

TROPICULTURA

2008 Vol. 26 N°1

Trimestriel (janvier- février- mars)

Driemaandelijks (januari- februari- maart)

Se publica po año (en enero- febrero- marzo)



L'homme et le troupeau, les Dinkas au sud du Soudan. Photo: Roger Job (1997).
Crédit: Vétérinaires Sans Frontières, Belgium.

Editeur responsable/Verantwoordelijke uitgever: J. Vercruysse
11 rue d'Egmontstraat
1000 Bruxelles/ Brussel

Avec les soutiens
de la Direction Générale de la Coopération au Développement DGCD www.dgcd.be,
du Service public Fédéral Affaires étrangères, Commerce extérieur
et Coopération au Développement www.diplobel.fgov.be,
de l'Académie Royale des Sciences d'Outre-mer ARSOM, www.kaowarsom.be
et de la Région Bruxelles Capitale

Met de steun van
De Directie-Generaal Ontwikkelingssamenwerking DGOS www.dgos.be,
de Federale Overheidsdienst Buitenlandse Zaken, Buitenlandse Handel
en Ontwikkelingssamenwerking www.diplobel.fgov.be,
de Koninklijke Academie voor Overzeese www.kaowarsom.be
en van het Brussels Gewest

BUREAU DE DEPOT – AFGIFTEKANTOOR
BRUXELLES X / BRUSSEL X



SOMMAIRE / INHOUD / SUMARIO

EDITORIAL/EDITORIAAL/EDITORIALES

<i>Jatropha curcas</i> : what sustainability? / <i>Jatropha curcas</i> : quelle durabilité? <i>Jatropha curcas</i> : welke duurzaamheid? / <i>Jatropha curcas</i> : ¿Qué sostenibilidad?	
G. Mergeai	1

ARTICLES ORIGINAUX/OORSPRONKELIJKE ARTIKELS/ARTICULOS ORIGINALES

Clasificación y evaluación edafológica de tres sitios experimentales del altiplano central de México Classification et évaluation édaphologique de trois sites expérimentaux de l'Altiplano Central de Mexico Edafologische classificatie en evaluatie van drie experimentele locaties in het <i>Altiplano Central</i> van Mexico	
B. Govaerts, Martha Gabriela Barrera-Franco, A. Limón-Ortega, P. Muñoz-Jiménez, K.D. Sayre & J. Deckers	2

Régénération <i>in vitro</i> et caractérisation physiologique de variants somaclonaux de glaiëul (<i>Gladiolus grandiflorus</i> Hort.) tolérants aux basses températures <i>In vitro</i> regeneratie en fysiologische karakterisering somaklonale varianten van glaiël (<i>Gladiolus grandiflorus</i> Hort.) die lage temperatuur verdragen Regeneración <i>in vitro</i> y caracterización fisiológica de variantes somaclonales de gladiolos (<i>Gladiolus grandiflorus</i> Hort.) tolerantes a bajas temperaturas	
T. Bettaieb, M. Denden & M. Mhamdi	10

Influence des facteurs environnementaux sur la répartition spatiale des crevettes dans un petit bassin ouest africain - rivièr Boubo- Côte d'Ivoire Invloed van milieufactoren op de ruimtedistributie van garnalen in een klein bekken van de West-Afrikaanse Boubo Rivier – Ivoorkust Influencia de los factores medioambientales en la distribución espacial de los camarones en una microcuenca del oeste africano - río Boubo-Costa de Marfil	
G.K. N'Zi, B.G. Gooré, E.P. Kouamélan, T. Koné, V. N'Douba & F. Ollevier	17

