g.l⁻¹ et 6 g.l⁻¹).

Chaque histogramme représente la moyenne de 8 échantillons. Les intervalles de sécurité sont calculés au seuil de 95%.

du sel dans le milieu de culture donne une légère stimulation de production chez les cals foliaires (3 g/l) et par contre engendre une diminution de MS (3 et 6 g/l) chez les cals caulinaires.

1.3. Composition minérale des cals

La détermination des teneurs des cals en ions K⁺, Ca²⁺, Na⁺ et Cl⁻ a révélé des différences dans la nutrition minérale des deux types de cals. En effet, en absence comme en présence de NaCl, les cals

foliaires sont plus riches que des cals caulinaires en K⁺. La présence de NaCl dans le milieu de culture, baisse les teneurs en K⁺ des deux types de cals surtout à la concentration 6 g.l⁻¹ (Figure 3). Les teneurs en Ca²⁺ des cals foliaires sont légèrement plus élevées que celles des cals caulinaires. Le sel du milieu de culture des explants, semble avoir peu d'influence sur les teneurs en Ca²⁺ des deux types de cals à la concentration 3 g.l⁻¹. Par contre à 6 g.l⁻¹, un effet légèrement dépressif de NaCl se manifeste (Figure 3).

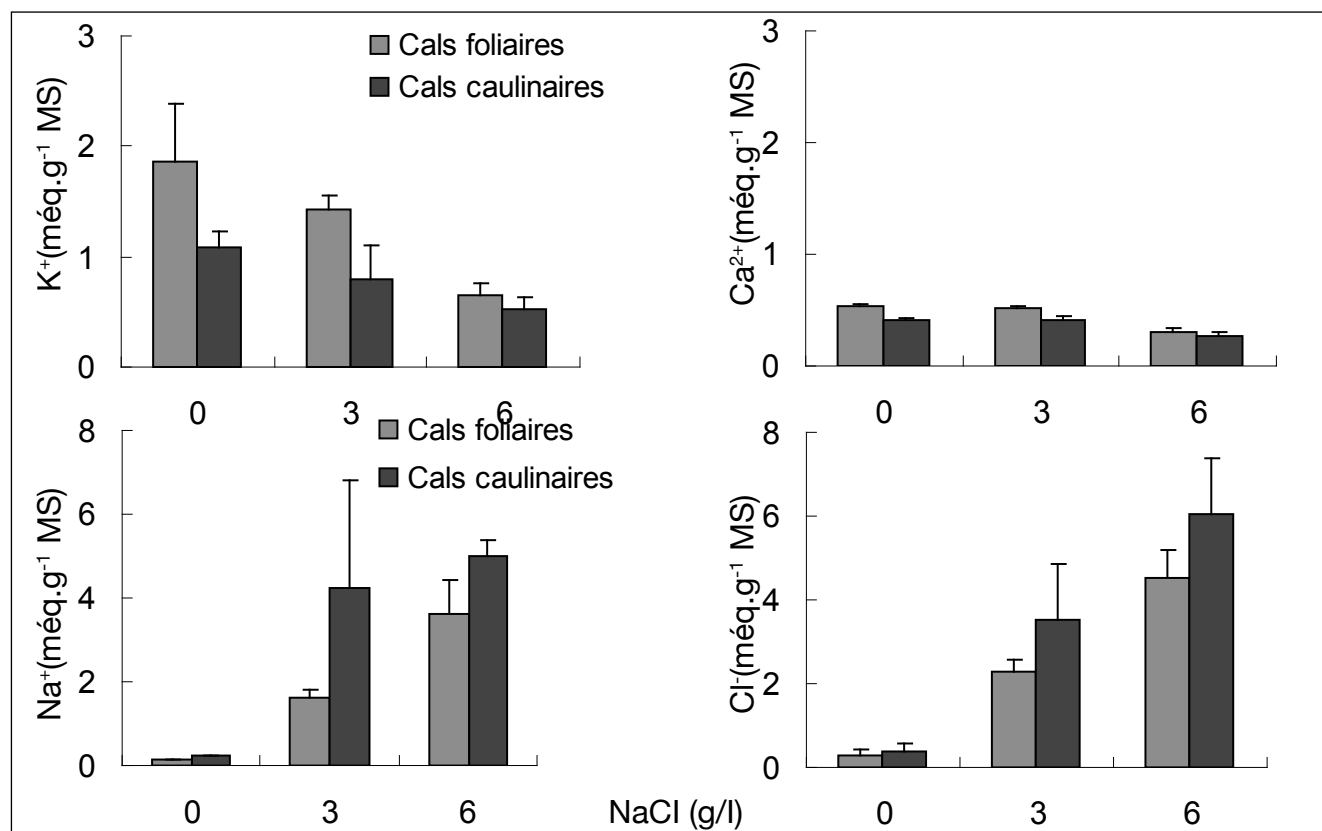


Figure 3: Teneurs en K⁺(a), Ca²⁺(b), Na⁺(c) et Cl⁻(d) des cals foliaires et des cals caulinaires de tomate (var. Sabra) cultivés *in vitro* pendant quatre semaines en absence et en présence de NaCl (3 g.l⁻¹ et 6 g.l⁻¹).

Chaque histogramme représente la moyenne de 8 échantillons. Les intervalles de sécurité sont calculés au seuil de 95%.

Tableau 1
Taux de régénération de cals caulinaires ou foliaires de tomate (var. Sabra),
cultivés en absence ou en présence de NaCl (3 et 6 g.l⁻¹)

NaCl (g.l ⁻¹)	Pourcentage de Cals régénérateurs		Nombre moyen de pousses régénérées par cal	
	Cals caulinaires	Cals foliaires	Cals caulinaires	Cals foliaires
0	26,70	76,7	1,4	12,5
3	0	43,3	0	6,5
6	0	0	0	0

Concernant les deux ions salins, Na⁺ et Cl⁻, en condition témoins, les teneurs en Na⁺ et Cl⁻ des deux types de cals sont très faibles. Sur les milieux enrichis en sel, les cals foliaires et les cals caulinaires accumulent des quantités significativement importantes et comparables de Na⁺ et Cl⁻ surtout avec la plus grande concentration (6 g.l⁻¹). Néanmoins, au niveau des deux concentrations de NaCl, cette accumulation est plus forte au niveau des cals caulinaires (Figure 3).

2. Régénération de pousses

2.1. Morphologie des pousses régénérées

Les pousses régénérées sur milieu témoin à partir de fragments foliaires possèdent des feuilles pétiolees, à limbe plat vert foncé, couvertes de poils sur les deux faces. Celles régénérées en présence de NaCl 3 g.l⁻¹ présentent des feuilles succulentes, munies d'un pétiole charnu et d'un limbe vert clair; d'autres sont anormales et disproportionnées (formées uniquement de feuilles développées dépourvues de pétiole et gorgées d'eau). Ce phénomène d'hyperhydricité est suivi par le dessèchement et le brunissement des pousses.

2.2. Taux de régénération des pousses

Le calcul du pourcentage des cals régénérateurs par rapport au nombre de cals formés montre qu'aussi bien en absence qu'en présence de NaCl, le taux de régénération des cals est nettement plus élevé chez les cals foliaires que chez les cals caulinaires. Néanmoins la présence de NaCl dans le milieu de culture exerce un effet dépressif sur le nombre de cals régénérateurs, ainsi que sur leur capacité régénératrice (Tableau 1). En effet, sur milieu témoin, le pourcentage des cals régénérateurs est de 77% pour les cals foliaires alors qu'il est de 27% seulement pour les cals caulinaires. En présence de NaCl 3 g.l⁻¹, le taux de régénération est réduit de plus de 30% au niveau des cals foliaires et s'annule pour les cals caulinaires. Pour les deux types de cals, la régénération est inhibée en présence de NaCl 6 g.l⁻¹.

La capacité régénératrice des cals, évaluée par le nombre de pousses régénérées par cal, est estimée à un nombre moyen de 12,5 (pousses par cal) pour les cals foliaires et à 1,4 (pousses par cal) uniquement pour

Tableau 2
Indice de sensibilité à NaCl des cals caulinaires et des cals
foliaires de tomate (var. Sabra), après 4 semaines de culture
sur milieux enrichis en NaCl (3 et 6 g.l⁻¹)

NaCl (g.l ⁻¹)	Cals caulinaire	Cals foliaires
3	-24,55	+ 10,03
6	- 5,91	- 6,71

Les signes négatifs et positifs indiquent respectivement une réduction et une stimulation de croissance par NaCl. Chaque valeur représente la moyenne de 8 mesures individuelles.

Tableau 3
Fractions ioniques équivalentaires K/(K+Na) dans les cals
caulinaires et les cals foliaires, après 4 semaines de culture
sur milieux enrichis en NaCl (3 et 6 g.l⁻¹)

NaCl (g.l ⁻¹)	Cals caulinaire	Cals foliaires
3	0,22 ± 0,07	0,45 ± 0,04
6	0,13 ± 0,0	0,13 ± 0,05

les cals caulinaires en conditions témoins. En présence de NaCl 3 g.l⁻¹, le nombre de pousses régénérées sur cal foliaire baisse d'environ la moitié (6 pousses/cal), alors qu'aucune pousse n'est régénérée sur les cals caulinaires. A la concentration 6 g.l⁻¹, les deux types de cals ne régénèrent pas de pousses.

3.3. Evolution des pousses en plantes

Les pousses régénérées en absence, comme en présence de NaCl (Figure 4) sont repiquées sur le milieu d'enracinement correspondants (0 et 3 g.l⁻¹), additionné d'ANA à 0,1 mg.l⁻¹ en absence ou en présence de NaCl. Les pousses témoins s'enracinent au bout d'une semaine alors que les pousses adaptées à 3 g.l⁻¹ ne forment leurs racines qu'après deux semaines de culture et émettent sensiblement moins de racines que les pousses issues de cals témoins. Les pousses adaptées à 3 g.l⁻¹ de NaCl évoluent en plantes entières tolérant la présence de NaCl (3 g.l⁻¹) supplémenté au milieu de culture. Cependant, le nombre de plantes viables obtenues sur sel (NaCl)

3 g.l⁻¹) se trouve réduit par rapport au nombre de pousses initialement cultivées, seulement 13 pousses sur 16 s'enracinent viablement.

Le nombre des plantes adaptées à 3 g.l⁻¹ de NaCl se trouve aussi réduit au cours de l'acclimatation; il a chuté à 6 plantes (Figure 6). Ces plantes présentent

une tige bien vigoureuse et forment de 6 à 7 feuilles pour 8 à 10 feuilles chez les plantes témoins. Elles ont été récupérées et transférées dans des pots de plus grande dimension et cultivées sous serre jusqu'à maturité des fruits à fin de pouvoir étudier leurs caractéristiques physio-agronomiques.

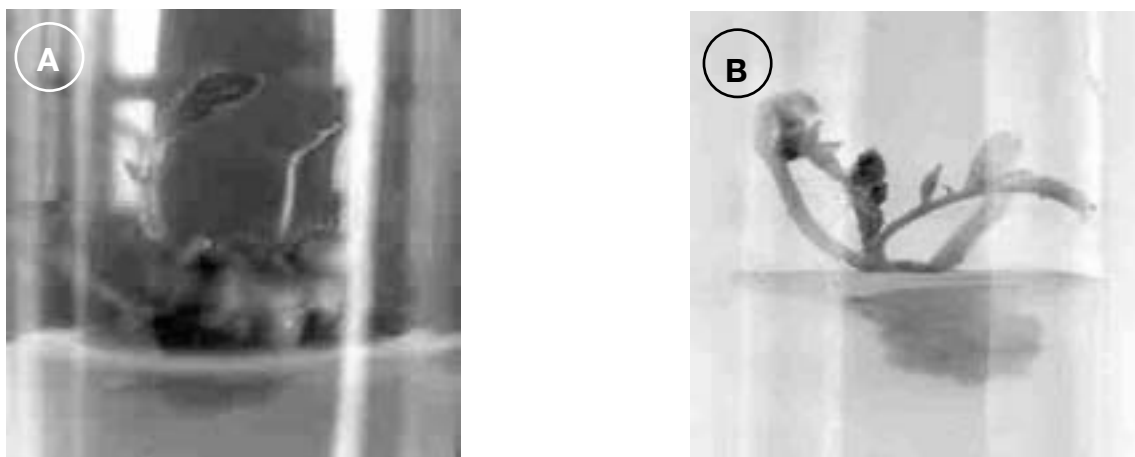


Figure 4: Pousses de tomate régénérées (A) sur milieu témoin et (B) sur milieu contenant NaCl à 3 g.l⁻¹.

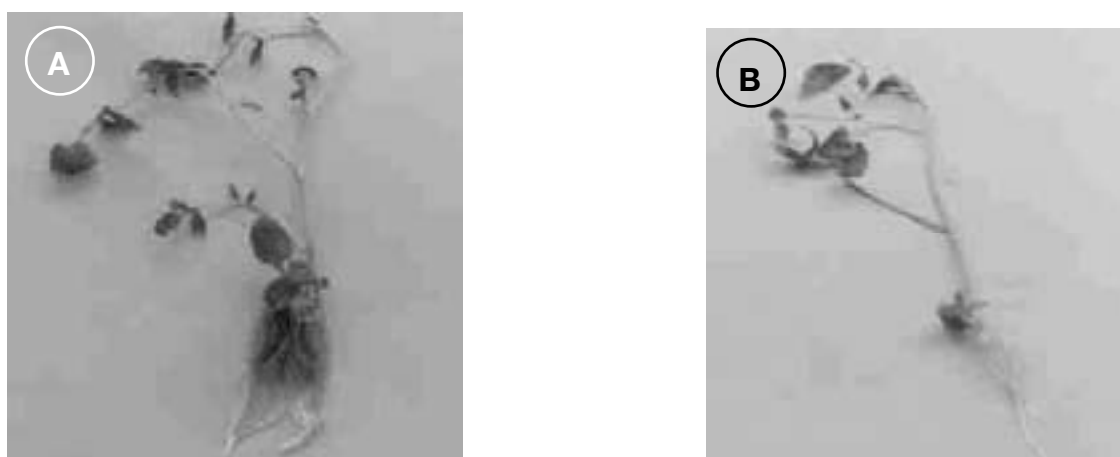


Figure 5: Aspect général de plantules de tomate régénérées sur cal foliaire témoin (A) et cal foliaire adapté à NaCl 3 g.l⁻¹(B).

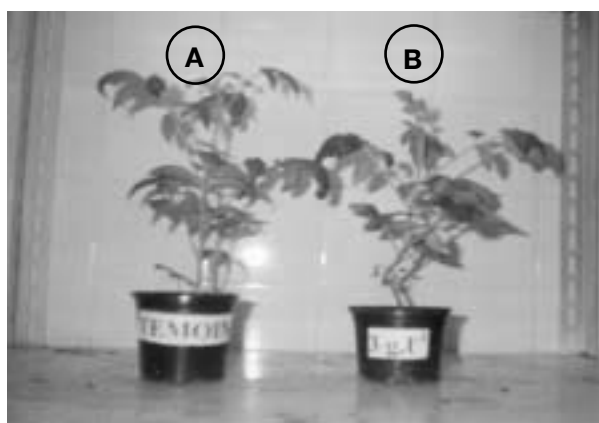


Figure 6: Plantules de tomate (var. Sabra) régénérées sur cal témoin (A) et cal adapté à NaCl 3 g.l⁻¹(B), après acclimatation et culture en pots sur tourbe noire.

Discussion

L'objectif principal de ce travail était de régénérer *in vitro* des plants de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) à partir de cals foliaires ou caulinares préalablement exposés à NaCl 3 et 6 g.l⁻¹. Au cours des étapes nécessaires à la régénération finale, nous avons pu déceler des différences dans les réponses des deux types d'explants à la culture *in vitro* en l'absence et en présence de la contrainte saline.

L'examen de la croissance des deux types des cals montre qu'en l'absence du sel dans le milieu de culture, les cals caulinares produisent plus de biomasse fraîche et sèche que les cals foliaires. Sous stress salin, les cals caulinares produisent plus de matière fraîche mais moins de matière sèche que les cals foliaires. La concentration 3 g/l de NaCl stimule la production de biomasse fraîche (cals caulinares) et sèche (cals foliaires). Taleisnik et Grunberg (23) ont également montré que les faibles concentrations de NaCl, inférieures à 3 g.l⁻¹, peuvent stimuler la croissance des parties aériennes de certains cultivars de tomate (Marmande et la variété Edkawi.) Ce phénomène est interprété comme étant le résultat d'une amélioration des relations hydriques, attribuée à une accumulation d'ions minéraux (4, 16).

Le calcul de l'indice de sensibilité à NaCl (obtenu par la différence entre la masse de matière sèche des cals obtenus sur NaCl et ceux formés sur milieu sans NaCl exprimée en % du témoin) permet de dégager plus clairement les différences entre les deux types de cals cellulaire. En effet, d'après les valeurs du tableau 2, on note que les cals foliaires présentent une meilleure tolérance au sel que ceux des cals caulinares. La croissance des cals foliaires est ainsi donc plus lente, mais moins sensible à NaCl que celle des cals caulinares. D'après Vasil et Vasil (24), cette lenteur est caractéristique des cals morphogènes.

Sur le plan nutritionnel, les cals foliaires sont plus riches en K⁺ et Ca²⁺ que les cals caulinares. Pour les deux types de cals, les modifications de la charge calcique, induites par le sel, sont discrètes et non significatives. Par contre, les cals sont capables d'accumuler des quantités importantes de Na⁺ et Cl⁻. Cet ensemble de données expérimentales indique que les cals foliaires tolèrent mieux que les cals caulinares la contrainte saline, surtout à la concentration 3 g.l⁻¹ pour laquelle les modifications en termes de croissance et d'accumulation d'ion K⁺ par rapport aux cals témoins sont négligeables. Lui et Li (15) trouvent que les cals adaptés à la contrainte saline accumulent autant de Na⁺ et de Cl⁻ et se caractérisent par des teneurs plus élevées en K⁺ et de Ca²⁺ que les cals non adaptés. Le calcul du rapport équivalentaire de l'accumulation K/(K+Na) permet d'arriver à la conclusion que les cals foliaires sont plus sélectifs en faveur de K⁺ que les cals caulinares (Tableau 3). La sélectivité K/Na apparaît ainsi comme un déterminant majeur de la tolérance à NaCl à un niveau cellulaire (1, 2, 15).

Les cals foliaires se montrent aussi plus caulogènes et manifestent une meilleure aptitude à la régénération des pousses que les cals caulinares, en conditions témoins comme en conditions salines. Néanmoins, la présence de NaCl dans le milieu de culture exerce un effet dépressif sur le nombre des cals régénérateurs, ainsi que sur leur capacité régénératrice. Lui et Li (15) ont pu également régénérer des pousses de tomate (variété Beijing Early Red) sur des cals caulinares. De leur côté, Pratta *et al.* (21) ont testé la capacité de régénération de différents génotypes de tomate et sont arrivés à régénérer des pousses à partir de cals foliaires. Par contre chez la pomme de terre, ce sont les segments d'entre-nœuds qui ont montré une meilleure capacité de régénération sur milieu salin que les fragments de feuilles dans le cas de la variété Claustar (7). Le sel du milieu exerce un effet dépressif, voire même inhibiteur sur la régénération; en effet, dès 3 g.l⁻¹, elle est fortement affectée: avortement des bourgeons et formation exclusive de feuilles sessiles ou formation de pousses rapidement atteintes d'hyperhydricité, terme adopté par Debergh *et al.* (5). D'autre part, Harbaoui (10) a montré que ce phénomène peut être atténué chez l'artichaut par l'augmentation de la concentration de l'agar dans le milieu de culture. De même selon Leshem (14), les fortes concentrations de BAP induisent une hyperhydricité chez l'oignon. Dans notre expérimentation sur la tomate, le pourcentage de pousses qui échappent à ce problème et arrivent à s'enraciner correctement est faible par rapport au nombre de pousses régénérées (12% environ). Les plantes correspondantes obtenues forment de nouvelles racines et de nouvelles feuilles; acquièrent une certaine vigueur au cours de l'acclimatation et leur aspect général s'améliore; elles évoluent ensuite en plantes similaires à celles régénérées en absence de sel.

Conclusion

Les explants foliaires et caulinares, prélevés sur les plantes-mères obtenues par germination des graines *in vitro* en absence ou en présence de NaCl (3 et 6 g.l⁻¹), ont été cultivés sur des milieux additionnés ou non de NaCl, (3 et 6 g.l⁻¹). Les deux types d'explants présentent des aptitudes à la callogenèse en absence comme en présence de NaCl. Les cals obtenus au bout de 4 semaines en absence de NaCl sont caractérisés par une structure compacte et une couleur chlorophyllienne. Par contre, la présence de NaCl (6 g.l⁻¹) affecte la texture et la couleur des cals et semble responsable de la friabilité de ces cals et de leur brunissement. En absence de contrainte saline, les cals foliaires produisent moins de biomasse que les cals caulinares mais sont plus tolérants à la présence de NaCl (3 g.l⁻¹) dans le milieu de culture. Les cals foliaires sont capables d'accumuler des quantités plus importantes que les cals caulinares

en ion potassium malgré la prédominance de Na⁺ dans le milieu de culture. Ils se montrent aussi plus caulogènes et manifestent une meilleure aptitude à la régénération des pousses que les cals caulinaires, en conditions témoins comme en conditions salines (3 g.l⁻¹ de NaCl). La régénération est absente à 6 g.l⁻¹ pour les deux types de cals. Les pousses régénérées en présence de NaCl 3 g.l⁻¹ sont capables de s'enraciner et d'évoluer en plantes entières cultivées dans la tourbe sous serre. Elles y tolèrent 3 g.l⁻¹ de NaCl, additionnée dans l'eau d'irrigation.