Effet des poudres d' <i>Eucalyptus citriodora</i> , de <i>Cupressus lucitanica</i> et de <i>Tagetas minitiflora</i> dans la conservation du maïs (<i>Zea mays</i>) et du haricot (<i>Phaseolus vulgaris</i>) dans les conditions de Rethy, République Démocratique du Congo Het effect van poeders van <i>Eucalyptus citriodora</i> , <i>Cupressus lucitanica</i> en <i>Tagetas minitiflora</i> op de bewaring van maïs (<i>Zea mays</i>) en bonen (<i>Phaseolus vulgaris</i>) in de condities van Rethy (Democratische Republiek Congo) Efecto de polvos de <i>Eucalyptus citriodora</i> , <i>Cupressus lucitanica</i> y <i>Tagetas minitiflora</i> en la conservación del maíz (<i>Zea mays</i>) y del frijol (<i>Phaseolus vulgaris</i>) en las condiciones de Rethy, República Democrática del Congo	
Kaloma A., K. Kitambala, N.L. Ndjango, U. Sinzahera & T. Paluku	24

Evaluation de l'impact économique du cotonnier sans gossypol en Côte d'Ivoire Evaluatie van de economische impact van de gossypolvrije katoenboom in Ivoorkust Evaluación del impacto económico del algodón sin gossipol en Costa de Marfil	
H.S. Zagbaï, F. Berti & P. Lebailly	28

Influence de la mortalité des cacaoyers sur la stabilité de la production dans une plantation industrielle Invloed van de mortaliteit van cacao's op de productiestabiliteit in een industriële plantage Influencia de la mortalidad de los cacao's sobre la estabilidad de la producción, en una plantación industrial	
Ph. Bastide, D. Paulin & Ph. Lachenaud	33

Hatchability of African Catfish <i>Clarias gariepinus</i> Eggs in Hapas and in Basins: a Diagnostic Study of Frequent Inhibition by Rainfall and Water Stagnation Ecllosion des oeufs de poisson chat africain <i>Clarias gariepinus</i> en hapas et en bassins: étude diagnostique de l'inhibition fréquente par la pluie et la stagnation de l'eau Uitbroeden van Afrikaanse katvis <i>Clarias gariepinus</i> eieren in hapas en in reservoirs: een diagnostische studie van frequente inhibitie door regenval en waterstagnatie Ecllosión de huevos de pez-gato africano <i>Clarias gariepinus</i> en hapas y estanque: estudio diagnóstico de la inhibición frecuente por lo lluvia y la estagnación del agua	
S. Yong-Sulem, R.E. Brummett & J. Tchoumboué	39

Etude comparative des coagulations du lait par actions de l'extrait des écorces de l' <i>Ongokea gore</i> et des enzymes coagulants bien connus Het stremmen van melk met behulp van schorsextracten van <i>Ongokea gore</i> vergeleken met de actie van extracten van welbekende stremmingenzymen Estudio comparativo de la acción de extractos de cortezas de <i>Ongokea gore</i> versus enzimas coagulantes bien conocidas, en la coagulación de la leche	
D.G. Libouga	43

Animal Traction: an Underused Low External Input Technology among Farming Communities in Kaduna State, Nigeria Traction animale: une faible technologie du matériel agricole sous-exploitée par les communautés rurales dans l'état de Kaduna au Nigeria Dierlijke trekkracht: een te zwak gebruik van laag technologisch landbouwmateriaal binnen de landbouwgemeenschappen van de Staat Kaduna, Nigeria Tracción animal: baja tecnología del material agrícola sub-explotada por las comunidades rurales en el estado de Kaduna en Nigeria	
S. Adunni Sanni	48

Efficacité biopesticide de <i>Hyptis spicigera</i> Lam., <i>Azadirachta indica</i> A. Juss. et <i>Euphorbia balsamifera</i> Ait. sur le niébé <i>Vigna unguiculata</i> L. Walp. Biopesticide efficiëntie van <i>Hyptis spicigera</i> Lam., <i>Azadirachta indica</i> A. Juss. en <i>Euphorbia balsamifera</i> Ait. Has. op <i>Vigna unguiculata</i> L. Walp. Eficacia bioplaguicida de <i>Hyptis spicigera</i> Lam., <i>Azadirachta indica</i> A. Juss. y <i>Euphorbia balsamifera</i> Ait. en el control de plagas del caupi <i>Vigna unguiculata</i> L. Walp.	
D. Bambara & J. Tientoré	53