Nous nous proposons de suivre le comportement

physiologique et la performance agronomique des plantes régénérées *in vitro*, et en particulier leur croissance, leur développement et leur nutrition en conditions salines, en conditions contrôlées de laboratoire, puis sous serre. La comparaison des plantes régénérées *in vitro* avec celles issues directement de graines permettra d'évaluer l'importance et l'efficacité de la régénération *in vitro* sur l'acquisition de propriétés physiologiques nouvelles et plus particulièrement de tolérance à la salinité de ce matériel obtenu par voie biotechnologique.

Références bibliographiques

- Bourgeais-Chaillou P., Guerrier G. & Strullu D.G., 1987, Adaptation au NaCl de *Lycopersicon esculentum*: étude comparative des cultures de cals ou de parties terminales de tiges. Can. J. Bot. 65, 1989-1997.
- Bourgeais-Chaillou P., Perez-Alfocea P. & Guerrier G., 1990, Tolérance et adaptation au NaCl chez des vitroplants de *Lycopersicon esculentum*: caractères inductibles de l'adaptation au sel. Rev. Cyt. Biol. Vég. 13, 129-141.
- Charrier A., Jacquot M., Hamon S. & Nicolas D., 1997, L'amélioration des plantes tropicales. 591.
- Cuartero J., Yeo A.R. & Flowers T.J., 1992, Selection of donors for salt tolerance in tomato using physiological traits. New. Phytol. 121, 63-69.
- Debergh P., Aitken-Christie J., Cohen D., Grout B., Von Arnold S., Zimmerman R. & Ziv M., 1992, Reconsideration of the term vitrification as used in micropropagation. Plant Cell and tissue culture, 30, 135-140.
- Greenway H. & Munns., 1980, Mechanism of salt tolerance in non halophytes. Annu. Rev. Plant. Physiol. 31, 146-190.
- Hannachi C., 1997, Amélioration de la tolérance de la pomme de terre (*Solanum tuberosum* L.) à la salinité (NaCl) par voie biotechnologique. Thèse de doctorat, Faculté des sciences agronomiques, Gent, Belgique.
- Hannachi C., Debergh P., Zid E., Messai A. & Mehouchi T., 2004, Tubérisation sous stress salin de vitroplants de pomme de terre (*Solanum tuberosum* L.). Biotechnol. Agron. Soc. Environ. 8, 1, 9-13.
- Hannachi C., 2001, Contrat programme de recherche-développement. Projet de développement agricole de Sidi Bouzid. CRDA-PDAI. p. 100.
- Harbaoui Y., 1982, Multiplication *in vitro* et assainissement viral de l'artichaut, *Cynara scolymus* L. Thèse de doctorat, Faculté des sciences agronomiques, Gent, Belgique.
- Hassan N.S. & Wilkins D.A., 1988, *In vitro* selection for salt tolerant lines in *Lycopersicon peruvianum* L. Plant Cell Report, 7, 463-466.
- Jain R.K., Jain S., Nainawatee H.S. & Choudhary J.B., 1990, Salt tolerance *Brassica juncea* L.I. *in vitro* selection, agronomic evaluation and genetic stability. Euphytica, 45, 141-152.
- Kalloo G. & Bergh B.O., 1993, Tomato. In: Genetic improvement of vegetable crops. Oxford, Royaume-Uni, Pergamon Press. 645-666.
- Leshem B., 1983, The carnation succulent plantlets. A stable teratological growth. Ann. Bot. 52, 873-876.
- Liu K.B. & Li S.X., 1991, Effect of NaCl on element balance, peroxidase iso-enzyme and protein banding pattern of *Lycopersicon* leaf cultures and regenerated shoots. Scientia. Horticulturae, 46, 97-107.
- Munns R. & Termaat A., 1986, Whole-plant responses to salinity. Aust. J. Plant Physiol. 13, 143-160.
- Murashige T. & Skoog F., 1962, A revised medium for rapid growth and bioassay with tobacco tissue cultures. Physiol. Plant. 15, 473-497.
- Nabors M.W., Gibbs S.E., Bernstein C.S. & Neis M.E., 1980, NaCl-tolerant tobacco plants from cultured cells. Z. P. F. Lauzen. Physiol. 97, 13-17.
- Piri K., 1991, Contribution à la sélection *in vitro* de plantes androgéniques de blé pour leur tolérance au NaCl. Thèse de doctorat en sciences agronomiques. Faculté des sciences agronomiques de Gembloux, Belgique. 168 p.
- Pius J., Eapen S., George L. & Rao P.S., 1993, Isolation of sodium chloride tolerant cell lines and plants in finger millet. Biol. Plant. 35, 267-271.
- Pratta G., Zorzi R. & Picardi L.A., 1997, Intra and interspecific variability of *in vitro* culture response in *Lycopersicon* (tomatoes). Braz. J. Genet. Vol. 20 n. 1. ISSN 0100-8455.
- Slama F., 1991., Transport de Na⁺ dans les feuilles et sensibilité des plantes à NaCl. Evaluation d'un effet piège au niveau des tiges. Agronomie, 11, 275-281.
- Taleisnik E.L. & Grunberg K., 1994, Ion balance in tomato cultivars differing in salt tolerance, I. Sodium and potassium accumulation and fluxes under moderate salinity. Physiol. Plant. 92, 528-534.
- Vasil V. & Vasil I.K., 1984, Induction and maintenance of embryogenic callus culture of gramineae. Cell. Culture and somatic Cell. Genetics of plants. Vol. 1.
- Webb K.J., Osifo O.E. & Henshaw G.G., 1983, Shoot regeneration from leaflet discs of six cultivars of potato (*Solanum tuberosum* ssp. *tuberosum*). Plant Sci. Lett. 30, 33-47.
- Wheeler V.A., Evans N.E., Foulger D., Webb K.J., Karp A., Franklin J. & Bright S.W.J., 1985, Shoot formation from explant cultures of fourteen potato cultivars and studies of the cytology and morphology of regenerated plants. Ann. Bot. 55, 309-312.

Messaï Abir, Tunisienne, DEA en Eco-Physiologie végétale, Thèse de Doctorat en Biologie, Enseignement Assistante contractuelle, TP de Biologie cellulaire et TP de Biologie Moléculaire, Faculté de médecine, Monastir, Tunisie.

C. Hannachi, Tunisien, Enseignant, Maître de Conférences à l'Ecole Supérieure d'Horticulture et d'Elevage de Chott-Mariem, Tunisie.

E. Zid, Tunisien, Enseignant, Professeur à la Faculté des Sciences de Tunis et Chef de l'Unité d'Ecophysiologie et Nutrition des plantes.

Mise en évidence d'un agent coagulant utilisable en fromagerie dans les fruits de *Balanites aegyptiaca*

D.G. Libouga^{1*}, Dominique Vercaigne-Marko², Sana Longa Djangal¹, Iliassou Choukambou¹, A.L. Ebangi³, Messine Ombionyo³, R.G. Beka¹, T.M. Aboubakar⁴ & D. Guillochon²

Keywords: Appreciation- *Balanites aegyptiaca*- Milk clotting- Toxicity- Cameroon

Résumé

Au Cameroun, l'interdiction d'abattre les veaux de zébu (*Bos indicus*) rend difficile l'approvisionnement en abomasum, ce qui empêche la fabrication de la présure. Dans le but de conserver le lait grâce à la fabrication de fromages, un extrait coagulant le lait a été produit à partir des fruits de *Balanites aegyptiaca*. *B. aegyptiaca* est un arbre répandu dans le Cameroun septentrional. Ses fruits ont été récoltés à Pitoa (9°23' latitude Nord et 13°32' longitude Est). Le fruit est une drupe formé d'un épicarpe, un mésocarpe et un endocarpe. Seul un extrait de mésocarpe est capable de coaguler le lait. Dans un premier temps, le procédé d'extraction a été optimisé grâce à un dispositif expérimental de type split plot: (5 × 4 × 4): 5 concentrations de mésocarpe, 4 températures et 4 durées de macération ont été étudiées. L'extrait a été caractérisé par son temps de coagulation du lait, déterminé selon la méthode de Berridge, sa teneur en protéines par dosage avec l'acide bicinchoninique. L'extraction optimale est obtenue en macérant 50 g de mésocarpe dans 100 ml d'eau à 4 °C pendant 9 h. La flore microbienne est composée de coliformes, dénombrés sur gélose au désoxycholate lactose, et de germes aérobies mésophiles dénombrés sur PCA. Aucun germe sulfite-réducteur n'a pu être mis en évidence. Dans un deuxième temps, des fromages frais ont été fabriqués avec le lait de zébu en utilisant soit la présure soit l'extrait de mésocarpe. La toxicité du produit a été testée en nourrissant des souris avec ces fromages puis avec l'extrait brut de mésocarpe et en étudiant leur poids, celui de leur foie et leur hématocrite. Ni l'extrait brut, ni les fromages fabriqués avec cet extrait n'ont été toxiques pour les souris. Une analyse sensorielle a été menée sur un jury de dégustateurs qui a apprécié ces fromages. En conclusion, l'extrait des mésocarpes des fruits de *B. aegyptiaca* est bien utilisable en fromagerie. Une analyse préliminaire par électrophorèse en présence du SDS et en milieu réducteur ou non, a montré que l'extrait de mésocarpe contient principalement 5

Summary

Study of a Suitable Cheese Making Milk-clotting Agent from *Balanites aegyptiaca* Fruits

As slaughtering of zebu (*Bos indicus*) calves in Cameroon is forbidden, calf abomasa are rare on markets so it is difficult to prepare rennet. The aim of this study was to look for other sources of milk clotting extracts, especially from *Balanites aegyptiaca* fruits. *B. aegyptiaca* is a widespread tree in northern Cameroon. Its fruit is pulpy with a thin and hard epicarp, a dark brown mesocarp and a hard endocarp enclosing an oil seed. The fruits of *B. aegyptiaca* were harvested at Pitoa (9°23' N, 13°32' E). Milk clotting, determined by the Berridge method, was only obtained with mesocarp extracts. The experimental design of the extraction was a split-plot (5 × 4 × 4) with 5 mesocarp concentrations, 4 temperatures and 4 maceration times. Optimum extraction was performed when macerating 50 g mesocarp in 100 ml water at 4 °C during 9 h. Protein content (91 ± 14 mg. ml⁻¹) was determined by bicinchoninic acid assay. Five proteins of respective molecular masses 27, 30, 42, 44 and 90 kg.mole⁻¹ were observed by SDS-PAGE under reducing conditions. The force of the extract was determined by comparing its milk clotting time to that obtained with rennet. Proteolytic activity of the extract was measured by hydrolysis of bovine haemoglobin and titration of free NH₂ using l'-o-phthaldialdehyde reagent. Counting of coliforms was carried out on DCL gelose, that of the total aerobic mesophil flora on PCA and that of the sulfite-reducing flora on TSN. The extract only contained coliforms and aerobic mesophil flora. Fresh cheese was made with zebu milk using rennet or *B. aegyptiaca* mesocarp extract. Indemnes of Specific Pathogen Organism mice were fed with these cheeses then with crude *B. aegyptiaca* mesocarp extract. No abnormality, nor toxicity were observed on mice. A panel was allowed to appreciate these cheeses. Statistical analysis was

*Adresse de correspondance: D.G. Libouga, Laboratoire de Biophysique et Biochimie Alimentaires, Ecole Nationale Supérieure des Sciences Agro Industrielles, Université de N'Gaoundéré, B.P. 455, N'Gaoundéré, Cameroun. Tél/Fax: +237 225.27.51 e-mail: libouga@yahoo.fr

¹Laboratoire de biophysique et biochimie alimentaires, Ecole Nationale Supérieure des Sciences Agro Industrielles, Université de N'Gaoundéré, B.P. 455, N'Gaoundéré, Cameroun. Tél/Fax: +237 225.27.51 e-mail: libouga@yahoo.fr

²Laboratoire de Technologie des Substances Naturelles, IUT «A» -Département Génie biologique, Boulevard Paul Langevin - Cité Scientifique - B.P. 179, F-59653 Villeneuve D'Ascq, Cedex -France.

³Institut de la Recherche Agricole pour le Développement, B.P. 65, N'Gaoundéré, Cameroun.

⁴Faculté des Sciences Exactes et Appliquées, Université de N'Djamena, B.P. 1027, N'Djamena, République du Tchad.

protéines de masse moléculaire respectivement 27, 30, 42, 44 et 90 kg $\times$ mole⁻¹. La caractérisation de la protéase responsable de l'activité coagulatrice est actuellement en cours.

conducted using SAS® software. It was concluded that *B. aegyptiaca* mesocarp extract is suitable for cheese manufacture.

Introduction

L'amélioration des techniques d'élevage au Cameroun permet aux éleveurs des provinces de l'extrême nord, de l'Adamaoua et du nord ouest de produire davantage de lait. Cette production laitière est encore fortement liée aux aléas climatiques: faible production pendant la saison sèche au cours de laquelle les zébus (*Bos indicus*) ne se nourrissent que des jeunes pousses apparaissant après les feux de brousse puis forte production laitière pendant la saison des pluies au cours de laquelle ces animaux ont à leur disposition de grandes quantités de fourrage et d'eau (24). Ce lait est soit consommé en l'état (*Biradam*) soit transformé en lait fermenté comme le *pendidam* et le *kindirmou* (26). Il devient de plus en plus nécessaire de fabriquer des produits à plus longue durée de vie tels que les fromages.

L'importation de présure est difficile du fait de son coût élevé, et des problèmes de transport qui génèrent un produit défectueux à l'arrivée. Sa production sur place se heurte à une législation qui interdit l'abattage des veaux de zébu. L'expérience empirique a conduit certaines populations à coaguler le lait en utilisant soit les écorces des arbres (*Acacia albida*) soit leur sève (*Calotropis procera*). Ces pratiques contribuent à fragiliser l'écosystème local qui est déjà très menacé par le surpâturage et la pratique des feux de brousse (16). Dans ces régions, les fruits sont mieux indiqués pour servir de matière première à la fabrication des extraits coagulants. Les fruits d'un certain nombre de plantes ont déjà donné des extraits provoquant le caillage du lait: *Adenolichos anchietae* (27), *Albizia*

julibrissin (30, 31), *Cynara cardunculus* (7, 15, 26), *Droogmansia megalantha*, différentes espèces d'Eriosema (*E. shirensense*, *E. ellipticum*, *E. pauciflorum*, *E. gossweilleri*, *E. psoraleoides*) (27), le melon (37), *Onopordum turcicum* (36), *Solanum dobium* (38).

Jusqu'à présent, les chercheurs ne se sont pas intéressés aux potentialités coagulantes des fruits de *Balanites aegyptiaca*. Cet arbre, cultivé depuis la plus haute antiquité en Egypte, se rencontre du Sénégal à la Mauritanie jusqu'à la Mer Rouge mais aussi dans les régions chaudes du Congo ex-belge et de l'Angola. Il est répandu dans le Cameroun septentrional au sud du lac Tchad et au nord de la Bénoué. C'est un petit arbre atteignant environ une dizaine de mètres de haut, à fût tortueux et à cime sphérique. Il est très résistant à la sécheresse et pousse sur tous les types de sol (12). Ses racines et son écorce sont riches en saponines (28), le bois est réputé résistant aux termites et aux insectes xylophages. Le fruit est une drupe (fruit charnu à noyau) qui présente un épicarpe jaunâtre mince et dur, un mésocarpe brun foncé et charnu et un endocarpe très épais, (Figure 1). Le mésocarpe contient des sapogénines stéroïdiques (13) et des prégnanes glycosidiques (16) alors que ses extraits aqueux sont anthelminthiques (17, 18). L'endocarpe contient une graine oléagineuse (29) donnant une huile comestible (8). La pulpe des fruits est sucrée et est consommée par les insectes (13) et par l'homme (6). Le but de ce travail est d'obtenir à partir des fruits de *B. aegyptiaca*, un agent coagulant utilisable en fromagerie.

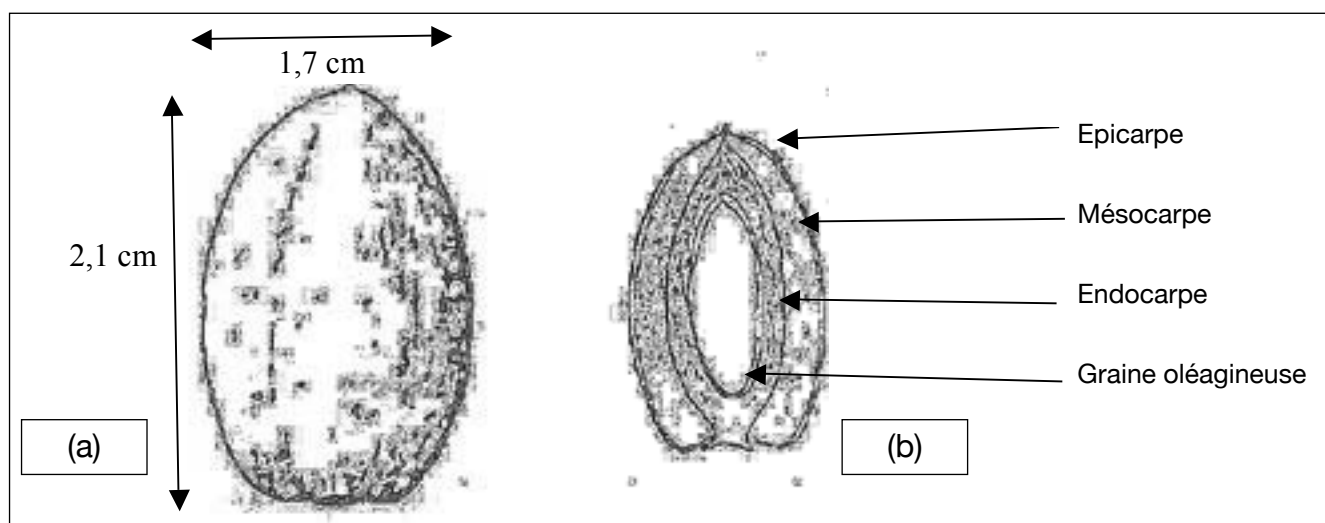


Figure 1: Schéma du fruit de *Balanites aegyptiaca*: (a) vue de profil et (b) coupe transversale.

Matériel et méthodes

1. Site de récolte

Les fruits mûrs de *B. aegyptiaca* ont été récoltés en décembre à Pitoa, agglomération du nord Cameroun située à 9°23' latitude nord et 13°32' longitude est (21).

2. Préparation et caractérisation de l'extrait coagulant

Le mésocarpe des fruits est prélevé puis macéré sous agitation périodique dans de l'eau distillée pendant des temps et des températures variables. La pâte obtenue est essorée à l'aide d'une toile; le liquide obtenu constitue l'extrait coagulant.

Cinq concentrations du mésocarpe (0,1- 0,2- 0,5- 0,7 et 1 g.ml⁻¹), 4 températures (4, 20, 30 et 40 °C) et 4 durées de macération (3, 5, 9 et 12 h) ont été expérimentées. Le dispositif expérimental est de type «split plot» (5 × 4 × 4).

La masse volumique de l'extrait coagulant a été déterminée par pesée à la température ambiante (25 °C) et sa matière sèche par dessiccation à l'étuve à 105 °C jusqu'à poids constant (5 h).

Le dosage des protéines est réalisé par la méthode de l'acide bicinchoninique (Pierce) en utilisant du sérum d'albumine bovine pure comme standard.

3. Détermination du temps de coagulation

Le temps de coagulation est déterminé par la méthode de Berridge (2) en incubant 10 ml de lait frais de zébu (23) dans un tube à essai plongé dans un bain marie à 30 °C et 0,5 ml d'extrait coagulant des fruits de *B. aegyptiaca* ou 0,5 ml de présure (Carlin, Texel, Groupe Rhône-Poulenc France) diluée, de force 1/10 000. Le tube à essai est soumis à un mouvement de rotation lente. On mesure le temps qui s'écoule entre l'introduction de l'extrait coagulant et le moment où un mince film commence à se former à l'intérieur des parois du tube à essai.

4. Dénombrement des germes

Le dénombrement des coliformes a été fait sur DCL-gélose (milieu lactosé au désoxycholate de sodium) à 37 °C pendant 24 heures, celui de la flore aérobie mésophile totale sur PCA (Plate Count Agar)

à 30 °C pendant 72 heures et celui des germes sulfito-réducteurs sur gelose TSN (Trypticase Sulfite Néomycine) à 44 °C pendant 48 heures selon Guiraud et Galzy (11).

5. Détermination de la force de l'extrait coagulant

La force des extraits coagulants a été calculée en utilisant la formule suivante:

$$F_x \times C_x \times t_x = F_s \times C_s \times t_s$$

où: F_x , C_x et t_x sont respectivement la force, la dilution et le temps de floculation de la présure de référence.

F_s , C_s et t_s la force, la dilution et le temps de floculation de la solution inconnue.

6. Fabrication des fromages et calcul du rendement fromager

Un litre de lait de zébu, provenant de plusieurs animaux, est pasteurisé en vrac puis laissé à maturer par la flore banale pendant 4 h à la température ambiante. Il est ensuite additionné soit de 100 ml de présure (Carlin, Texel) diluée (1/300) soit de 200 ml de l'extrait des fruits de *B. aegyptiaca*. La durée de la coagulation est de 6 h. Après un léger tranchage et 2 h d'égouttage, le caillé est lissé à l'aide d'un robot (Moulinex). Ce fromage n'est ni sucré, ni aromatisé.

Le rendement fromager brut (R_{BR}) est le pourcentage de la masse totale de fromage par rapport à la masse initiale du lait. Le rendement fromager en matière sèche (R_{MS}) est le pourcentage de matière sèche totale récupérée dans le fromage par rapport à la matière sèche totale initiale du lait.

Les matières grasses du lait et du fromage sont mesurées par extraction éthero-ammoniacale selon la méthode de Röse Gottlieb en utilisant le butyromètre de Pien selon le recueil des normes Afnor (33).

7. Traitement des souris

Les souris mâles IOPS (Indemnes d'Organismes Pathogènes Spécifiques) âgées de 3 à 4 semaines ainsi que leurs aliments de base sont achetés au Laboratoire National Vétérinaire (BP 503, Garoua, Cameroun). Les souris sont réparties en deux séries (1 et 2) de deux lots (A, B, C et D) de 10 souris chacun.

Tableau 1
Composition des aliments des souris

Ingrédients	Pourcentage (g × 100. g ⁻¹)
Mil	54
Tourteau de coton	18
Maïs	16
Poisson fumé	8
Polyvitaviaire (mélange des vitamines, nutriments, amino acides, selsetc)	1,85
Farine d'os	1,2
Huile des graines de coton	0,7
Sel (NaCl)	0,2
Olivitasol (mélange des vitamines, amino acides, sels ...etc)	0,05

Lors de la première expérience (série 1), les souris témoin (lot A) sont nourries avec un aliment de base dont la composition est donnée dans le tableau 1. Les souris test (lot B) sont nourries avec le même aliment auquel sont incorporés 24,5 g de matière sèche de mésocarpe par kg de granulés.

Dans une deuxième expérience (série 2), les souris sont nourries avec des granulés dans lesquels la farine de poisson est remplacée par du fromage préparé respectivement à l'aide de présure (lot C) ou d'extrait de mésocarpe (lot D).

L'hématocrite des souris a été dosé. Pour cela, le bout de la queue des souris est sectionné à l'aide de ciseaux et le sang est recueilli dans des tubes capillaires héparinés de 32 µl puis centrifugés à 1200 tours. min⁻¹ pendant 5 min. La lecture se fait à l'aide d'un micro-haematocrit reader (Hawksley, Grande Bretagne) et le résultat est exprimé en pourcentage du volume sanguin.

8. Analyse sensorielle

Une analyse sensorielle a été effectuée avec un jury, une épreuve et un questionnaire.

Le jury

Les 397 dégustateurs sont, pour la plupart, des étudiants et des enseignants ayant plus ou moins voyagé et ayant plus ou moins mangé des fromages. Leur âge varie entre 17 et 40 ans. Ils sont tous originaires du Cameroun et sont répartis selon 3 régions géographiques: 1 - Adamaoua, nord et extrême nord; 2 - le centre, est et sud littoral et 3 - nord-ouest, ouest et sud-ouest.

L'épreuve

L'épreuve se fait 1 à 2 heures après le déjeuner. Elle comporte deux étapes: un test triangulaire et un test hédonique (19).

Au cours du test triangulaire, le dégustateur compare trois échantillons de fromage dont deux sont identiques. Chaque échantillon est représenté par un code à trois chiffres. La réussite à ce test est essentielle pour l'étape suivante.

Pendant le test hédonique, les échantillons sont présentés de façon monadique pour être appréciés sur une échelle de cotation à 9 points. Chaque échantillon de fromage frais est présenté simultanément avec un fromage frais non aromatisé

Tableau 2
Questionnaire de l'analyse sensorielle

Analyse sensorielle			
Code	Nationalité	Province d'origine	
Age		Date et heure	
Profession		Sexe	
Consommez-vous du fromage?			
Très souvent	Souvent	Rarement	Pas du tout
Avez-vous séjourné plus de 3 mois hors de votre province			
oui		de votre pays	
non		oui non	
(Barrez la mention inutile)			
Trois échantillons de fromage vous sont proposés; cochez celui que vous percevez différent des deux autres			
583	249	476	
Deux échantillons de fromage vous sont présentés, l'un est aromatisé tandis que l'autre ne l'est pas. Exprimez votre appréciation du fromage aromatisé suivant l'échelle ci-dessous:			
1. déteste extrêmement			
2. déteste beaucoup			
3. déteste modérément			
4. déteste un peu			
5. n'aime pas, ne déteste pas			
6. aime un peu			
7. aime modérément			
8. aime beaucoup			
9. aime extrêmement			
Goût	Couleur	Texture	Appréciation générale
Que suggériez-vous pour améliorer ce fromage ?			
Merci pour votre collaboration			

appelé «blanc». Celui-ci est la référence qui permettra de mieux apprécier les propriétés sensorielles de l'échantillon à tester; il est dégusté en premier. Chaque dégustation est suivie d'un gargarisme à grande eau afin d'éviter toute interférence.

Le questionnaire

Le questionnaire (Tableau 2) comporte trois sections: une section de renseignements sur le dégustateur, une section pour le test triangulaire et une section pour le test hédonique.

9. Analyse statistique

Toutes les mesures ont été répétées au moins trois fois. L'analyse statistique a été faite à l'aide du logiciel de statistique SAS®(34).

9.1. Le temps de coagulation

Diverses modèles mathématiques ont été utilisés, notamment un modèle linéaire, pour tester l'impact de la concentration du mésocarpe, la durée et la température de macération sur le temps de coagulation du lait. Le modèle utilisé était le suivant:

$$Y_{ijklm} = \mu + C_i + T_j + M_k + (C*T)_{ij} + (C*M)_{ik} + (T*M)_{jk} + (C*T*M)_{ijk} + e_{ijkl}$$

où:

Y_{ijklm} est l'effet du $j^{\text{ème}}$ concentration, du $j^{\text{ème}}$ température et de la $k^{\text{ème}}$ durée de macération sur le temps de coagulation du lait,

μ est la moyenne générale du temps de coagulation.

Les paramètres ci-dessous sont les effets sur le temps de coagulation du lait:

C_i l'effet de la $i^{\text{ème}}$ concentration ($i = 0,1 - 0,2 - 0,5 - 0,7$ et $1 \text{ g} \cdot \text{ml}^{-1}$).

T_j l'effet de la $j^{\text{ème}}$ température ($j = 4, 20, 30$ et 40°C).

M_k l'effet la $k^{\text{ème}}$ durée de macération ($k = 3, 5, 9$ et 12 h).

$(C*T)_{ij}$ l'effet de l'interaction entre la $i^{\text{ème}}$ concentration et la $j^{\text{ème}}$ température.

$(C*M)_{ik}$ l'effet de l'interaction entre la $i^{\text{ème}}$ concentration et la $k^{\text{ème}}$ durée de macération.

$(T*M)_{jk}$ l'effet de l'interaction entre la $j^{\text{ème}}$ température et la $k^{\text{ème}}$ durée de macération.

$(C*T*M)_{ijk}$ l'effet de l'interaction entre la $i^{\text{ème}}$ concentration, la $j^{\text{ème}}$ température et la $k^{\text{ème}}$ durée de macération.

e_{ijkl} l'effet de l'erreur sur le temps de coagulation du lait de la $i^{\text{ème}}$ concentration, la $j^{\text{ème}}$ température, la $k^{\text{ème}}$ durée de macération, l'interaction entre la $i^{\text{ème}}$ concentration et la $j^{\text{ème}}$ température, l'interaction entre la $j^{\text{ème}}$ température et la $k^{\text{ème}}$ durée de macération, l'interaction entre la $i^{\text{ème}}$ concentration, la $j^{\text{ème}}$ température et la $k^{\text{ème}}$ durée de macération.

9.2. Etude du poids des souris

Le modèle linéaire de formule suivante a été utilisé pour le poids des souris

$$W_{abc} = \mu + L_a + T_b + (L*T)_{ab} + e_{abc}$$

où: W_{abc} est le poids de la $c^{\text{ème}}$ souris du $a^{\text{ème}}$ lot après le $b^{\text{ème}}$ temps.

μ la moyenne générale du poids des souris.

L_a l'effet du $a^{\text{ème}}$ lot ($a = 1, 2$ et 3) sur le poids des souris.

T_b l'effet du $b^{\text{ème}}$ temps ($b = 15, 30, 45$ et 60 jours) sur le poids des souris.

$(L*T)_{ab}$ l'effet de l'interaction entre le $a^{\text{ème}}$ lot et le $b^{\text{ème}}$ temps.

e_{abc} l'effet sur le poids des souris de l'erreur sur la $c^{\text{ème}}$ souris du $a^{\text{ème}}$ lot après le $b^{\text{ème}}$ temps.

L'effet du lot sur le poids des souris, sur l'hématocrite et le poids du foie a été évalué en utilisant un modèle linéaire simple

$$W = \mu + L$$

où: W est le poids des souris,

μ est la moyenne générale du poids des souris.

L le lot ou l'hématocrite ou le poids du foie.

9.3. Analyse sensorielle

Un modèle linéaire avec analyse des variantes multiples a été utilisé pour étudier l'effet de la «province» (P), la «région» (R), la «profession» (Pr), le «sexe» (S), le «séjour hors province» (SHP) et le «séjour hors pays» (SHPA) sur le goût, l'âge, la texture et l'appréciation générale. La relation générale est la suivante:

$$Y_{ijklmn} = \mu + P_i + R_j + Pr_k + S_l + SHP_m + SHPA_n + e_{ijklmn}$$

où: Y_{ijklmn} est l'effet du $i^{\text{ème}}$ sexe de $j^{\text{ème}}$ province, de $j^{\text{ème}}$ région de $k^{\text{ème}}$ profession, du $m^{\text{ème}}$ séjour hors de la province et du $n^{\text{ème}}$ séjour hors du pays sur le goût, l'âge, la texture et l'appréciation générale.

μ est la moyenne générale.

Les paramètres ci-dessous sont les effets sur l'âge, le goût, la texture et l'appréciation générale, pour:

P_i est l'effet du $i^{\text{ème}}$ province ($i = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9$ et 10).

R_j est l'effet de la $j^{\text{ème}}$ région ($j = 1, 2, 3$ et 4).

Pr_k est l'effet de la $k^{\text{ème}}$ profession ($k =$ étudiant, fonctionnaire).

S_l est l'effet du $l^{\text{ème}}$ sexe.

SHP_m est l'effet du $m^{\text{ème}}$ séjour hors province.

$SHPA_n$ est l'effet du $n^{\text{ème}}$ séjour hors pays.

e_{ijklmn} étant l'effet sur l'âge, le goût, la texture et l'appréciation générale de l'erreur sur la $i^{\text{ème}}$ province, la $j^{\text{ème}}$ région, la $k^{\text{ème}}$ profession, le $l^{\text{ème}}$ sexe, le $m^{\text{ème}}$ séjour hors province et le $n^{\text{ème}}$ séjour hors pays.

10. Détermination de l'activité protéasique

Le substrat est une solution d'hémoglobine dénaturée à $0,02 \text{ g} \cdot \text{ml}^{-1}$ dans du tampon HEPES (acide N-2 hydroxyethylpiperazine - N' - ethanesulfonique) (Merck) $0,2 \text{ M}$ pH $7,5$ et contenant de l'urée $5,3 \text{ M}$ (33). Cinq ml de ce substrat sont incubés avec 1 ml d'extrait de mésocarpe à 40°C pendant $1 \text{ h } 30$. La réaction est arrêtée par précipitation avec 10 ml d'acide trichloroacétique à $50 \text{ mg} \cdot \text{ml}^{-1}$. Le filtrat

est isolé et l'azote aminé du blanc et de l'essai est dosé par la méthode à l'o-phthaldialdéhyde (5). Une gamme étalon de leucine permet de déterminer la concentration en NH_2 libres. Le calcul du nombre de fonctions NH_2 libérées permet de calculer le degré de l'hydrolyse.

11. Electrophorèse en gel de polyacrylamide en présence de SDS

Environ 50 μg de protéines de mésocarpe de *B. aegyptiaca* sont soumis à une électrophorèse en gel de polyacrylamide en gradient de 5 à 30%, en présence de dodécylsulfate de sodium selon la technique de Laemmli (19). L'échantillon, dilué au demi avec du tampon d'échantillon avec ou sans β mercaptoéthanol, est chauffé au bain-marie à 100 °C pendant 3 min. La migration est réalisée à une intensité constante de 35 mA jusqu'à ce que le témoin de migration parvienne au bas du gel. La coloration du gel se fait dans la solution de bleu de Coomassie R250. Des protéines de masses moléculaires connues (Sigma) ont été utilisées comme protéines de référence.

Résultats

1. Caractérisation préliminaire de l'extrait de mésocarpe

Les fruits de *B. aegyptiaca* pèsent en moyenne $5,9 \pm 1,2$ g l'unité. Les essais de macération de l'épicarpe puis du mésocarpe dans l'eau, ont montré que seuls les extraits de mésocarpe ont donné des temps de coagulation appréciables (20 à 30 min). La teneur en matière sèche du mésocarpe est en moyenne de 734 ± 5 g.kg⁻¹.

Le tableau 3 montre les combinaisons des conditions expérimentales testées pour obtenir une concentration du mésocarpe donnant des temps de coagulation les plus courts. L'analyse statistique a montré qu'il n'y a pas de différence significative ($p > 0,05$) entre 9 et 12 h de macération. Les conditions optimum d'extraction sont donc 50 g de mésocarpe macérés dans 100 ml d'eau pendant 9 heures à 4 °C. Ces conditions conduisent à un extrait coagulant de force 1/200 comparé à la présure témoin.

Le pH de l'extrait est de $5,0 \pm 0,2$. Sa charge microbienne comporte des germes aérobies mésophiles (3.10^5 UFC.ml⁻¹) et des coliformes (5.10^2 UFC.ml⁻¹) mais pas du tout de spores de germes sulfito-réducteurs.

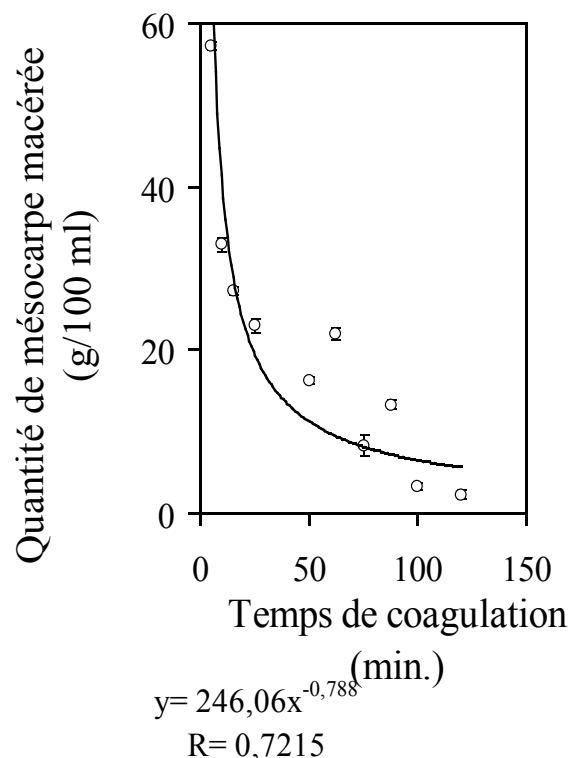


Figure 2: Electrophorèse de l'extrait brut de mésocarpe des fruits de *Balanites aegyptiaca*.

(Les puits A, B, D et E contiennent des protéines de référence; les puits C et F contiennent respectivement l'extrait brut de mésocarpe en l'absence puis en présence du β mercaptoéthanol. A droite les valeurs des masses moléculaires.

La figure 2 montre les variations du temps de coagulation du lait en fonction des quantités de mésocarpe macéré; ce temps diminue avec l'augmentation de la quantité de mésocarpe macéré passant de 57 min pour une concentration de mésocarpe de 0,05 g.ml⁻¹ à 2,3 min pour une concentration de 1,20 g.ml⁻¹.

La teneur moyenne en protéines des extraits aqueux ainsi obtenus est de 91 ± 14 mg.ml⁻¹. Ces extraits hydrolysent l'hémoglobine bovine en libérant 10 μM de $\text{NH}_2 \times \text{g}^{-1}$ d'hémoglobine $\times \text{g}^{-1}$ de protéine du mésocarpe. Cinq protéines majoritaires (Figure 3) ayant respectivement des masses moléculaires de 27, 30, 42, 44 et 90 kg $\times \text{mole}^{-1}$ ont pu être mises en évidence par électrophorèse en présence de SDS.

2. Fabrication des fromages

La masse volumique du lait de grand mélange de zébu est de 1.011 ± 10 g.l⁻¹ et sa matière sèche de 151 g.l⁻¹ (22). Pour les fabrications de fromage à l'aide de la présure, à partir d'un litre de lait, 403 g de fromage frais sont obtenus en moyenne, avec

Tableau 3
Meilleures conditions d'extraction de l'agent coagulant

Quantité de mésocarpe (g/ml)	Température de macération (° C)	Temps de coagulation (min)
0,5	4	$10,67 \pm 1,06$
0,7	4	$8,00 \pm 1,06$
1	20	$8,00 \pm 1,06$
1	40	$12,33 \pm 1,06$

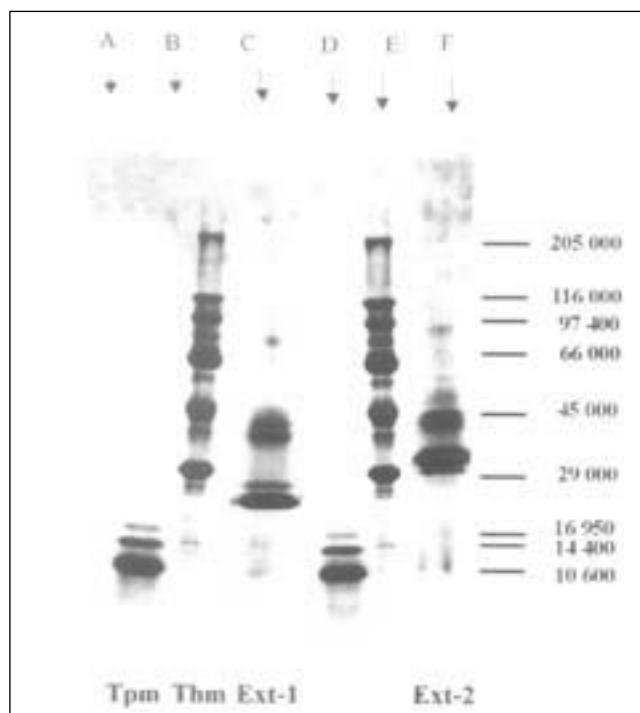


Figure 3: Variation du temps de coagulation du lait en fonction de la quantité de mésocarbe macérée.

un extrait sec total de 257,5 g.kg⁻¹. Les rendements fromagers bruts (R_{BR}) et en extrait sec total (R_{MS}) sont de 39,9% et 68,7%.

Avec les extraits de *B. aegyptiaca*, seulement 377 g de fromage sont fabriqués avec un extrait sec total de 237,5 g.kg⁻¹. Les rendements R_{BR} et R_{MS} sont respectivement de 37,3% et 59,3%.

Les fromages fabriqués à l'aide de la présure contiennent 123 ± 20 g de matières grasses par kg de fromage contre 137 ± 25 g.kg⁻¹ pour ceux fabriqués avec les extraits de mésocarbe de *B. aegyptiaca*.

3. Etude de la toxicité de l'extrait sur les souris

Ces souris consomment 16,8 g de granulés par jour,

ce qui correspond, dans la première expérience, à 0,4 g de matière sèche de mésocarbe.

En supposant qu'une personne adulte de 70 kg consomme 500 g de fromage frais par jour, et que, dans 1 kg de fromage toute la matière sèche provenant du mésocarbe (195 g) soit retrouvée, on peut calculer que la dose de mésocarbe ingérée est de 1,4 g par jour et par kg de poids vif. Ainsi, les souris du lot B ont été nourries avec un aliment contenant pratiquement 10 fois cette dose.

Le comportement des souris des lots B (test) n'a pas changé par rapport aux souris du lot A (témoin). L'évolution du poids des souris des différents lots est indiquée dans le tableau 4. Après 45 jours, pour les souris B, nourries avec les granulés contenant des extraits de mésocarbe, le poids moyen des souris a augmenté de 23 à 32 g alors que celui des souris témoin est passé de 21 à 34 g.

D'autre part, pour les souris nourries avec les granulés contenant des fromages, ce poids est passé de 26 à 35 g pour le lot C et de 26 à 33 g pour le lot D (test). D'après le tableau 5, aucune différence significative ($p > 0,05$) entre les poids moyens des souris des deux lots, ceux de leur foie et l'hématocrite n'a pu être notée après 45 jours.