Influence du feu et du pâturage sur l'évolution de la phytomasse d'une savane à <i>Heteropogon contortus</i> de la région de Sakaraha (sud-ouest de Madagascar) Invloed van brand en weiland op de evolutie van de phytomassa van een <i>Heteropogon contortus</i> savanne in het Sakaraha gebied (Zuidwestelijk Madagascar) Influencia del incendio y del pastoreo sobre la evolución de la fitomasa de una sabana a <i>Heteropogon contortus</i> en la región de Sakaraha (sudeste de Madagascar)	
V. Rakotoarimanana, M. Grouzis & E. Le Floc'h	56

LES ACTIONS DE LA DGCD/DE ACTIVITEITEN VAN DE DGIS/LAS ACTIVIDADES DE LA DGCD	61
---	----

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

***Jatropha curcas*: what sustainability?**

Since a few years *Jatropha curcas* L. is considered as one of the most promising solutions to the climate changes, energy security and rural poverty issues affecting the world. Among all the oil bearing crops, it has emerged as the focal point for the bio-fuel industry with rapid research & development investments flowing into its cultivation, processing and conversion in bio-diesel. Primary characteristics favouring *Jatropha* over other bio-fuel feedstock crops are its non food nature, its multiple uses (oil production, plot delimitation, traditional medicine, pest control, etc.), reported ability to grow on marginal land and the need for limited rainfall. There are also claims of *Jatropha* interest in preventing deforestation and desertification, and improving soil fertility. All these putative assets have made *Jatropha* a kind of “wonder shrub” which attracts investors as efficiently as the El Dorado legend the Conquistadores four hundred years ago. However, as recently put in evidence by Achten *et al.* (2008)*, serious scientific and technical efforts are still needed to understand fully basic agronomic properties and possible environmental risks of the crop. *J. curcas* is still a wild plant which exhibits a lot of variability in yield, oil content and oil quality. Contrary to what is often announced on the internet, it cannot perform all its functions together (oil-production, land reclamation, erosion control, etc.) at the best level without adequate external input applications. Based on the available information, it is still difficult to conclude if *J. curcas* is globally a sustainable alternative for fossil fuels. It is expected to produce oil in a renewable way but it is not yet clear at which cost. When marginal lands are exploited, the impact on the soil seems to be positive, depending on used practices and type of soil but its contribution to soil restoration might be obtained at the expense of biodiversity loss. The environmental impacts are lower when *J. curcas* is exploited at local scale, thanks to the reduction of the energetic cost related to transportation, and when the by-products of the bio-diesel production system are efficiently used. With respect to land-use and water resource pressures there is well-founded concern that expansion of *J. curcas* cultivation could be at the expense of food production in many rural areas. Though amenable to growing on marginal land, commercial pressure to maximise profit is likely to result in best lands and ground water resources being appropriated for *Jatropha* cultivation. Another critical point concerns the social sustainability of the *Jatropha* cultivation. Huge *Jatropha* centralized estates, even employing thousands of workers, aiming at producing bio-fuel for the national or international markets won't certainly have equivalent economic, environmental and social impacts as individual farmers producing on their own land the same volumes of *Jatropha* oil. Rural development obtained through the set up of decentralized *Jatropha* production and marketing chains should be socially, economically and environmentally more sustainable than the benefits generated by large-scale estates even if job creation in those centralized systems comply with national and international labour standards. We have learned from history that the strengthening of family agriculture is the backbone of a harmonious and efficient rural development. In most African countries where land is “de jure” owned by the state, the possibility of appropriation of huge estates by private companies interested in the lucrative biofuel markets put at risk the tenure security of poor farmers and threatens the perspectives of a well-balanced local development. Linking the production of *Jatropha* to a variety of appropriate technologies, such as local diesel electricity generators, vegetal oil stove and lamps, unsophisticated soap-producing plants, simple food-processing machinery, allows generation of regional value chains that expand employment opportunities. If people can produce oil directly in villages and transform it themselves in bio-fuels using decentralized plants they can achieve energy self-sufficiency and open the door to sustainable development. To assure the most sustainable exploitation of the indubitable potentialities of *Jatropha curcas* the efforts should be concentrated on the alleviation of the constraints that limit its cultivation on marginal lands and in traditional farming systems. The development of productive agro-forestry systems involving *Jatropha* with low quantities of external inputs is certainly a priority. This means the selection of genotypes able to produce profitably in suboptimal conditions and the development of production practices that are best adapted to grow these genotypes in association with food crops. Another crucial issue concerns the creation of decentralized production and marketing chains allowing the valorisation of *Jatropha* production at a local scale. Coordinated research and development actions carried out at national and international levels are necessary to reach a real sustainable *Jatropha* production. All persons interested in this enterprise can consult the following internet site: <http://www.ifad.org/events/jatropha/index.htm>.