4. Analyse sensorielle

Dix-neuf personnes n'ont pas été admises au test triangulaire, ce qui représente 4,79% de la population totale.

Il y a une différence significative ($p < 0,05$) entre les dégustateurs qui ont réussi le test triangulaire et ceux qui ne l'ont pas réussi. De toutes les sources étudiées (province, région, profession, sexe, séjour hors de la province d'origine et séjour hors du pays), les seules variables dépendantes où l'analyse statistique a montré une différence significative ($p < 0,05$) à l'intérieur de la source, sont la «texture» et

Tableau 4
Evolution des poids des souris

Série 1: Souris nourries aux granulés contenant les extraits de mésocarbe de *B. aegyptiaca*.

Temps (jours)	Poids des souris (g)	
	Lot A (témoin)	Lot B (test)
0	21,42 $\pm$ 0,87a	23,09 $\pm$ 0,87a
45	34,00 $\pm$ 0,87a	31,99 $\pm$ 0,87a

Série 2: Souris nourries aux granulés contenant du fromage fabriqué avec soit de la présure, soit les extraits de mésocarbe de *B. aegyptiaca*.

Temps (jours)	Poids des souris (g)	
	Lot C (+ présure)	Lot D (+ extrait)
0	25,97 $\pm$ 0,73a	25,94 $\pm$ 0,73a
15	31,28 $\pm$ 0,73a	30,32 $\pm$ 0,73a
30	32,02 $\pm$ 0,73a	33,29 $\pm$ 0,73a
45	34,21 $\pm$ 0,73a	32,90 $\pm$ 0,73a

La même lettre placée à côté d'un chiffre indique qu'il n'y pas de différence significative ($p < 0,05$) entre les valeurs de la même période.

Tableau 5
Poids moyens des souris, de leur foie et hématocrite après 45 jours

Série 1: Souris nourries avec des granulés contenant des extraits de mésocarpe de *B. aegyptiaca*.

	Lot témoin (A)	Lot test (B)
Poids (g)	31,30 ± 0,91	31,40 ± 0,91
Hématocrite (ml.100 ml ⁻¹)	58,80 ± 1,67	57,30 ± 1,67
Poids du foie (g)	2,43 ± 0,11	2,35 ± 0,11

Série 2: Souris nourries avec des granulés contenant du fromage.

	Lot témoin (C)	Lot test (D)
Poids (g)	27,97 ± 0,61a	29,08 ± 0,61a
Hématocrite (mlx100 ml ⁻¹)	55,60 ± 1,40a	55,40 ± 1,40a
Poids du foie (g)	1,92 ± 0,09a	1,66 ± 0,09a

Les lettres identiques placées à côté des chiffres indiquent qu'il n'y a pas de différences significatives ($p < 0,05$) entre les valeurs du même paramètre des lots témoin et essai.

«l'appréciation générale» pour la province d'une part, et le goût et la profession d'autre part. Pour toutes les autres variables dépendantes, il n'y pas de différence significative à l'intérieur de la source.

La figure 4 montre les notations moyennes des «texture» et «appréciation générale» en fonction des origines provinciales des dégustateurs. Il existe une différence significative ($p < 0,05$) pour ces deux variables dépendantes à l'intérieur de la source «province». Parmi ces dégustateurs; 4,5% ont souhaité que la consistance de ce fromage soit augmentée.

De plus, cette analyse statistique a montré que la profession avait un effet sur l'appréciation du goût du fromage. Ainsi, les étudiants ont attribué une note de $2,8 \pm 0,4$; et les employés $3,9 \pm 0,7$; c'est dire que les étudiants apprécient modérément ce fromage alors que les employés ne l'apprécient que peu. La plupart des dégustateurs (61,5%) a souhaité que ce fromage soit sucré et aromatisé (43,75%). De plus, certains (3,75%) ont décelé une amertume dans le fromage; celle-ci proviendrait des mésocarpes.

Discussion

L'étude de la coagulation du lait provoquée par différents extraits du fruit de *Balanites aegyptiaca* a montré qu'un agent coagulant peut diffuser à partir du mésocarpe du fruit et non de l'épicarpe. Puisque les temps de coagulation du lait varient avec les concentrations de mésocarpe dans les solutions mises à macérer, il est probable que cet agent soit de nature enzymatique.

L'extrait de ce mésocarpe a un pH d'environ 5,0 ($\text{pH} = 5,0 \pm 0,2$); cette acidité entre bien dans la fourchette de pH 4,5 à 5,5 prônée par Gorreta (9). Sa charge microbienne est relativement importante puisque l'extrait coagulant ne devrait contenir ni germes aérobies mésophiles, ni coliformes (9). Une contamination d'origine extérieure peut donc être mise en cause. En effet, l'épicarpe est mince et

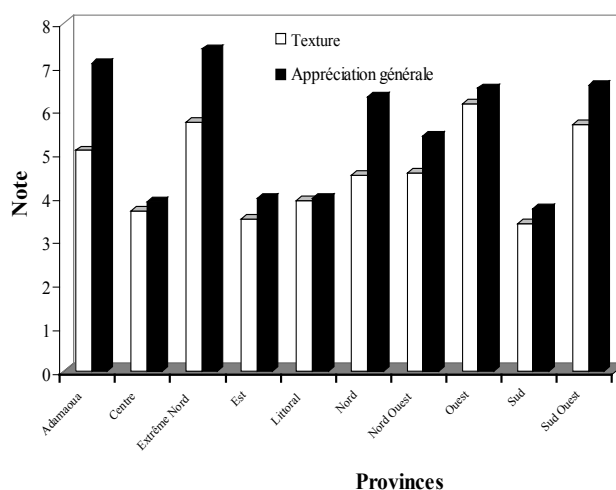


Figure 4: Appréciation des fromages selon les origines provinciales des dégustateurs.

dur mais peut se rompre au cours de la cueillette et du transport des fruits, laissant ainsi s'infiltrer des germes de contamination dans le mésocarpe. Une attention particulière devrait être portée sur la sélection des fruits devant servir de matière première pour la fabrication des extraits coagulants. Une étape d'assainissement pourrait être incorporée dans le procédé de fabrication. Elle consisterait à baisser pendant quelques instants le pH de l'extrait à des valeurs acides (pH 2) puis à le remonter à la valeur initiale comme cela est fait pour la présure (1). Cependant, l'extrait ne présente pas de germes sulfito-réducteurs, ainsi il n'y a pas de risque pour que le fromage présente des trous dus à la production de CO_2 .

Cependant, ni la charge microbienne, ni le milieu relativement acide de l'extrait ne suffisent à expliquer la coagulation du lait en des temps relativement courts (2 à 3 min). Puisque le mésocarpe contient la substance qu'il faudrait économiser, la meilleure combinaison est de laisser macérer 50 g de mésocarpe dans 100 ml d'eau à 4 °C entre 9 h et 12 h. Dans ces conditions, l'extrait de mésocarpe des

fruits de *B. aegyptiaca* obtenu a une force de 1/200. Cette force s'intègre dans le cas général des extraits coagulants d'origine végétale qui ont très souvent une faible activité coagulante par rapport à la présure (23, 31).

La teneur en protides de l'ensemble de la graine est de 0,32 g à 0,37 g.g⁻¹ (4, 28). Cette forte teneur en protide a fait penser à la préparation des concentrés protéiques (28). Le mésocarpe est riche en protéines (9,2%). Certaines de ces protéines ont une activité anthelmintique (16). D'autres auraient une activité protéasique. Par électrophorèse en gel de polyacrylamide en présence de SDS, cinq bandes (A, B, C, D et E) sont visualisées. Elles correspondent respectivement à des protéines de masses moléculaires 90, 44, 42, 27 et 22 kg.mole⁻¹. Il est à noter que la protéine E présente une migration différente en présence de β mercaptoéthanol, migration correspondant à sa masse réelle de 30 kg.mole⁻¹. Il est probable qu'elle contienne de nombreux ponts disulfure qui perturberaient sa migration en milieu non réducteur. Les protéines B, C, D et E est pondéralement plus importantes alors protéine A est en faible quantité.

L'utilisation des extraits de mésocarpe de *B. aegyptiaca* donne des rendements en fromagerie plus faibles que la présure. Cette particularité est bien connue pour les extraits coagulants d'origine végétale (8, 23). Elle est due à la protéolyse plus poussée des caséines avec des pertes de matière sèche dans le lactosérum.

Il n'y pas eu de retard de croissance des souris, pas de nécrose ni d'hypertrophie des foies et pas de modification des fonctions hématopoïétiques même chez les souris nourries avec 10 doses de mésocarpe (ce qui correspondrait à la consommation de 5 kg de fromage par jour par un homme de 70 kg pendant 45 jours). L'effet antinutritionnel des sapogénines rencontrées dans les mésocarpes (13) est minimisé par le facteur de dilution. En effet, compte tenu de «l'emprésurage» (200 ml d'extrait par l de lait) du volume du lactosérum et de la masse du fromage, la quantité résiduelle de l'extrait de *B. aegyptiaca* dans le fromage est moins de 2,8 ppm. On peut conclure à la non toxicité des extraits de *B. aegyptiaca* incorporé dans le fromage. Ceci est conforté par une observation banale: par les populations locales qui

consomment couramment des pulpes des fruits de *B. aegyptiaca*, appelés également «date du désert» (21). Les résultats de l'analyse sensorielle ont montré qu'il n'y pas de différence significative à l'intérieur des sources (séjour hors province, hors pays,...etc) alors que l'on s'attendait à ce que les voyages aient un effet sur les habitudes alimentaires et que les filles aient un sens gustatif plus développé que les garçons. Par contre, la profession (étudiants ou fonctionnaires) a une influence sur l'appréciation du goût du fromage. Les notes relativement faibles attribuées par les étudiants (3, déteste modérément) puis les fonctionnaires (4, déteste peu) peuvent s'expliquer par l'absence du sucre et d'arôme dans les fromages. Quant à l'incidence des origines provinciales, globalement les notations se classent en deux groupes. Le premier groupe correspond aux dégustateurs provenant des provinces du centre, de l'est, du littoral et du sud: ils ont donné des notes de 3 et 4 respectivement pour la «texture» et «l'appréciation générale» indiquant par là qu'ils ont détesté peu ou modérément les fromages; il s'agit des populations vivant dans la forêt tropicale où l'élevage bovin est quasi inexistant tout comme la consommation des produits laitiers locaux. Ensuite le deuxième groupe est formé des dégustateurs des provinces de l'Adamaoua de l'extrême nord de l'ouest et du sud ouest: ils ont attribué des notes variables entre 5 et 7 pour la «texture» et «l'appréciation générale» indiquant ainsi qu'ils ont aimé le produit. Il s'agit des populations provenant des zones d'élevage bovin et où la consommation des produits laitiers est courante.

Il semble donc que l'extrait de mésocarpe des fruits de *Balanites aegyptiaca* puisse être utilisé comme agent coagulant en vue de fabriquer des fromages sans effet toxique sur la santé. Cependant des améliorations de l'aromatisation des fromages ainsi que de leur texture sont encore nécessaires avant leur commercialisation.

Des essais de purification de l'agent coagulant, en vue de sa caractérisation physico-chimique, sont actuellement en cours.

Remerciements

Les auteurs remercient Dr. M.D. Achukwi et Mme N.H. Fukamchwi pour l'analyse à l'hématocrite et R. Golsia pour l'assistance dans le traitement des souris.

Références bibliographiques

1. Anifantakis E. & Green M.L., 1980, Preparation and properties of rennets from lamb's and kid's abomasa. J. Dairy Res. 47, 221-230.
2. Berridge N.J., 1952, An improved method of observing the clotting of milk containing rennin. J. Dairy Res. 19, 328-329.
3. El Khindar O.A., Gumaa A.Y., Fangali O.A.I. & Badir N.A., 1983, The use of *Balanites* kernel cake in a diet for fattening sheep. Anim. Feed Sci. Technol. 9, 301-306.
4. Church F.C., Swaisgood H.E., Porter D.H. & Catignani G.L., 1983, Spectrophotometric assay using o-phthalaldehyde for determination of proteolysis in milk and isolated milk proteins. J. Dairy Sci. 66, 1219-1227.
5. Cook J.A., Vander Jagdt D.J., Pastuszyn A., Mounkaila G., Glew R.S. & Glew R.H., 1998, Nutrient content of two indigenous plant foods of the western Sahel: *Balanites aegyptiaca* and *Maerua crassifolia*. J. Food Comp. Anal. 11, 221-230.
6. Cordeiro M.C., Pais M., Salome & Brodelius P.E., 1994, Tissue specific expression of multiple forms of cyprosin (aspartic proteinase) in flowers of *Cynara cardunculus*. Physiologia-Plantarum, 92, 645-653.
7. Dupriez H. & Leener P., 1987, Jardins et vergers d'Afrique, Editions Harmattan, Paris, France.
8. Ernstrom C.A. & Wongt N.P., 1983, Milk clotting enzymes and cheese chemistry. In: Webb B.H., Johnson A.H., Alford J.A. (Eds) Fundamentals of Dairy Chemistry, Westport, USA, pp. 662-771.
9. Gorreta L.J., 1980, Coalho e coagulantes. Revista do Instituto de

- lactinós Cândido Tostes, 35, 17-21.
10. Guiraud J. & Galzy P., 1980, L'analyse microbiologique dans les industries alimentaires. Collection Génie alimentaire, L'Usine Nouvelle (Ed.), Paris, France.
 11. Hall J.B., 1992, Ecology of a key African multipurpose tree species, *Balanites aegyptiaca* (Balanitaceae): the state-of-knowledge. Forest Ecol. Manag. 50, 1-30.
 12. Hamilton J.G. & El Naiem D.A., 2000, Sugars in the gut of the sandfly *Phlebotomus orientalis* from Dinder National Park, Eastern Sudan. Med. Vet. Entomol. 14, 64-70.
 13. Hardman R. & Sofowora E.A., 1971, Effect of enzymes on the yield of steroidal sapogenin from the epicarp and mesocarp of *B. aegyptiaca* fruit. Planta Med. 20, 124-130.
 14. Heimgartner U., Pietrzak M., Geersten R., Brodelius P., da Silva Figueiredo A.C. & Pais M.S.S., 1990, Purification and partial characterization of milk clotting proteases from flowers of *Cynara cardunculus*. Phytochemistry, 29, 1405-1410.
 15. Hurault J., 1975, Surpâturage et transformation du milieu physique. Formation végétales, hydrologie de surface, géomorphologie, l'exemple des hauts plateaux de l'Adamaoua (Cameroun), Institut Géographique National, Paris, France.
 16. Kamel M.S. & Koskinen A., 1995, Pregnane glycosides from fruits of *B. aegyptiaca*. Phytochemistry, 40, 1773-1775.
 17. Koko W.S., Galal M. & Khalid H.S., 2000, Fasciolicidal efficacy of *Albizia anthelmintica* and *B. aegyptiaca* compared with albendazole. J. Ethnopharmacol. 71, 247-252.
 18. Koko W.S., Abdalla H.S., Galal M. & Khalid H.S., 2005, Evaluation of oral therapy on Mansonial Schistosomiasis using single dose of *Balanites aegyptiaca* fruits and praziquantel. Fitoterapia, 76, 30-34.
 19. Köster E.P., 1990, Les épreuves hédoniques, in: Technique et Documentation Lavoisier (Ed.). Evaluation sensorielle. Manuel méthodologique, Paris, France.
 20. Laemmli U.K., 1970, Cleavage of structural proteins during the assembly of the head of bacteriophage T4. Nature, 227, 680-685.
 21. Letouzey R., 1968, Les botanistes au Cameroun Tome 7 in: Flore du Cameroun. Aubreville A. Muséum National d'Histoire Naturelle Laboratoire de Phanérogamie, Paris.
 22. Libouga D.G., Jiwoua Ngounou C.N. & Kouebou C.P., 2001, Etude du lait de zébu (*Bos indicus*) obtenu à N'Gaoundéré (Adamaoua, nord Cameroun). J. Cameroon Acad. Sci. 1, 14-19.
 23. Libouga D.G., Women H.M. & Mbofung C.M.F., 2004, A milk clotting agent from the bark of *Ongokea gore* tree. Trop. Sci. 44, 101-104.
 24. Libouga D.G., Essia Ngang J.J. & Halilou H., 2005, Qualités de quelques laits fermentés camerounais. Sci. Aliment, 25, 53-66.
 25. Llorente B.E., Brutti C.B. & Caffini N.O., 2004, Purification and characterization of a milk clotting aspartic proteinase from globe artichoke (*Cynara scolymus* L.). J. Agric. Food Chem. 52, 8182-8189.
 26. Lopes A., Teixeira G., Liberato M.C., Pais M.S. & Clemente A., 1998, New vegetal sources of milk clotting enzyme. J. Mol. Catal. B-Enzym. 5, 63-68.
 27. Mohamed A.M., Wolf W. & Spiess W.E., 2000, Recovery and characterization of *B. aegyptiaca* Del. kernel proteins. Effect of defatting, air classification, wet sieving and aqueous ethanol treatment on solubility, digestibility, amino acid composition and sapogenin content. Nahrung, 44, 7-12.
 28. Mohamed A.M., Wolf W. & Spiess W.E., 2002, Physical, morphological and chemical characteristics, oil recovery and fatty acid composition of *B. aegyptiaca* Del. Kernels. Plant Food Hum. Nutr. 57, 179-189.
 29. Otani H., Iwagaki M. & Hosono A., 1991, The screening of trees having milk clotting activity, Anim. Sci. Technol. 62, 417-423.
 30. Otani H., Matsumori M. & Hosono A., 1991, Purification and some properties of a milk clotting protease from the young seeds of *Albizia julibrissin*, Anim. Sci. Technol. 62, 424-432.
 31. Parry R.M. Jr, 1983, Milk coagulation and protein denaturation pp. 662-771. In: Webb B.H., Johnson A.H., Alford J.A. (Eds), Fundamentals of Dairy Chemistry, Westport, USA.
 32. Recueil des normes françaises, 1980, Lait et produits laitiers. Méthodes d'analyse, Afnor (Ed.), Paris, France.
 33. Sarath G., De La Motte R. & Wagner F.W., 1989, Protease assay methods pp. 25-55. In: Beynon R.J. and Bond J.S. (Eds) Proteolytic enzymes: a practical approach, Oxford University Press UK.
 34. SAS Statistical Analysis Systems, 1991, Guide for personal computer. Vers. 603 Cary, NC, USA Institute Inc.
 35. Tamer I.M., 1993, Identification and partial purification of a novel milk clotting enzyme from *Onopordum turcicum*. Biotechnol. Lett. 15, 427-432.
 36. Uchikoba T. & Kaneda M., 1996, Milk clotting activity of cucumisin, a plant serine protease from melon fruit. Appl. Biochem. Biotechnol. 56, 325-330.
 37. Yousif B.H., McMahon D.J. & Shammet K.M., 1996, Milk clotting enzyme from *Solanum dobium* plant. Int. Dairy J. 20, 637-644.

D. Libouga, Camerounais, DESS de laiterie, Doctorat 3^{ème} Cycle à l'Institut National Polytechnique de Lorraine, Doctorat Nouveau Régime à l'Institut National de la Recherche Agronomique. B.P. 281, N'Gaoundéré, Cameroun.

Dominique Vercaigne-Marko, Française, Thèse d'Etat ès Sciences Naturelles, Option Chimie, Professeur de Biochimie à l'IUT «A» de Lille 1, Laboratoire de Technologies des Substances Naturelles, BP 179, F-59653, Villeneuve d'Ascq, Cedex- France.

Sana Longa Djangal, Camerounaise, Maîtrise en Biologie, Faculté des Sciences, Université de Ngaoundéré, BP 455, Ngaoundéré, Cameroun.

Choukambou Iliassou, Camerounaise, Maîtrise en Biologie, Faculté des Sciences, Université de Ngaoundéré, BP 455, Ngaoundéré, Cameroun.

A.L. Ebang, Camerounais, B.Sc., Maîtrise, M.Sc., Ph.D. Animal Breeding and Genetics, Maître de Recherche (IRAD).

M. Ombionyo, Camerounais, Licence, Maîtrise, D.E.A., M.Sc., Ph.D. (Zootechnie).

R.G. Beka, Camerounais, Maîtrise de Biologie option zoologie, ENSAI de l'Université de Ngaoundéré, BP 455, Ngaoundéré, Cameroun.

D. Guillochon, Français, Maîtrise de Biochimie, DEA de Chimie Organique Structurale, Directeur du Laboratoire de Technologie des Sciences Naturelles, Université des Sciences et Technologies de Lille, Phyttech'Lille (Aile CIAAL); Boulevard Paul Langevin, Cité Scientifique, 59655 F-Villeneuve d'Ascq, Cedex- France.

Analyse économique de la production de purée de tomate à petite échelle au Bénin

J. Dossou¹, I. Soulé^{2*} & Marcelline Montcho³

Keywords: Tomato paste- Small scale production- Economic study- Break-even point- Benin

Résumé

L'analyse économique de la production de purée de tomate a été effectuée pour deux localités (Kétou et Dogbo) de forte production de tomate au Bénin. Sur la base d'une capacité de transformation de 10 T de tomate par an et d'un rendement de 20,69% de purée à 13% de matière sèche soluble, le coût de production de 275 g de poids net de purée est estimé à 204,87 F à Kétou. Vendus à 250 F (prix aux producteurs, soit 295 F pour le prix aux consommateurs), la marge nette bénéficiaire est égale à 15,54% pour l'unité de Kétou. Le seuil de rentabilité dans cette unité est estimé à 471,08 kg de purée ou 2,28 T de tomate fraîche. Par contre à Dogbo où le coût de production est plus élevé (218,34 F) la marge nette s'est réduite à 8,4% et le seuil de rentabilité équivaut à 683,65 kg de purée, soit 3,3 T de tomate fraîche. En somme, dans les conditions d'une gestion saine, les résultats d'exploitation de ces unités sont positifs dès la première année de production. L'optimisation de la source d'énergie utilisée pour la déshydratation de jus de tomate à petite échelle permettra de rendre plus intéressante la production de purée de tomate à petite échelle au Bénin.

Summary

Economic Study of Small Scale Tomato Paste Production in Benin

Economic study of tomato paste was performed for two localities (Ketou and Dogbo) of high production of tomato in Benin. For a plant capacity of 10 tons of raw tomatoes per year, with tomato juice concentrated at 13% Natural Tomato Soluble Solids (NTSS) and 20.69% of material balance, the production cost of a glass-jar of 275 g (net weight) is 204.87 F and the profitability at 15.54% at Ketou. In this locality, the break-even point is estimated at 471.08 kg of paste or 2.28 T of fresh tomato. On the other hand, at Dogbo where the production cost was higher (218.34 F), the profitability is estimated at 8.4% and the break-even point at 683.65 kg of paste or 3.3 T of fresh tomato. In conditions of good management, the two units are profitable from the first year. Optimisation of energy use in dehydration of tomato juice will enhance interest in small scale tomato paste production in Benin.

Introduction

La tomate, *Lycopersicon esculentum* Mill. est une plante très importante pour l'économie de bon nombre de pays de par l'intervention de son fruit dans beaucoup de mets quotidiens.

La production mondiale de la tomate est évaluée à 90,360 millions de tonnes en 1999, les plus grands producteurs étant dans l'ordre croissant, les USA, l'Italie, le Mexique, l'Egypte et le Brésil (8). Bien que la part de l'Afrique estimée à 25% demeure marginale (8), les niveaux de production de certains pays africains n'en demeurent pas moins importants. Un pays comme l'Egypte fournit plus de la moitié de la production africaine et dépasse même l'Italie (8).

Au Bénin, la production nationale a connu une hausse moyenne de près de 5.000 T/an entre 1990 et 2000. Malheureusement ce potentiel de production n'est pas valorisé conséquemment, ce qui entraîne des pertes considérables chaque année et une forte fluctuation des prix aux producteurs. Il est difficile d'estimer les pertes de production dans les pays en développement, mais il est indiqué que parfois, la moitié des tomates

cultivées est perdue (7). Au Nigeria, plus de 50% de tomate transportée de la zone de production, Kano, au marché principal, Ibadan, sont affectées (1). Au Bénin, les pertes de production, atteignent 50 à 80% des récoltes (5). A côté de cela, des milliers de tonnes de produits dérivés de tomate sont importés chaque année (10). C'est pourquoi la transformation de tomate et une bonne conservation du produit transformé peuvent être aujourd'hui perçues comme un moyen pour réduire les pertes post-récolte.

Des travaux antérieurs ont justifié la faisabilité technique de la production, à petite échelle, de purée de tomates locales (4, 5, 6, 11). Il reste à étudier la viabilité économique des unités de production utilisant cette technologie. C'est pourquoi la présente étude a été réalisée. Elle évalue l'évolution de la production de tomate et restitue les résultats d'exploitation de deux unités pilotes de production de purée de tomate implantées à Kétou et à Dogbo.

¹Université d'Abomey-Calavi, 01 BP. 526, Cotonou, Rép. du Bénin.

²Faculté des Sciences Agronomiques de l'Université d'Abomey-Calavi, 01 BP. 363, MICPE/DPME, Cotonou, Rép. du Bénin.

³Programme de Technologie Agricole et Alimentaires, Tel (229) 20214160.

Reçu le 23.11.04 et accepté pour publication le 27.10.05.

Matériels et méthodes

Les données ont été collectées à cinq niveaux à savoir: la Direction de la Promotion de la Qualité et du Conditionnement des produits agricoles (DPQC) pour celles relatives aux prix de vente de tomate fraîche, la Direction de la Programmation et de la Prospective du Ministère de l'Agriculture de l'Elevage et de la Pêche pour celles liées à la production de tomate, les services de statistiques pour les données relatives aux importations, des ménages et supermarchés pour l'estimation du prix de vente admissible de purée de tomate.

Pour la collecte des données d'exploitation, deux unités pilotes de fabrication de purée, installées par le Programme de Technologie Agricole et Agroalimentaire (PTAA) ont été choisies. En effet, les départements de fortes productions de tomate au Bénin sont le Couffo et le Plateau; étant donné que ces deux départements enregistrent des productions presque égales (3), deux localités abritant des unités pilotes ont été retenues à raison d'une unité par département. L'option de deux localités a pour objectif de dégager des éléments d'avantages comparatifs pour chaque département et de déterminer éventuellement celui pour lequel la production de purée serait la plus rentable.

1. Evaluation de la production de tomate

Les données sur l'évolution de la production nationale de tomate ont été exploitées pour caractériser la répartition spatiale de la production et déterminer les zones d'implantation des unités. Les périodes optimales de production et d'écoulement de la purée ont été estimées à partir des histogrammes des prix de tomate fraîche recensés sur les marchés régionaux de Dangbo dans le département de Plateau et d'Azové dans le Couffo. Ces marchés sont représentatifs des localités de Kétou et de Dogbo où les unités pilotes évaluées ont été installées. Les histogrammes ont été construits à partir des données mensuelles des cinq années suivantes: 1993, 1994, 1995, 1999 et 2000. Les années n'ont pas été choisies de façon continue pour le fait que certaines années comportent plusieurs mois sans données.

2. Analyse économique

Des données économiques (coût de la matière première, de la main-d'œuvre, de l'amortissement du matériel (Tableau 7), frais de commercialisation, frais financiers, etc.) ont été collectées pour les deux unités et ont servi à calculer le coût de production, le résultat d'exploitation, la marge nette et le seuil de rentabilité de chaque unité. Les prix sont donnés en FCFA (1 Euro= 655 FCFA). Le coût de la main-d'œuvre a été calculé en considérant 8 heures de travail par jour (1 HJ= 8 h de travail) qui est en moyenne de 1.000 F en milieu rural béninois. La durée des opérations pour la production de purée de tomate étant estimée à 42,3 h, (Tableau 4) pour 100 kg de matière première,

il a été retenu une durée moyenne de 4.230 h pour la transformation de 10 T de tomate fraîche. Ce qui équivaut à $5.230/8 = 528,75$ HJ. Il s'en suit donc un coût de main-d'œuvre estimé à 528.750 F (Tableau 6).

Les frais de commercialisation ont été évalués dans l'hypothèse d'un placement du produit auprès des vendeuses de conserves. Une marge de 5% sera prélevée sur le prix de vente comme c'est le cas pour la vente de jus, de sirop de fruits à Cotonou. Les commissions de vente des 7.523 flacons de purée s'élèvent donc à:

$$7.523 \times 250 \times 5/100 = 94.038 \text{ F.}$$

A cela, s'ajoutent les frais de transport estimés à 5.000 F; ainsi les frais de commercialisation sont évalués à 100.000 F.

Les frais financiers, c'est-à-dire les intérêts sur le capital investi ont été évalués dans l'hypothèse d'un taux d'intérêt annuel de 13% et d'un délai de remboursement du capital de 5 ans. Ils ont été calculés sur 5 ans à 211.223,8 F avec un montant d'échéancier de 145.000 F à Kétou et 253.815,1 F avec un montant d'échéancier de 170.000 F à Dogbo (Tableaux 8 et 9).

Les données techniques des moulins utilisés pour la mouture de tomate ont été mises à notre disposition par le spécialiste en ingénierie mécanique du PTAA et le fournisseur desdits moulins. Les explorations dans les ménages ont été réalisées par une enquête à Godomey et Calavi, deux arrondissements situés dans la banlieue de Cotonou. L'enquête a été menée dans le cadre d'un test monadique ayant porté sur 200 ménages avec l'aide de trois enquêteurs résidant dans lesdits arrondissements. Le test monadique a été exécuté suivant la méthode proposée par Köster (9). Des questionnaires préalablement établis et des échantillons de purée de tomate ont été distribués à chaque ménage qui a accepté de collaborer dans le cadre de l'étude. Lors de leur distribution, les questionnaires ont été expliqués et chaque ménage a disposé de deux semaines pour le remplissage. Ils ont été ensuite dépouillés.

L'analyse économique de la fabrication de purée est réalisée sur la base d'une transformation de 10 t de tomate fraîche par an. Le seuil de rentabilité de l'unité; la production annuelle permettant de compenser les charges, est déterminé comme suit:

$$\text{Coût de production} = \text{charges variables} + \text{amortissement.}$$

3. La production de la purée

Les matériels utilisés sont résumés dans le tableau 1. Le moulin est illustré par la photo. La matière première utilisée est la tomate locale «tounvi» cultivée dans les différentes localités ayant abritées les unités pilotes. Le moût de tomate est produit à partir des fruits triés,



Photo 1: Mouture de tomate dans le moulin ASIKA A11 VIKING.
(Photo M. Montcho).

lavés et épépinés puis moulus. Le moût obtenu est déshydraté jusqu'à une teneur de 13%. La purée obtenue est conditionnée à chaud sans additif dans des flacons de verre préalablement stérilisés. Après conditionnement, le produit est stérilisé dans de l'eau portée à ébullition pendant 15 min.

Tableau 1
Matériels de production de purée de tomate

Opérations	Matériels
Réception	- Bassines, paniers
Lavage	- Bassines et égouttoirs en aluminium - Seaux, éponges
Découpage, épépinage	- Couteaux en aluminium
Tamisage de la gelée	- Egouttoirs en aluminium - Tamis à mailles fines (maille inférieure à 0,5 min)
Mouture	- Moulin ASIKA A 11 VIKING et ses accessoires - Bâton d'alimentation de la chambre de mouture du moulin
Désydratation	- Marmites à fond large en fonte, capacité 20 l, diamètre supérieur 44 cm, diamètre inférieur 36 cm, hauteur 16,5 cm et poids 3 à 4 kg - Louches en fonte
Emballage en flacon	- Flacons de verre de 25 ml - Louche, entonnoirs plastiques - Tabouret ou table - Linge propre pour essuyer au besoin l'extrémité des flacons après remplissage
Stérilisation	- Marmite géante avec couvercle - Panier
Etiquetage et stockage	- Pot de colle, ciseaux - Carton d'entreposage

Résultats et discussion

1. Evolution de la production et des importations de tomate

La production nationale de tomate est passée de 93.380 T à 141.815 T de 1994 à 2003. La figure 2 illustre bien cette tendance globalement croissante de cette culture, malgré l'évolution en dents de scie. Cependant, à l'instar de toute l'Afrique, le rendement de 5,2 T/ha n'est point satisfaisant. La répartition spatiale de cette production, laisse apparaître que les départements du Mono-Couffo et de l'Ouémé-Plateau enregistrent les plus grandes performances, soit 56% de la production nationale ce qui explique le choix des unités pilotes de fabrication de purée, à Kétou dans le département du Plateau et à Dogbo dans le Couffo.

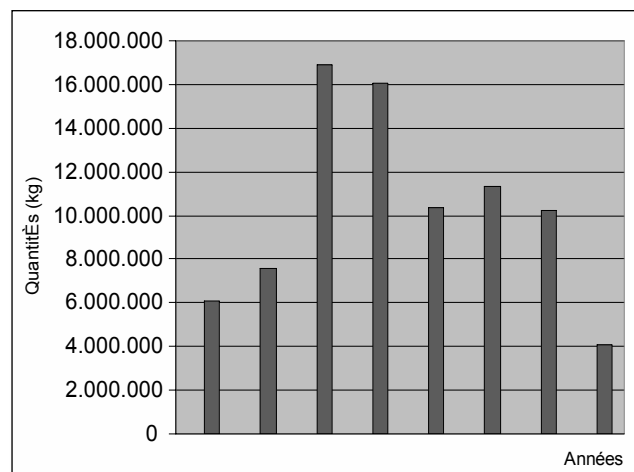


Figure 1: Evolution des importations des produits dérivés de tomate au Bénin de 1992 à 2003.

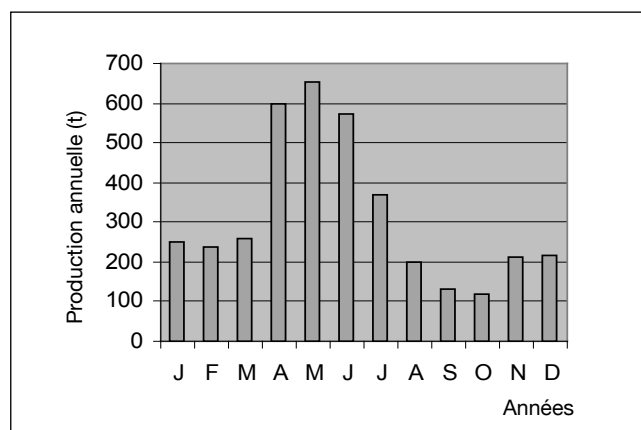


Figure 2: Evolution de la production annuelle de tomate au Bénin de 1990 à 2003.

Le tableau 2 récapitule la répartition de la production de tomate dans ces deux localités entre 1995 et 2001 (2, 3). D'autre part, les importations massives des dérivés de tomates comme illustrées par la figure 1 pèsent lourdement sur le budget déjà déficitaire du pays. Malgré cette augmentation progressive de la production nationale, l'importation des dérivés de tomate ne cesse de croître.

De 5.000 T environ en 1996, elle a avoisiné 20.000 T en 2002, et correspond à une sortie de devises de 2 à 8 milliards (10). Ces importations s'expliquent en grande partie par la production saisonnière de la tomate locale et la non disposition sur une longue période de ses produits dérivés.

2. Commercialisation de la tomate

D'après le circuit de commercialisation résumé par la figure 3 (14), les fruits sont vendus par les producteurs aux consommateurs en passant par de nombreux intermédiaires. Dans ce circuit, les revendeuses occupent une position charnière, entre les grossistes et les détaillants et fixent les prix et les font respecter. Les prix varient en fonction de l'offre, dans le temps puis selon les localités et cette fluctuation des prix est souvent entretenue au détriment des producteurs. Le rapport entre les prix maximum et minimum de l'année est estimé à 5 (14), mais il peut varier de 6 à 25 voire 30 (3, 14, 16).

Les prix mensuels ont fortement varié au sud du Bénin d'une localité à l'autre en 2000 (Tableau 3) (3). Ces fluctuations des prix entraînent le découragement

Tableau 2
Production de tomate des communes de Dogbo et de Kétou

Localité	Réalisation en tonne					
	1995-1996	1996-1997	1997-1998	1998-1999	1999-2000	2000-2001
Dogbo	184	2.082	2.191	2.100	3.520	4.296
Kétou	804	614	1.664	863	1.487	2.007

Source: DPP/MAEP (2003).

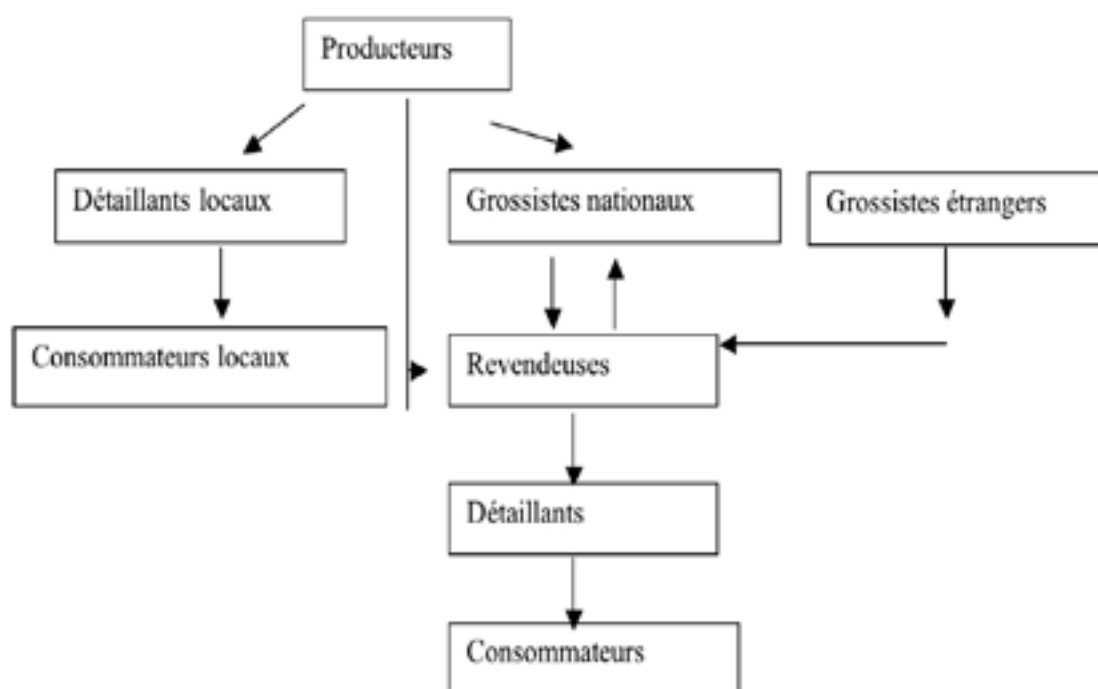


Figure 3: Circuit de commercialisation de la tomate fraîche au Bénin.
Source: Sossa (14).

Tableau 3
Prix moyen mensuel du kg de tomate fraîche sur quelques marchés du Bénin en 2000

Marchés	Djakotomey		Azové		Kétou (Assena)		Adja-Ouèrè (Mowodani)		Toffo (Sèhouè)		Kpomassè	
Prix												
Maximum	90	août	145	juin	800	avril	500	déc.	200	janv	500	déc.
Minimum	25	oct.	15	oct.	45	sept	50	sept.	65	déc	170	sept

Source: DPQC.

des producteurs qui abandonnent leurs champs à la pourriture (16).

3. Période optimale de production de purée de tomate

La transformation de tomate est une activité saisonnière. Moresi et Liverotti évoquent des unités fonctionnant 40 jours/an avec une campagne qui peut durer 4 mois (13). La transformation doit coïncider avec la période de pointe où les prix de la matière première sont très bas. Au Bénin, non seulement les prix sont très bas pendant cette période mais, la demande est faible par rapport à l'offre. Le ravitaillement en matière première serait donc très aisé pendant cette période. Les prix aux producteurs varient de 300 F à 1.500 F par bassine de 25 kg de tomate à Dogbo et Kétou (15). Les figures 4 et 5 traduisent l'évolution des moyennes mensuelles des prix au producteur, enregistrés sur 5 ans, sur les marchés d'Azové et de Dangbo. Ces figures présentent une cuvette accentuée dans la période d'août à octobre. Ceci suppose que cette période est la plus propice pour la transformation de tomate en purée. C'est ce qu'indiquent aussi les rapports de Monhouanou *et al.* (11). Les pics des figures se situent entre mai et juin et correspondent aux moments les plus favorables pour l'écoulement des purées.

4. Analyse économique de la production de purée

Coûts des matières premières

Le prix d'achat considéré pour la tomate fraîche

équivalait au prix moyen de la période d'abondance, soit 525 F et 600 F par bassine de 25 kg respectivement à Kétou et à Dogbo. Les 10 T de tomate ont été estimés 262.500 et 285.000 dont 52.000 F et 45.000 F pour les frais de transport respectivement à Kétou et à Dogbo. L'eau utilisée a coûté à Kétou 26.200 F, à raison de 25 F/bassine de 30 dm³ et 16.720 F à Dogbo (15 F/bassine de 30 dm³).

Bilan de matière et bilan horaire des opérations

Le bilan horaire montre qu'il faut en moyenne 42 h 18 min/personne pour traiter 100 kg de tomate, soit à 5,2875 h/j. (Tableau 4). La préparation de purée de tomate est donc une activité exigeante en main-d'œuvre. L'opération groupée découpage/épépinage est la plus longue et occupe près de 62,4% de la durée des opérations. L'optimisation de la production de purée doit donc miser sur une mécanisation de cette opération. Le bilan de matière donne un rendement en purée de 20,69% et concorde avec celui de Montcho et Ahouansou (12).

Estimation de la production annuelle de purée de tomate

Sur la base d'un rendement de 20,69%, les 10 T de tomate fraîche donneront environ 2.069 kg de purée. Le poids net moyen d'un flacon de purée de 13% de matière sèche soluble est estimé à 275 g soit une moyenne 7.523 flacons. Mais il est prévu l'achat de 7.600 flacons en supposant un taux de casse de 1%. Un flacon de purée de 275 g est vendu à 250

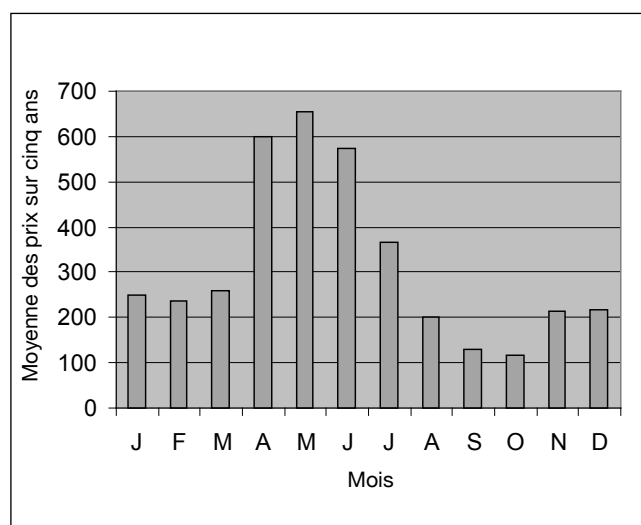


Figure 4: Evolution des prix/kg mensuels de tomate fraîche à Dangbo.

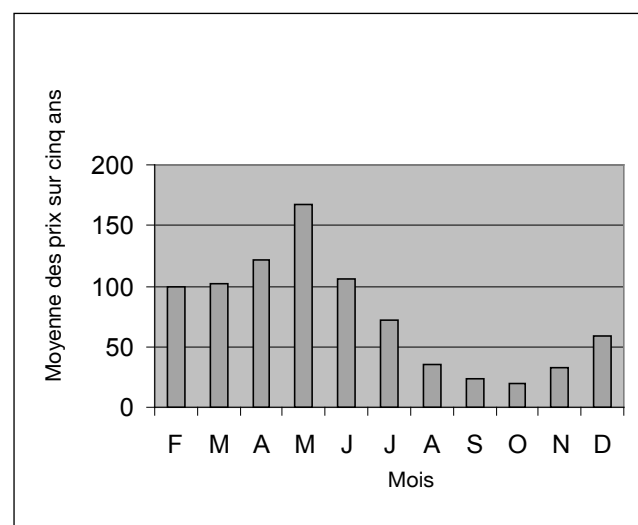


Figure 5 : Evolution des prix/kg mensuels de tomate fraîche à Azové.

Tableau 4
Bilan de matière et durée des opérations de fabrication de purée à petite échelle

Opérations	Durée des opérations pour 100 kg de tomates	Produits obtenus	Bilan de matière (kg)
Triage	2 h 16 min	Tomate fraîche	100
Lavage	1 h 17 min	Tomate triée	84,93
Découpage, épépinage	26 h 24 min	Pulpe de tomate	56,3
Tamissage de gelée	28 min	Gelée de tomate	15,97
		Pépins	12,27
Mouture	24 min	Moût (gelée + pulpe moulue)	69,73
Déshydratation	10 h 13 min	Purée de tomate	20,69
Emballage en flacon	1 h 16 min	Purée de tomate en flacon	206,9 g de purée

F, soit 0,9 F par gramme de purée contre 1,28 F/g de concentré de tomate importé (15); les recettes moyennes annuelles s'élèveront à 1.880.750 F.

5. Analyse de la rentabilité économique à Kétou

Coût de production de la purée de tomate

La quantité de purée produite par an est de 7.523 flacons. La valeur de l'amortissement des matériels est calculée dans le tableau 5. Le coût d'opération (Tableau 6) s'élève à 1.470.645 F. Le coût de production des 7.523 flacons de purée de tomate revient donc à: $70.600 + 1.470.645 = 1.541.245$ FCFA.; soit 204,87 F /flacon. Si le flacon est vendu à 250 F, (prix hors TVA soit $250 \times 1,18 = 295$ FCFA pour le prix aux consommateurs) la marge brute est de 45,13 FCFA, soit 22,03% par flacon. Les frais de commercialisation étant de 100.000 F soit 13,3 F/flacon, la marge nette revient à 31,83 F; soit 15,54%. A la fin de la 1^{ère} année, le cash-flow est estimé à 239.505 F; l'unité tire déjà profit de sa production. A la fin de la 3^{ème} année, le cash-flow de 1.510.716 attendu, est supérieur à la valeur des investissements.

Seuil de rentabilité dans l'unité de Kétou

Les charges variables pour une production de 7.523 flacons s'élèvent à 1.570.645 F soit $1.570.645 / 7.523 = 208,78$ y pour y flacons (Tableau 6). Le prix de vente d'un flacon de purée étant de 250 F, on aura: $208,78 y + 70.600 = 250 y$; $y = 1.712,76$ (1.713 flacons); soit 471,08 kg de purée ou 2,28 T de tomate fraîche. Donc, pour que cette unité puisse couvrir ses charges de production, elle doit livrer au moins 1.717 flacons par

an de purée de tomate à 250 F l'unité ou transformer 2,28 T de tomate fraîche.

6. Analyse de la rentabilité économique à Dogbo

Coût de production de la purée de tomate

Une analyse semblable à celle de Kétou donne pour Dogbo un coût de production totale de 1.642.575 F dont 78.700 F comme valeur de l'amortissement du matériel et 1.563.875 F comme coût d'opération. Ici le coût du bois utilisé, estimé à 114.000 F (contre 60.800 à Kétou), a fortement influencé le coût de production et réduit la marge brute. Le coût de production du flacon de purée est alors de 218,34 F. Puisque le flacon de purée est vendu à 250 F, la marge brute est de 31,66 FCFA soit 14,5%. La marge nette est de 18,36 F soit 8,4%. A la fin de la 1^{ère} année, le cash-flow est de 138.205 F. Donc l'unité de production commence déjà par tirer profit de l'activité. A la fin de la 3^{ème} année, le cash-flow (1.378.515 F) est supérieur à la valeur résiduelle des investissements. Donc déjà, l'unité sera en mesure de rembourser tous ses investissements dès la 3^{ème} année.

Seuil de rentabilité dans l'unité de Dogbo

Avec le même raisonnement que précédemment, le seuil de rentabilité de l'unité est de 2.485,78 (2.486 flacons) soit 683,65 kg de purée ou 3,3 T de tomate fraîche. Donc, pour que l'unité recouvre ses charges de production, elle doit livrer par an au moins 2.486 flacons de purée de tomate à 250 F l'unité soit une transformation de 3,3 T de tomate fraîche.

Tableau 5
Valeur de l'amortissement annuel du matériel à Kétou

Nature de l'investissement	Valeur de l'investissement (FCFA)	Durée d'amortissement (ans)	Valeur annuelle d'amortissement (FCFA)
Moulin + accessoires	298.000	10	29.800
Petit matériel de production de purée de tomate	187.000	5	37.400
Magasin (Murette)	17.000	5	3.400
TOTAL	502.000	-	70.600

Tableau 6
Coût d'opération

Désignation	Coût d'opération (FCFA)	
	Kétou	Dogbo
Flacons vides (7.600 unités)	380.000	380.000
Tomate	262.500	285 000
Pièces de rechange	14.000	14.000
Carburant et huile d'entretien	19.175	19.175
Main-d'œuvre	528.750	528.750
Eau	26.220	16.750
Savon	1.200	1.200
Déplacement et autres prestations	20.000	20.000
Echéancier de remboursement	143.000	170 000
Etiquettes, encre, dateurs, pot de colle	15.000	15.000
Bois	60.800	114.000
Coût d'opération	1.470.645	1.563.875
Frais de commercialisation	100.000	100.000
Total charges variables	1.570.645	1.663.875

Tableau 7
Valeur de l'amortissement annuel du matériel à Dogbo

Nature de l'investissement	Valeur de l'investissement (FCFA)	Durée d'amortissement (ans)	Valeur annuelle de l'amortissement (FCFA)
Moulin + accessoires	298.000	10	29.800
Petit matériel	187.000	5	37.400
Magasin	115.000	10	11.500
Total	600.000		78.700

Tableau 8
Frais financiers du capital investi à Kétou

Années	Valeur de l'échéancier (FCFA)	Intérêt (13%)	Principal	Somme due (FCFA)
0				502.000
1	143.000	65.260	77.740	424.260
2	143.000	55.153,8	87.846,2	336.413,8
3	143.000	43.733,8	99.266,2	237.147,6
4	143.000	30.829,2	112.170,8	124.976,8
5	141.224	16.247	0	0
Intérêts sur investissement		211.223,8		

Tableau 9
Frais financiers du capital investi à Dogbo

Années	Valeur de l'échéancier (FCFA)	Intérêt (13%)	Principal	Somme due (FCFA)
0				600.000
1	170.000	78.000	92.000	508.000
2	170.000	66.040	103.960	404.040
3	170.000	52.525,2	117.474,8	286.565,2
4	170.000	37.253,5	132.746,5	153.818,7
5	173.815	19.996,4	0	0
Intérêts sur investissement		253.815,1		

Conclusion

La transformation de tomate en purée a été expérimentée dans le cadre de la présente étude pour réduire les pertes post-récolte et valoriser davantage cette culture.

Les histogrammes réalisés sur la production nationale

indiquent que la tomate est disponible dans les localités choisies (Dogbo et Kétou au sud du Bénin) et en particulier dans la période d'abondance d'août à octobre. L'analyse économique effectuée révèle que la production de purée est rentable dans ces unités

de petite échelle, avec une marge nette de 15,54% à Kétou et de 8,4% à Dogbo. Cette variation est surtout due aux coûts de la tomate fraîche et du bois. Ceci suppose que l'optimisation de la production de purée doit tenir compte de ces facteurs, en particulier de l'incidence du coût du bois. Des sources alternatives

d'énergie, telle que le biogaz, pourraient être expérimentées pour réduire l'incidence du coût du bois sur le coût de production de la purée et limiter les conséquences néfastes de l'utilisation de ce type de combustible sur l'environnement.

Références bibliographiques

1. Aworh O.C., Akluemonkian & Olorunda A.O., 1982, Reducing wastage of tomatoes in Nigeria: quality attributes of canned tomato juice from low grade fruits. *Nigerian Journal of Nutritional Sciences*, **3**, 1, 41-45.
 2. DAPS/MDR, 1994, Filière tomate, document provisoire. Cotonou, République du Bénin. 13 p.
 3. DPP/MAEP, 2004, Annuaire statistique, campagne agricole 2002-2003, 2002, 25 p (sans annexe).
 4. Dandjinou E.P. & Okana G.C.D., 2000, Implantation d'une unité semi-artisanale de production de purée de tomate: aptitude des variétés de tomate locale cultivée au Bénin à la transformation en purée. Mémoire projet de DEAT, option production végétale. Lycée Agricole Médji de Sékou, République du Bénin. 50 p.
 5. Fagbohoun O. & Kiki D., 1999, Guide pratique: techniques artisanales de fabrication de purée de tomate. Imprimerie Cartographique du CENAP, INRAB/MDR. République du Bénin. 62 p.
 6. Fagbohoun O. & Kiki D., 1999, Aperçu sur les principales variétés de tomate locale cultivées dans le sud du Bénin. Bulletin de la recherche agronomique du Bénin, 24, 10-21.
 7. FAO, 1992, Prévision des pertes après récolte, FAO, Rome 1992. 13 p.
 8. FAO, 1999, Bulletin trimestriel FAO de statistique, 12, 3, 79-81.
 9. Köster E.P., 1990, L'organisation des épreuves hédoniques -épreuve monadique pp. 171-189, in: ACTIA, 1990, Evaluation sensorielle, manuel méthodologique. Collection Sciences et Techniques Agro-Alimentaires, Technique et Documentation APRIA, Lavoisier, Paris, 328 p.
 10. INSAE, 2004, Statistiques du commerce extérieur spécial, année 2003, République du Bénin, 114 p.
 11. Monhouanou D.J., Agli C. & Montcho D.M., 2001, Rapport d'évaluation socio-économique des groupements devant abriter les tests sur la production de purée de tomate. Rapport de mission PTAA/INRAB/MAEP. République du Bénin. 10 p.
 12. Montcho D.M. & Ahouansou R., 2001, Rapport d'évaluation technique des moulins à condiment. Rapport de recherche PTAA/INRAB. République du Bénin. 10 p.
 13. Moresi M. & Liverotti C., 1982, Economics study of tomato paste production. *Journal of food technology*, Blackwell Scientific Publication. **17**, 2, 177-192.
 14. Sossa C., 1988, Culture et commercialisation de la tomate dans la province du Mono. Mémoire de fin de cycle DEAT, Sékou, Allada, République Populaire du Bénin. 56 p.
 15. Soulé I., 2001, Etude conceptuelle d'une technologie appropriée de fabrication et de conservation de purée de tomate à petite échelle au Bénin. Thèse d'ingénieur agronome. FSA/UAC. 125 p.
 16. Zinsou A.E., 1984, Les effets de l'instabilité des prix de tomate fraîche dans le Mono-nord, République Populaire du Bénin. Thèse d'ingénieur agronome. FSA/UNB, République Populaire du Bénin. 130 p.
- J. Dossou, Béninois, Docteur des industries alimentaires, Enseignant-chercheur à l'Université d'Abomey-Calavi, 01 BP 526, Cotonou, Rép. du Bénin.
 I. Soulé, Béninois, Ingénieur agronome, Assistant de recherche à la Faculté des Sciences Agronomiques de l'Université d'Abomey-Calavi, 01 BP 363, MICPE/DPME Cotonou, Rép. du Bénin.
 Marcelline Montcho, Béninoise, Ingénieur des industries alimentaires, Chef section fruits et légumes au Programme de Technologie Agricole et Alimentaires, Tel. (229) 20214160.

Caractérisation de la fertilité du sol en fonction des mauvaises herbes présentes

M. M'Biandoun^{1*}, H. Guibert² & J.P. Olina¹

Keywords: Guides weeds- Indicators weeds- Peasant perception- Fertility- North of Cameroon

Résumé

En vue de déterminer le niveau de fertilité des sols à partir d'indicateurs végétaux, une étude a été menée dans quatre terroirs du nord Cameroun. L'étude s'est basée sur une enquête menée auprès des paysans et des observations réalisées sur les parcelles. Il apparaît que le niveau de fertilité d'un sol peut s'évaluer par l'identification de deux groupes d'adventices: les herbes guides, non discriminantes mais dont l'importance oriente le diagnostic; et les herbes indicatrices, dont la présence/absence est discriminante. La présence ou l'absence de ces espèces, permet aux paysans de déterminer si les parcelles sont fertiles ou à l'inverse dégradées. A partir de là, il décide d'exploiter ou non le champ.

Summary

Soil Fertility Characterization Based on Present Weed Species

In order to determine the soil fertility level using weed indicators, a study was conducted in 4 villages in northern Cameroon. It was based on farmers' interviews and field surveys. It appears that the soil fertility status can be determined by using two groups of weeds: "guide" weeds, orienting the diagnosis according to their relative importance; "indicator" weeds, used to discriminate the two soil types (fertile/degraded). Presence or absence of the identified species allows farmers to determine whether the plot is fertile or degraded. He can then decide to use the field or not.

Introduction

Les sols ferrugineux tropicaux qui couvrent une grande partie du nord Cameroun, sont réputés fragiles, avec un faible niveau de fertilité dû à leur texture très sableuse et à la nature gréseuse du matériau originel (2).

Les systèmes de culture actuels fondés sur une rotation coton/céréales sans restitution de la matière organique avec travail du sol, entraînent une baisse systématique du niveau de fertilité des sols dès leur mise en culture (9).

Or la connaissance du potentiel productif de chaque parcelle est nécessaire à une gestion raisonnée de l'exploitation agricole. Pour y arriver, on peut avoir recours à des analyses de sol. Mais elles sont malheureusement très lourdes et très coûteuses à réaliser (1). Face à ce problème, nous avons essayé de voir si l'on peut utiliser la connaissance qu'ont les paysans de leur milieu, et en particulier des espèces herbacées qui poussent dans les parcelles, pour déterminer le niveau de fertilité d'un sol.

On a cherché à identifier des indicateurs observables ou mesurables par les scientifiques et les aménagistes du milieu rural et à les mettre en relation avec des signes reconnus et utilisés par les agriculteurs, éleveurs, exploitants de bois, concernant la qualité des terres et l'utilisation des ressources, au cours du cycle culture/jachère. Ces derniers, surtout s'ils

sont facilement observables et pertinents, devraient en effet permettre de suivre à moindre coût l'état des ressources et l'évolution des principales dynamiques environnementales qui affectent les terroirs cultivés.

Matériel et Méthodes

Choix des parcelles

Les terroirs de référence communs du Pôle régional de Recherche Appliquée au développement des Savanes d'Afrique Centrale (PRASAC) ont été utilisés pour cette étude. Les caractéristiques principales de chaque terroir sont présentées dans le tableau 1 (5, 8).

Au sein de chaque village, le choix des exploitations s'est fait au hasard dans la liste des paysans. Dans chaque exploitation, le paysan a ensuite indiqué deux parcelles de son choix: l'une fertile et l'autre dégradée. Les notions de «fertilité» et de «dégradation» utilisées dans ce texte sont celles utilisées par les paysans. Ce sont ces notions que nous allons chercher à analyser et à caractériser.

Méthodes

Nous avons utilisé deux démarches complémentaires, menées en parallèle:

- des enquêtes sur la perception que les paysans ont des plantes, de l'état des terres et des cultures

¹Institut de Recherche Agricole pour le Développement (IRAD), BP. 415, Garoua, Cameroun.

* Auteur pour correspondance

²Centre Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement (CIRAD), av. Agropolis, F-34398 Montpellier, cedex 5 France.

Reçu le 26.04.05 et accepté pour publication le 15.11.05.

Tableau 1
Caractéristiques des terroirs d'étude

	Fignolé	Mafa Kilda	Gadas	Mowo
Ethnie	Doayo	Mafa	Moundang	Mofou
Pluviosité (mm)	1000 - 1500	900 - 1000	700 - 800	800 - 1000
Type de sol	Sablonneux	Sablonneux	Argilo-sableux	Argilo-sableux
	Argileux	Argileux	Caillouteux	Argileux
	Sablo-argileux	Caillouteux	Ferrugineux rouge	Sablo-limoneux
Gestion exploitation	Bas-fonds Pas de matériel agricole et de main-d'œuvre. Conflits agro-pastoraux	Bas-fonds Faible équipement en traction animale	Piedmont noir Faible équipement en traction animale	Gravillonnaire Faible équipement en traction animale
Superficie (km ²)	30	5	4	3,6
Situation Géographique	sud-ouest Garoua à 170 km	sud, Garoua à 20 km	nord-ouest, Kaélé à 9 km	sud-ouest, Maroua à 40 km
Densité (hbts/km ²)	5-10	20-60	50-150	50-150
Système de culture	Coton/maïs/sorgho/arachide	Maïs/sorgho/arachide/coton	Coton/sorgho/ muskwari	Sorgho/arachide /coton

(démarche anthropologique);

- une analyse technique basée sur des mesures et la collecte de données sur les sols et la végétation, permettant des analyses multi variées [Analyse en Composante Principale (ACP), Analyse Factorielle de Correspondance (AFC)] afin d'établir des relations statistiques entre les taxons présents ou absents et les états du système, ainsi que la qualité de son fonctionnement.

Une confrontation et une mise en cohérence de ces deux démarches ont ensuite été réalisées.

Les variables à analyser

La caractérisation de la dégradation s'obtient par la description des parcelles et la mesure de certaines variables pertinentes susceptibles de permettre de différencier deux parcelles du point de vue de la fertilité: végétation, profondeur du sol, description des états de surface, types de sol, pente, système de culture, pratiques culturelles.

Echelle de notation de la végétation

Le recouvrement est estimé en pourcentage par rapport au sol (Tableau 2).

Tableau 2
Echelle de notation

Note	p. 100	Recouvrement
1	1	Espèce présente mais rare
2	7	Moins d'un individu m ²
3	15	Au moins un individu m ²
4	30	30% de recouvrement
5	50	50% de recouvrement
6	70	70% de recouvrement
7	85	Recouvrement assez fort
8	93	Très peu de sol apparent
9	100	Recouvrement total

Les analyses de sol

Des analyses de sol ont été effectuées sur une trentaine d'échantillons de sol par terroir. Ces analyses ont porté sur les éléments suivants: argile + limons fins, carbone total (C), azote total (N), rapport C/N, phosphore total (P), phosphore assimilable (P_{ass}), calcium échangeable (Ca_{éch}), magnésium échangeable (Mg_{éch}), sodium échangeable (Na_{éch}), potassium échangeable (K_{éch}), capacité d'échange cationique (CEC), taux de saturation du complexe adsorbant (T), acidité dans l'eau (pH_{eau}) et acidité dans le chlorure de potassium (pH_{KCl}).

Les résultats de ces analyses doivent permettre de valider la correspondance entre la perception paysanne de la fertilité et la caractérisation de la fertilité par la recherche.

Les méthodes d'analyses statistiques

Afin de retenir les variables permettant de discriminer au mieux les parcelles, plusieurs combinaisons de variables ont été testées à l'aide des analyses factorielles de correspondances multiples (AFCM), en recherchant la combinaison qui permet d'avoir: 1) un fort pourcentage d'explication de la variance totale par le 1^{er} axe factoriel; 2) un nombre réduit (2 ou 3) d'axes factoriels expliquant au moins 50% de la variance totale. Après plusieurs essais, un certain nombre de variables et de modalités ont été retenues (Tableau 3).

Résultats

Perception paysanne de la fertilité

Il ressort des enquêtes menées que les paysans utilisent effectivement un certain nombre d'indicateurs pour mener à bien la gestion de leur milieu. On peut les classer en quatre grands types: (1) les types de sol; (2) les espèces végétales; (3) les espèces animales; 4) la productivité de la terre et du travail. Les dénominations

Tableau 3
Liste des variables et des modalités retenues

Variables	Modalités
Biomasse (g/m ²)	PS1: < 100 PS2: 100-400 PS3: > 400
Couverture végétale (%)	CV 1: faible (<= 30%) CV 2: moyenne (30< x<= 70) CV 3: importante (70< x <= 100)
Profondeur de l'horizon A (cm)	PF1: < 20 PF2: 20-60 PF3: > 60
Type de croûte superficielle	Erosion (ERO) Ruissellement (RUI) Décantation (DEC)
Pratiques culturales	Labour-semis-sarclage (LASESAR) Labour-semis-sarclage-buttage (LASESARBUT) Semis-direct-sarclage (SEMDIRSAR)
Système de culture	Culture pure (CULPUR) Association de culture (ASSCUL)
Indicateur végétal de sol fertile	Présent Absent
Indicateur végétal de sol dégradé	Présent Absent

vernaculaires des sols décrivent la texture du sol et son utilisation préférentielle.

Les espèces végétales qui poussent sur les parcelles servent à prendre plusieurs décisions concernant: (1) la mise en culture d'une parcelle; (2) les modalités de cette mise en culture; (3) l'abandon d'une parcelle pour la mettre en jachère.

Ces indicateurs varient d'un terroir à l'autre en fonction de la biodiversité et de la perception qu'ont les différents groupes ethniques de la fertilité. La richesse floristique d'un terroir dépend du climat de la région, du type et de la richesse des sols. Dans deux contextes différents, la même plante n'aura donc pas forcément la même signification. Ainsi par exemple, alors qu'à Mafa Kilda, *Commelina bengalensis* est considérée par les paysans comme un indicateur de sol fertile, à Fignolé, cette espèce est considérée comme un indicateur de sol dégradé. En fait, à Fignolé, le climat est plus pluvieux qu'à Mafa Kilda, la biodiversité y est plus importante, les sols sont encore très riches et surtout l'espace est disponible, ce qui permet de longues jachères et un choix très exigeant des meilleures parcelles. A Mafa Kilda, l'espace est saturé, et les paysans ne peuvent pas être aussi exigeants. Ainsi, un sol qui est considéré comme fertile à Mafa Kilda serait mis en jachère à Fignolé, car il est déjà relativement pauvre, et les paysans préfèrent alors lancer une nouvelle défriche, puisque l'espace disponible le permet.

Tableau 4
Espèces guides de sols dégradés

Terroirs	Indicateurs des sols dégradés	
	Noms scientifiques	Pourcentage*
Fignolé	<i>Commelina benghalensis</i> Linnaeus	76
	<i>Striga hermonthica</i> (Del.) Benth.	61
	<i>Commelina forskalaei</i> Vahl	61
Mafakilda	<i>Commelina forskalaei</i> Vahl	93
	<i>Striga hermonthica</i> (Del.) Benth.	95
Gadas	<i>Commelina forskalaei</i> Vahl	65
	<i>Striga hermonthica</i> (Del.) Benth.	47
Mowo	<i>Striga hermonthica</i> (Del.) Benth.	65
	<i>Bulbostylis barbata</i> (Rottboell.) C.B. Clarke	25

*Pourcentage de paysans qui reconnaissent l'espèce comme indicatrice du niveau de fertilité d'un sol.

Les tableaux 4 et 5 présentent les espèces identifiées par les paysans comme indiquant la nature dégradée ou fertile des sols dans chaque terroir.

Diagnostic des états de fertilité

L'observation directe des parcelles a concerné environ 30 à 40 parcelles dégradées et 40 parcelles fertiles par terroir.

Les espèces indicatrices

Soixante-cinq espèces d'adventices différentes

Tableau 5
Espèces guides de sols fertiles

Terroirs	Indicateurs des sols fertiles	
	Noms scientifiques	Pourcentage
Fignolé	<i>Rottboellia cochinchinensis</i> (Lour.) W. Clayton	97
	<i>Andropogon tectorum</i> Schumacher & Thonn	57
	<i>Andropogon gayanus</i> Kunth	39
Mafakilda	<i>Hyptis suaveolens</i> Poit.	89
	<i>Commelina benghalensis</i> Linnaeus	82
	<i>Pennisetum pedicellatum</i> Trinius	67
Gadas	<i>Crotalaria retusa</i> Linnaeus	73
	<i>Commelina benghalensis</i> Linnaeus	36
	<i>Pennisetum pedicellatum</i> Trinius	39
Mowo	<i>Ipomoea dichroa</i> (Roem. & Schult.) Choisy	26
	<i>Commelina benghalensis</i> Linnaeus	25

ont été trouvées dans l'ensemble des parcelles. Parmi elles, 10 à 15 espèces caractérisent bien la fertilité des parcelles (fertiles ou dégradées) et 50 à 55 espèces sont communes aux deux groupes de parcelles. Parmi les espèces communes, certaines peuvent cependant caractériser soit les parcelles fertiles, soit les parcelles dégradées, en fonction de leur importance; elles ont des notes de dominance élevées (2 ou 3). A l'inverse les 10 à 15 espèces

dont la présence est caractéristique d'un type de sol donné sont peu nombreuses (dominance= 1). Elles sont appelées «herbes indicatrices». En effet, leur présence suffit pour classer un sol dans un type donné (fertile ou dégradé). Le tableau 6 présente les espèces les plus représentatives pour chaque terroir. Les autres espèces, qui peuvent se rencontrer sur les deux types de parcelles, mais dont la signification dépend de la dominance (2, 3 ou plus), sont appelées «herbes guides». Leur présence et leur importance nous orientent, mais elles ne sont pas suffisantes pour classer un sol dans un type donné (Tableaux 4 et 5).

Analyse factorielle des correspondances multiples (AFCM)

Cette analyse a été faite en utilisant les variables et leurs modalités présentées au tableau 3. Le premier axe factoriel explique 25% de la variance totale et le second 17%.

Le premier axe factoriel (qui explique 25% de la variance totale) décrit un gradient d'espèces végétales indicateurs du niveau de fertilité des sols (c'est un axe qualitatif). Ces espèces végétales vont de celles indicatrices des sols dégradés à celles indicatrices de sols fertiles. Elles expliquent à part égale (c'est-à-dire qu'elles ont la même importance sur l'axe) 57,4% de la variance totale du premier axe factoriel.

Le deuxième axe factoriel (qui explique 17% de la variance totale) décrit un gradient quantitatif de matière sèche totale produite (biomasse herbacée; toutes espèces confondues), en prenant en compte

Tableau 6
Espèces indicatrices par types de sol

	Sols fertiles	Sols dégradés
Mafakilda	<i>Tribulus terrestris</i> Linnaeus	<i>Triumfetta pentandra</i> A. Rich
	<i>Amaranthus graecizans</i> Linnaeus	<i>Celosia argentea</i> Linnaeus
	<i>Indigofera hirsuta</i> Linnaeus	<i>Digitaria argillacea</i> (Hitchcock et Chase) Fernald
	<i>Portulaca oleraceae</i> Linnaeus	<i>Kyllinga tenuifolia</i> Steudel
Fignolé	<i>Alysicarpus ovalifolius</i> (Schum. & Thonn.) Leon	<i>Panicum Pansum</i> Rendle
	<i>Brachiaria lata</i> (Schum.) C.E. Hubb.	<i>Eragrostis turgida</i> (Schum.) de Wild.
	<i>Amaranthus spinosus</i> Linnaeus	<i>Commelina subulata</i> Roth
	<i>Waltheria indica</i> Linnaeus	<i>Portulaca oleracea</i> Linnaeus
Gadas	<i>Celosia argentea</i> Linnaeus	<i>Hibiscus asper</i> Hook. f
	<i>Eleusine indica</i> (L.) Gaertn	<i>Cassia mimosoides</i> Linnaeus
	<i>Chrysanthellum americanus</i> (L.) Vatke	<i>Indigofera hirsuta</i> Linnaeus
	<i>Tephrosia bracteolata</i> Guill. & Perr	<i>Chloris pilosa</i> Schum
Mowo	<i>Indigofera dendroïdes</i> Jacq.	<i>Crotalaria retusa</i> Linnaeus
	<i>Cyperus amabilis</i> Vahl	<i>Cassia mimosoides</i> Linnaeus
	<i>Ageratum conyzoides</i> L. Subsp. <i>conyzoides</i>	<i>Physalis micrantha</i> Link
	<i>Cucumis melo</i> L. Var. <i>argrestis</i> Naud.	<i>Phyllanthus amarus</i> Schum. & Thonn

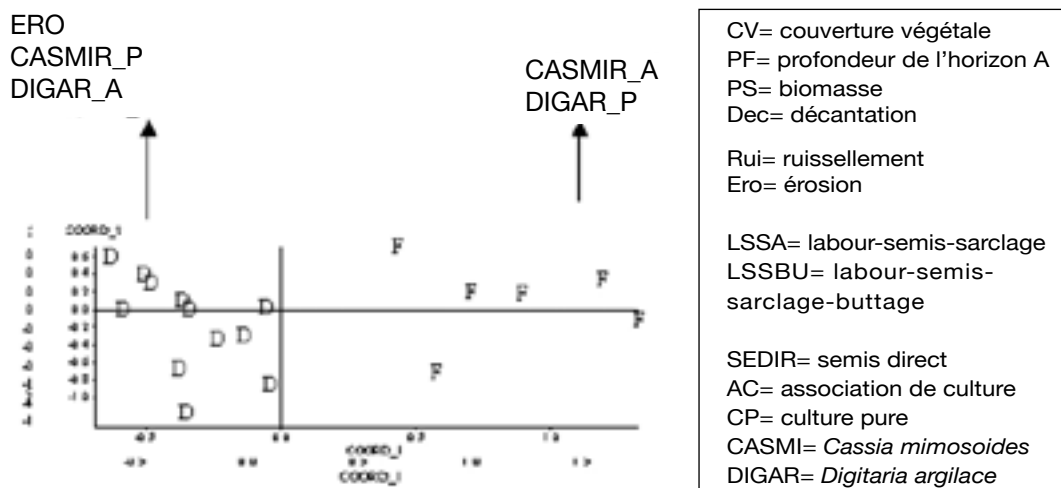


Figure 1: Distribution des variables de l'AFCM sur le 1^{er} plan factoriel.

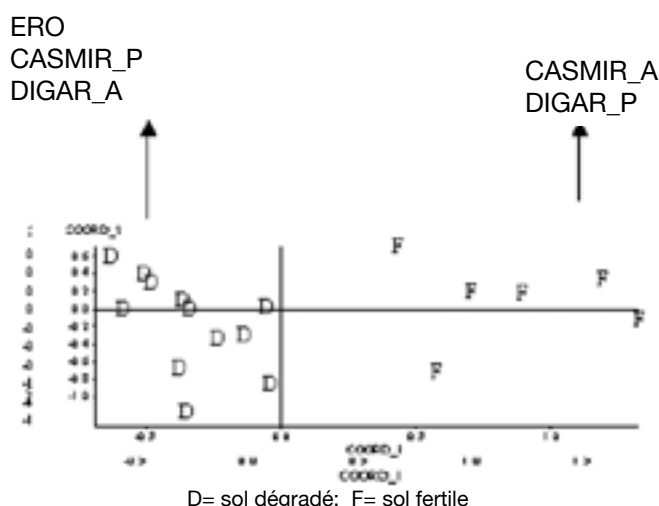


Figure 2: Distribution de la typologie paysanne des parcelles sur le premier plan factoriel.

le pourcentage de sol couvert par l'ensemble des mauvaises herbes présentes (couverture végétale); (c'est un axe quantitatif). Ces deux variables expliquent respectivement 36,6% (biomasse herbacée) et 31% (couverture végétale); soit 67,6% de la variance totale du second axe factoriel.

La figure 2 montre que les 2 groupes de parcelles distinguées par les paysans (Dégradées et Fertiles) sont bien distinctement distribués sur le premier plan factoriel.

Typologie des parcelles suivant les résultats d'analyse de sol

Résultats de l'AFCM

Le premier axe factoriel explique 32% de la variance totale. Deux axes suffisent pour en expliquer 52%. La validation de la capacité des deux groupes d'adventices (les espèces guides et les espèces indicatrices) à permettre l'identification du niveau de fertilité d'un sol est fournie par les résultats d'analyse de sol avec plus de 50% de correspondance fournies

par les 2 premiers axes.

Les résultats des deux AFCM montrent qu'il existe de bonnes correspondances entre, d'une part, l'appréciation paysanne de la fertilité et les résultats d'observation et, d'autre part, l'appréciation paysanne de la fertilité et les résultats d'analyse de sol. En effet, dans le 1^{er} cas, les 3 premiers axes expliquent 56% de la variance totale (25% expliqué dès le 1^{er} axe), et dans le second cas, les 3 premiers axes expliquent 68% de la variance totale (32% d'explication dès le 1^{er} axe).

Les données d'observation du sol montrent que les cinq premiers facteurs permettant une identification du niveau de fertilité d'un sol sont dans l'ordre:

- 1) indicateurs végétaux d'état de fertilité des sols;
- 2) pratiques culturales;
- 3) type de croûte d'érosion;
- 4) biomasse herbacée et couverture végétale;
- 5) système de culture.

Importance des mauvaises herbes dans l'étude

Les indicateurs végétaux d'état de fertilité des sols permettent, grâce à leur pouvoir discriminant élevé, de séparer les parcelles en deux groupes distincts au niveau du premier axe factoriel (Figures 1 et 2). Ils représentent le premier facteur de différenciation des parcelles dans cette étude. Sur le plan pratique, c'est l'association entre les deux groupes («espèces guides» et «espèces indicatrices») qui permettra de différencier le niveau de fertilité d'un sol cultivé.

La biomasse herbacée, c'est-à-dire le poids de matière sèche produite par les adventices par unité de surface, est importante, car elle a le plus grand pourcentage d'explication du deuxième axe factoriel. En effet, une parcelle fertile est très peu envahie par les mauvaises herbes. C'est pendant la dégradation que les mauvaises herbes envahissent la parcelle. Cet envahissement est à la fois qualitatif (multiplicité des espèces d'adventices) et quantitatif (biomasse totale).

La couverture végétale est caractérisée par le pourcentage de sol couvert par les adventices; elle permet d'apprécier le taux d'envahissement de la parcelle par les adventices.

Discussion et conclusion

Les résultats obtenus au cours de cette étude nous ont amené à distinguer des «espèces guides» et des «espèces indicatrices». Au commencement de nos travaux, les espèces indicatrices étaient celles données par les paysans.

En effet, la lecture que les paysans font de la fertilité se fonde sur une connaissance longuement acquise de la valeur indicatrice de la végétation ou de certains signes observables à la surface du sol. Cette valeur indicatrice repose sur des principes reconnus également en écologie (3). En effet, si la composition floristique de la végétation spontanée est le résultat d'une combinaison précise de facteurs écologiques, la présence d'une espèce a alors une valeur informative (3). C'est cette valeur informative de la végétation et de certains signes édaphiques qui permet aux paysans de décider de mettre ou non en culture une parcelle (4). La restauration de la fertilité des sols cultivés s'accompagne d'une modification progressive de la composition floristique du tapis végétal spontané. Une succession post culturale s'opère lors de la mise en jachère, qui tend vers le rétablissement des groupements végétaux originels, comportant des espèces indicatrices de fertilité (6).

Mais on s'est vite rendu compte que ces espèces, pour être vraiment «indicatrices» devaient être affectées d'une note de dominance. Lorsque l'espèce était affectée d'une note de dominance supérieure à 2, alors elle caractérisait bien le type de sol; dans le cas contraire (note < 2), elle caractérisait le type opposé. En effet, les espèces indicatrices données par les paysans peuvent pousser indifféremment sur les deux types de sol (fertile ou dégradé), c'est leur importance qui diffère.

Au cours des analyses statistiques (AFCM), il est apparu que ces espèces ne permettaient pas une ségrégation nette des différentes parcelles. Ce que, par contre, faisait très bien une autre catégorie d'espèces, rares, dont l'intérêt est qu'elles ne poussent que sur un seul type de sol. C'est cette seconde catégorie que nous avons appelée «espèces indicatrices». Pour les distinguer, les premières ont donc été appelées «espèces guides», puisque

qu'elles peuvent servir, lors de la détermination du niveau de fertilité d'un sol, de guide ou d'orientation; la détermination définitive de l'appartenance de la parcelle à tel ou tel type de sol étant dépendante de la présence sur cette parcelle d'une ou de plusieurs espèces «indicatrices».

D'autres travaux menés en Afrique de l'ouest dans le cadre du programme jachère (7), portant sur le suivi de la fertilité physique et biochimique des sols, de la diversité des espèces végétales, ont également permis la mise en évidence de plantes indicatrices de changement du milieu. Il a été conclu qu'on ne peut prétendre identifier des listes universelles, de plantes indicatrices pertinentes. Il a été montré que la prise en compte de la région agro-écologique et des conditions édaphiques améliore le rôle de bio-indicateurs des espèces végétales; celui-ci peut être encore affiné par la prise en compte, au niveau du terroir, de la perception qu'ont les paysans et éleveurs des différents taxons.

L'intégration de ces facteurs dans cette étude a permis de montrer que les adventices interviennent d'une façon importante dans le processus de détermination du niveau de fertilité d'un sol. Parmi les 6 variables permettant cette identification, 3 relèvent de la présence d'adventices; ce sont: 1) les espèces guides et indicatrices, 2) la biomasse herbacée et 3) le pourcentage de sol couvert par les mauvaises herbes. Les mauvaises herbes peuvent donc être au service du paysan, tout comme à celui du chercheur ou de l'agent du développement, pour peu que l'on sache lire toute la richesse de l'information qu'elles apportent ... avant de les détruire.

Remerciements

Les auteurs remercient la coordination régionale du Pôle régional de Recherches Appliquées au développement des Savanes d'Afrique Centrale (PRASAC), sans qui ce travail n'aurait pu être mené à son terme, ainsi que la Délégation nationale du PRASAC Cameroun et la Station polyvalente de l'Institut de la Recherche Agricole pour le Développement (IRAD) de Garoua, pour la mise en œuvre des moyens financiers et matériels qui ont permis ce travail.

Références bibliographiques

1. Baize D., 1988, Guide des analyses courantes en pédologie, INRA, Paris. Chap. 1, pp. 1-12.
2. Brabant P. & Gavaud M., 1985, Les sols et les ressources en terre du nord-Cameroun (Provinces du nord et de l'extrême-nord). Edition de l'ORSTOM, Paris. 2^e partie, Chap. III, pp. 121-182.
3. Dajoz R., 1996, Précis d'écologie, 6^e édition, 2^e et 3^e cycle universitaires, Dunod, Paris. Chap. 5, pp. 79-101.
4. Donfack P. & Seignobos C., 1996, Des plantes indicatrices dans un agrosystème incluant la jachère: les exemples des Peuls et des Guiziga du nord-Cameroun. Journ. d'agric. Trad. et de Bota. Appl., Vol. XXXVIII (1), pp. 231-250.
5. Donfack P., Seiny Boukar L. & M'Biandoun M., 1996, Les grandes caractéristiques du milieu physique. In: Agriculture des savanes du nord-Cameroun. Vers un développement solidaire des savanes d'Afrique centrale. Communications présentées à l'atelier d'échange, 25-29 novembre 1996 (document provisoire, tome 1), Garoua, Cameroun. Pp. 7-20.
6. Donfack P., 1998, Végétation des jachères du nord-Cameroun. Typologie, diversité, dynamique, production. Thème Doctorat 3^e cycle Université Yaoundé 1, 225 p.
7. Floret C. & Pontonnier R., 1993, Recherche sur la dynamique de la végétation des jachères en Afrique tropicale. In: Floret C., Serpantier G., (eds), La jachère en Afrique de l'ouest. Collection et Séminaires, ORSTOM. Paris.
8. IRAD/PRASAC, 1999, Synthèse du diagnostic globale PRASAC au nord Cameroun. Document de travail. 34 p. et annexes.
9. Vallee G., M'Biandoun M. & Forest F., 1996, Semi-direct dans l'aménagement de Sanguéré-Djalango (Cameroun). Cahiers Agricultures, 1996, vol 5, pp. 161-169.

M. M'Biandoun, Camerounais, Agronome, DEA, Chargé de recherche, Chef de section système de culture. Institut de recherche agricole pour le développement (IRAD), BP 415, Garoua, Cameroun. E-mail: mbiandounm@yahoo.fr

H. Guibert, Français, Agronome, Doctorat 3^e cycle, Chercheur. Centre Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement (CIRAD), av. Agropolis, 34398 Montpellier cedex 5 France.

J.P. Olina, Camerounais, Agronome, DEA, Attaché de recherche. Institut de recherche agricole pour le développement (IRAD), BP 415, Garoua, Cameroun.

LES ACTIONS DE LA DGCD
DGDC'S ACTIVITIES

DE ACTIVITEITEN VAN DE DGOS
LAS ACTIVIDADES DEL DGCD

DEVELOPMENT CO-OPERATION PRIZE

The Development Cooperation Prize is annual incentive prize - financed by the Belgian Development Cooperation (DGDC) and organized by the Royal Museum for Central Africa - for students and young researchers, from Belgium or developing countries, whatever their discipline. The prize is awarded to scientific works that contribute significantly to knowledge that can be applied to development in the South. Sustainable development is to be their principal aim and poverty alleviation a priority. The prizes are attributed to Bachelor's and Master's theses, postgraduate papers, Ph.D. theses, or publications in scientific journals.

In the course of the years of the prize existence, the fields represented among the participants has remained more or less stable: the majority of files represent the exact sciences - with a very large share originating from the agricultural and applied biological sciences, followed by the human sciences and biomedical and veterinary sciences.

The prize is granted to maximum 14 students and 6 researchers and consists of an award of 1,250 € for students and 2,500 € for young researchers. Since 1998 the awards have been handed over by the Minister for Development Cooperation during a ceremony in the Royal Museum for Central Africa. The laureates from abroad are invited to Belgium especially for this occasion. Many use their stay in Belgium to establish or renew contacts with the Belgian academia in their fields of interest.

Two abstracts regarding the accomplishment of laureates from Spain and Belgium awarded in 2005 are presented below.

Establishment of a Communal Management Area of Cynegetic Interest as a Management Tool for Fauna in a Forestry Concession in South East Cameroon

Cecilia Julve Larrubia*

This study fits well into the context of biodiversity preservation, particularly at a time when there is an increasing emphasis being placed on allowing and ensuring the sustainable use of this biodiversity, which, in fact, is the second fundamental objective of the United Nations Convention on Biological Diversity (CBD). For the past few years those involved in biodiversity have sought to form links with people working in development aid by drawing attention to the economic role - including in relation to food - that biodiversity, particularly wild fauna, plays when it comes to the living conditions of the local populations living in or near the forests.

There are in fact few studies of this type on a dense tropical forest environment, precisely because it is difficult to observe wild fauna. A solid scientific basis is needed, however, in order to be able to judiciously direct management strategies as sustainable and participative as possible. Having established the diagnosis of density/composition of the fauna, having carried out the sampling tests (hunting) and having established the scenarios, this thesis puts forward a concrete proposal for a management system that allows this communal management area of cynegetic interest in south east Cameroon to fulfil its role by reconciling the goal of sustainable conservation of biological diversity with the goal of meeting the food requirements and economic needs of the local population. The study also clearly recognizes the limits of this type of exercise, due to the imperfect nature of the tools, the methods and the data available and to outside factors that may have affected the results in some way. Taking into account these observations, the management proposal is accompanied by a recommendation for thorough follow-up in order to rectify any possible errors and avoid uncertainties.

*Spanish, Licence in Biology, Universidad de Barcelona, Spain, 2002.

DES in Management of Animal and Vegetable Resources in Tropical Environments, Université de Liège, Belgium, 2005.

ceciliajulve@hotmail.com

This study has been carried out with exactness and realism, making it a truly interesting contribution in the process of identifying co-operation activities aiming to strengthen the interaction between the preservation of biodiversity and the reduction of poverty.

This is a study that will be useful to circulate at future conferences and symposia, especially within the framework of the CBD.

Understanding With-in Season Crop Performance in Maize-Wheat Farming Systems in the Semi-Arid Highlands of Mexico

P. De Corte**

The study was conducted in a region where the degree of slope of the land, poor soil cover, the working of the soil and the over-cultivation of maize often give rise to run-off, intensive erosion, poor use of water and low and irregular yields. Some of the foremost ways to bring improvement include crop rotation, reduction in the working of the soil and the management of crop residues, e.g. straw, which can be gathered for fodder or left on the ground as cover.

A technique involving a portable sensor as a tool is used to calculate, as the crops are growing, an index that bears a good relation to the yields. On experimental parcels of land comparing various crop rotations, contrasting methods of working the soil (including zero-tillage or direct seeding) and ways of dealing with crop residues (straw left to cover the soil, all or part of the straw gathered for fodder), this index has been shown to be able to play a part, alongside other indices, in the evaluation of different soil management systems and to enable deficiencies occurring during cultivation to be corrected.

The techniques developed and validated in this region of Mexico can easily be extrapolated to other regions in the world, particularly through the collaboration between international institutes and local partners. This study contributes to the efforts to improve what has become known as conservation agriculture, i.e. the methods that work towards ensuring productivity and profitability of the agricultural systems, and increased sustainability of natural resources, in this case mainly soil conservation and the increase in the fertility of the soil.

**Belgian, Bio-engineer in Land and Forest Management, Katholieke Universiteit Leuven, Belgium, 2005.
decortepieter@hotmail.com

BIBLIOGRAPHIE

BOEKBESPREKING

BIBLIOGRAPHY

BIBLIOGRAFIA

La surveillance épidémiologique en santé animale

Barbara Dufour & Pascal Hendrickx

CIRAD/AEEMA, 2005, 296 p.

ISBN 2-87614 599-5 Prix: 13 €

«La surveillance épidémiologique en santé animale» de Barbara Dufour et Pascal Hendrickx est un ouvrage détaillé destiné aux personnes qui sont impliquées dans un réseau de surveillance épidémiologique, qui le gèrent ou qui le conçoivent. Il ne s'agit pas d'un recueil d'épidémiologie descriptive; il s'agit plutôt d'un guide pratique extrêmement complet, bien structuré et truffé d'exemples concrets.

Ce livre tombe à pic. La mondialisation des échanges d'animaux et de produits animaux fut responsable, ces dernières années, d'épizooties d'envergure continentale, voire mondiale. La peste aviaire, la fièvre aphteuse, l'encéphalopathie spongiforme bovine, et tant d'autres, justifient amplement la nécessité d'informations concrètes et pratiques quant à leur surveillance. Les réseaux d'épidémiosurveillance ne permettent pas seulement d'éviter ou de contrôler les épizooties. Ils permettent également de garantir le niveau de qualité nécessaire à l'exportation de produits animaux et consiste donc, pour de nombreux pays, en un facteur de développement économique. De nombreux pays parmi les moins développés souffrent encore de carence de surveillance épidémiologique. Certains d'entre eux sont exclus des marchés internationaux, parfois en raison de leur statut sanitaire, parfois en raison du manque de garanties relatives à ce statut. Ce livre procure les bases pour concevoir et gérer un réseau. Par ailleurs, les agents d'un réseau ont un besoin permanent de motivation. Cet ouvrage devrait également permettre à ceux-ci de mieux appréhender les activités développées au sein de leur réseau.

Le livre débute par quelques définitions: surveillance, vigilance, prophylaxie et plan d'urgence sont explicités et nuancés. Sont également définies les notions de surveillance passive ou active et les différents types d'enquêtes. Une série de recommandations relatives à la conception et à la gestion des réseaux sont ensuite présentées. Les différents échelons des réseaux sont concernés: des intervenants de terrain au comité de pilotage, en passant par les différentes unités régionales et centrales, les laboratoires et les équipes mobiles. Le rôle de chacun de ces échelons est décrit avec rigueur et précision.

D'autres aspects tout à fait essentiels à la durabilité d'un réseau d'épidémiosurveillance, mais souvent ignorés, sont la formation des agents et l'évaluation des réseaux. Ces deux aspects, garants de l'efficacité et de la qualité des réseaux, sont discutés en détails, permettant une approche globale et pragmatique de la problématique. C'est aussi par pragmatisme que les auteurs encouragent la rigueur et la garantie de la qualité, tout en utilisant les ressources disponibles et en tenant compte des multiples contraintes qui peuvent se présenter sur le terrain. Ainsi, les auteurs suggèrent la création de réseaux multiples plutôt qu'un réseau unique. La combinaison des réseaux correspond alors à un système. Cette conception rend les réseaux individuels plus flexibles et mieux adaptés à leurs objectifs: la surveillance d'une ou plusieurs maladies prioritaires chez une ou plusieurs espèces dans une zone déterminée. Rien n'empêche les différents réseaux de partager les mêmes ressources, notamment humaines. Il importe néanmoins que la spécificité des objectifs de chaque réseau soit respectée et donc que l'indépendance de leur fonctionnement soit assurée. Par ailleurs, l'utilisation d'outils modernes, notamment de communication, devrait être encouragée, y compris dans les pays en voie de développement. Internet, téléphones portables ou «assistants numériques personnels» (*personal digital assistants* ou PDA) sont ainsi susceptibles d'améliorer considérablement le fonctionnement des réseaux, particulièrement en ce qui concerne la rapidité et la qualité des transferts d'information, tant en amont qu'en aval, et la communication entre les acteurs d'un réseau. L'importance du facteur humain est largement argumentée. D'après les auteurs, les animateurs de réseaux jouent un rôle primordial dans l'efficacité d'un réseau et le retour des informations vers les agents de terrain est une nécessité absolue.

Enfin, quelques exemples de réseaux sont présentés: réseaux ciblés (sur une seule maladie) ou globaux (s'intéressant à plusieurs maladies), réseaux nationaux ou supranationaux. Le fonctionnement de l'Office International des Epizooties (OIE) est rappelé en détail, y compris en ce qui concerne les obligations des réseaux nationaux. On y discute les intérêts et les limites des réseaux régionaux. La mise en commun des ressources

de plusieurs états est attractive. Cependant, les états sont seuls responsables vis-à-vis de l'OIE. En outre, dans de tels réseaux, les relations entre les animateurs et les agents de terrains sont compliquées par de nombreux niveaux hiérarchiques souvent incontournables pour des états souverains.

Un seul petit bémol: ce livre relate essentiellement l'expérience française, en France ou dans le cadre de coopération internationale au Tchad, à la Réunion, en Afrique du Nord et au Moyen-Orient (RADISCON) ou encore en Afrique subsaharienne (PACE). Il appartiendra donc au lecteur de s'intéresser aussi à ce qui se fait ailleurs avant de concevoir un nouveau réseau ou de critiquer un système existant.

Peut-être obtenu auprès de: La Librairie du CIRAD, TA 283/04, avenue Agropolis
34398 Montpellier cedex 5, France.

Fax: +33 467 61 55 47 E-mail: librairie@cirad.fr Site Web: www.cirad.fr

Tanguy Marcotty
Département de Santé Animale
Institut de Médecine Tropicale, Nationalestraat 155, 2000 Antwerpen.
tmarcotty@itg.be
Tél: + 32 3 247 62 63 Fax: + 32 3 247 62 68

Mars 2006.

AVIS DE CHANGEMENT D'ADRESSE

ADRESVERANDERING

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 la 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 "Adresse 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.

CHANGING OF ADDRESS

CAMBIO DE DIRECCION

ORGANIZACIÓN

Naturaleza de la entidad responsable de la publicación y el asunto de la revista TROPICULTURA.

Agri-Overseas a.s.b.l. es una asociación creada con el objetivo de establecer relaciones profesionales de interés común entre todos aquellos quienes obran para el desarrollo rural en los países del Sur. Esta asociación publica la revista científica y de información "Tropicultura" dedicada a los problemas rurales en los países en desarrollo.

Esta revista es editada trimestralmente con el apoyo de la Dirección General de la Cooperación al Desarrollo (DGCD), Servicio Público Federal de Asuntos exteriores, Comercio Exterior y Belgas Cooperación al Desarrollo, y aquel de la región de Bruselas - Capital.

Agri-Overseas a.s.b.l. se compone de miembros individuales y de las instituciones belgas siguientes: las cuatro Facultades en Ciencias agrónomas de Bélgica (Gembloux, Gent, Leuven y Louvain-La-Neuve), las dos Facultades en Medicina veterinaria (Gent y Liège), el Departamento de Salud animal del Instituto de Medicina tropical de Embere (Antwerpen), la Sección *interfacultaria* de Agronomía de la Universidad Libre de Bruselas, las Facultades Universitarias de Nuestra Señora de la Paz (Namur), El Departamento de Ciencias y gestión del medio ambiente de la Universidad de Liège (Arlon), la Dirección General de la Cooperación al Desarrollo (DGCD).

Consejo de administración

El consejo de administración de Agri-Overseas se compone del Profesor Dr Vercruysse, Presidente; del Profesor Dr Ir G. Mergeai, Administrador Delegado; del Dr E. Thys, Secretario; del Profesor Dr B. Losson, Tesorero; del Profesor Honorario Dr Ir J. Hardouin, miembro.

Comité de redacción

El comité de redacción se compone del Profesor Dr Ir G. Mergeai, Redactor en jefe, y de los siguientes redactores delegados: el Profesor Dr J. Deckers para «la Ecología, la Fertilidad de los suelos y los Sistemas de explotación», el Profesor Dr J.-P. Dehoux para «la Producción pecuaria y la Gestión de la fauna», el Profesor Dr J.-C. Micha para «la Pesca y la Piscicultura», el Dr E. Thys para «la Salud animal», el Profesor Dr Ir P. Van Damme para «la Agronomía y la Silvicultura», el Profesor Dr J. Vercruysse para «la Salud animal» y Ir. F. Maes, colaborador científico. La secretaria trata directamente los otros temas en lo que posee competencia (economía, sociología,...).

Secretaría de redacción

1A, Square du Bastion, B- 1050 Bruselas – Bélgica — Teléfono: ++32.(0)2.550 19 61/ 62; Fax.: ++32.(0)2.514 72 77

Email: gshare.tropicultura@belgacom.net, mjdesmet.tropicultura@belgacom.net — Website: <http://www.bib.fsagx.ac.be/tropicultura/>

Distribución

La distribución de la revista TROPICULTURA es gratuita y puede ser obtenida con un simple pedido escrito, dirigido a la secretaria de redacción.

ALCANCE DE LA REVISTA

TROPICULTURA publica artículos originales, informes de investigación y síntesis, resúmenes de libros y tesis, así como informes de películas y soportes audiovisuales en lo que concierne a todas las áreas vinculadas al desarrollo rural: producciones vegetales y animales, ciencias veterinarias, ciencias forestales, ciencias del suelo y de la tierra, Ingeniería rural, ciencias del medio ambiente, bioindustrias, industria agro-alimentaria, sociología y economía.

INSTRUCCIÓN A LOS AUTORES

Los temas de los artículos publicados en la revista Tropicultura conciernen todo lo es vinculado al desarrollo rural y la gestión sostenible del medio ambiente de las regiones cálidas del planeta. Se dará la prioridad a los artículos que presentan asuntos originales, abarcando un ámbito lo más amplio posible, es decir cuyo contenido concierne sobre todo aspectos metodológicos transferibles en un conjunto amplio de medios ambientes y regiones del mundo.

De igual manera, se dará una atención particular en la fiabilidad de las informaciones publicadas, es decir, cuando se trata de resultados experimentales, en el número de repeticiones de los ensayos, en el tiempo y en el espacio, que son al origen de los datos obtenidos.

Los manuscritos serán inéditos y no habrán sido sometidos a una publicación anteriormente o simultáneamente. Se pueden redactar en uno de los cuatro idiomas siguientes: ingles, español, francés y holandés. Los manuscritos están dirigidos al redactor en jefe a través del servicio postal, en tres ejemplares, en forma de documento en papel o directamente a la dirección electrónica de la secretaria de redacción, en forma de archivos adjuntos. Se redactarán en cara simple, en doble espacio (27 líneas de 60 caracteres por página en formato DIN A4), con un margen de 3,5 cm mínimo alrededor de la superficie imprimada. Ellos contendrán un máximo de diez páginas de texto (excluyendo la primera página, los resúmenes y las referencias bibliográficas).

La primera página llevará: el título, el título abreviado (máximo 55 caracteres), los apellidos y nombres completos de los autores, la dirección profesional completa de cada uno, los agradecimientos eventuales. El apellido del autor corresponsal será marcado mediante un "*" y su dirección completada por sus números de teléfono y telecopia y de su dirección electrónica.

Las páginas siguiendo la primera página presentarán: (i) los resúmenes (max 200 palabras) en el idioma del manuscrito y en ingles, precedidos del título traducido y seguidos de un máximo de seis palabras claves dentro de cada uno de los dos idiomas; (ii) el texto principal; (iii) la bibliografía; (iv) los cuadros numerados por medio de cifras árabes; (v) las ilustraciones identificadas sin ambigüedad por un número al verso; (vi) las leyendas de los cuadros y las ilustraciones. Todas las páginas serán numeradas en continuo. Las figuras serán dibujadas de manera profesional. Las fotografías serán proporcionadas no montadas, bien contrastadas sobre papel brillante.

Solamente los coautores, quienes habrán manifestado por escrito su acuerdo para que su nombre figura en un manuscrito, aparecerán en la versión final del artículo publicado en Tropicultura. Los acuerdos escritos de los coautores concerniendo este punto podrán ser transmitidos al Comité de redacción en forma de correo postal o electrónico. La aprobación del organismo de tutela de los autores es supuestamente adquirida para todo artículo que se publica en Tropicultura. Agri-Overseas declina toda responsabilidad en esa materia.

El primer depósito de un artículo a la redacción podrá hacerse en forma impresa o en forma electrónica. En la medida de lo posible, después de la aceptación del artículo para publicación, el autor dará su última versión, revisada y corregida, sobre un disquete (o en forma de archivo adjunto). El software Word es recomendado pero una versión ASCII o RTF de los archivos es aceptada.

El texto estará generalmente dividido en introducción, material y método, resultados, discusión, conclusiones. La subdivisión del texto no sobrepasará de dos niveles. Los subtítulos, muy concisos serán conformados en minúsculas y jamás no serán subrayados.

Las referencias estarán citadas dentro del texto por medio de números ubicados entre paréntesis. En caso de citación de varias referencias, sus números se sucederán por orden ascendente.

Las referencias bibliográficas serán clasificadas por orden alfabético de apellidos de autores y por orden cronológico para un autor dado. Ellas estarán numeradas en continuo, comenzando por la cifra 1.

Para los artículos de revistas, las referencias comprenderán: los apellidos de los autores seguidos de las iniciales de los nombres, el año de publicación, el título completo del artículo en el idioma de origen, el nombre de la revista, el número del volumen subrayado, los números de la primera y de la última página separadas por un guión.

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

Para las monografías, los elementos siguientes son esenciales: los apellidos de los autores seguidos de las iniciales de los nombres, el año de publicación, el título completo de la obra, el apellido del editor, el lugar de edición, la primera y la última página del capítulo citado, el número total de páginas de la obra. Los informes de conferencias se tratan como monografías, además, ellos mencionarán si es posible el lugar, la fecha de la reunión y el (los) editor(es) científico(s).

Ejemplo: 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 & S.M. Aronson (Editors), Sphingolipids and allied disorders, Plenum, New-york, 205 p.

Una comunicación personal será mencionada en el texto por las iniciales del nombre, seguidas del apellido, comunicación personal y el año. Ejemplo (W.R. Allan, comunicación personal, 1988). Esta referencia no se volverá a tomar dentro de las referencias bibliográficas.

Las referencias anónimas serán mencionadas numéricamente en el texto y en las referencias bibliográficas. Anónimo (año). Título. Fuente (donde las informaciones pueden ser encontradas.)

El comité de redacción se reserva el derecho de rechazar todo artículo no conforme a las prescripciones mencionadas en la parte superior.

Los artículos están sometidos a uno o a varios lectores escogidos por la redacción y esos lectores se mantendrán anónimos por los autores.

En caso de aceptación del artículo, la redacción exigirá un compromiso de los diferentes autores a ceder sus derechos de publicación a TROPICULTURA.

TROPICULTURA

2006 Vol. 24 N° 4

Four issues a year (October, November, December)

CONTENTS

ORIGINAL ARTICLES

N₂ Fixation by Soybean in the Nigerian Moist Savanna: Effects of Maturity Class and Phosphorus Fertilizer (*in English*)

I.J. Ogoke, A.O. Togun, R.J. Carsky & K.E. Dashiell 193

Improvement of Organic Status in Tropical Ferruginous Soil under *Andropogon* spp. Fallow (Burkina Faso): Treatment Effects on Soil Chemical Elements (*in French*)

N.A. Somé, V. Hien & S.J. Ouédraogo 200

Impact of *Boscia senegalensis* (Pers) Lam. Ex Poir. (Capparaceae) on the Dispersion Capacities of *Dinarmus basalis* Rond. (Hymenoptera- Pteromalidae) in Traditional Storage System (*in French*)

A. Doumma & I. Alzouma 208

Agro-biodiversity in Subsistence Farming Systems of South Somalia –Collection and Agronomic Assessment of Somali Sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) Germplasm (*in English*)

M. Manzelli, S. Benedettelli & V. Vecchio 213

In vitro Regeneration of NaCl-adapted Tomato Plants (*Lycopersicon esculentum* Mill.) (*in French*)

Messaï Abir, C. Hannachi & E. Zid 221

Study of a Suitable Cheese Making Milk-clotting Agent from *Balanites aegyptiaca* Fruits (*in French*)

D.G. Libouga, Dominique Vercaigne-Marko, Sana Longa Djangal, Ilioussou Choukambou, A.L. Ebangi, Messine Ombionyo, R.G. Beka & D. Guillochon 229

Economic Study of Small Scale Tomato Paste Production in Benin (*in French*)

J. Dossou, I. Soulé & Marcelline Montcho 239

Soil Fertility Characterization Based on Present Weed Specie (*in French*)

M. M'Biandoum, H. Guibert & J.P. Olina 247

DGDC'S ACTIVITIES 253

BIBLIOGRAPHY 255

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



LITHO-OFFSET J.F. DE JONGHE • 696 CHSSEE DE GAND B1080 BRUSSELS • +32 (2) 465 77 17