Guy Mergeai
Chief Editor of Tropicultura

*Achten WMJ, Verchot L, Franken YJ, Mathijs E, Singh VP, Aerts R, Muys B *Jatropha* bio-diesel production and use. *Biomass and Bioenergy* (2008), doi :10.1016/j.biombioe.2008.03.003.

ARTICLES ORIGINAUX

OORSPRONKELIJKE ARTIKELS

ORIGINAL ARTICLES

ARTICULOS ORIGINALES

Clasificación y evaluación edafológica de tres sitios experimentales del altiplano central de México

B. Govaerts^{1,3*}, Martha Gabriela Barrera-Franco, A. Limón-Ortega², P. Muñoz-Jiménez, K.D. Sayre³ y J. Deckers¹

Keywords: Edaphological evaluation- Soil classification- Soil limiting factors- Conservation agriculture practices- Mexico

Resumen

La evaluación edafológica y clasificación del suelo constituyen una herramienta indispensable para el entendimiento de los resultados del obtenidos con obre estudios agronómicos y experimentos a largo plazo comparando diferentes sistemas de manejo (labranza cero vs convencional, manejo de residuos, etc.). El objetivo de este artículo es presentar los resultados de la evaluación, análisis y clasificación edafológica de tres sitios, del altiplano central de México. La determinación de los factores edafológicos permite conocer las limitantes antes de difundir las tecnologías de agricultura de conservación desarrolladas por el programa de agronomía del INIFAP en colaboración con el CIMMYT. Los resultados indican que los suelos clasificados, según el sistema de clasificación de la FAO y el sistema taxonómico del USDA, corresponden en Santa Lucía a un Phaeozem cumúlico, o un Cumulic Haplustoll, en El Horno a un Fluvisol mólico, o Mollic Ustifluvents y un Fluvisol háplico, o Typic Ustifluvents, y en Calpulalpan a un Phaeozem petrodúrico, o Entic Duristoll. Los factores limitantes para la producción agrícola en la zona se relacionan principalmente con la disponibilidad de agua, los cambios en estructura y textura a lo largo de los perfiles, el bajo contenido de materia orgánica y el alto riesgo de erosión. Se recomienda la experimentación y extensión agrícola para la implementación de prácticas de agricultura de conservación.

Summary

Edaphological Classification and Evaluation of Three Experimental Sites in the Altiplano Central of Mexico

The edaphological evaluation and soil classification of experimental areas sites are important instruments for the correct interpretation of agronomical results and decision-making about targeting and ex-ante evaluation of agricultural technology transfer. The objective of this article is to present the results of the edaphological evaluation soil, analysis and classification of three sites located in the altiplano central of Mexico. We wanted to determine the limiting factors for agricultural production before recommending conservation practices, as developed by INIFAP in collaboration with CIMMYT. The soils were classified both under the FAO classification system and USDA Soil Taxonomy in Santa Lucía as a cumulic Phaeozem, or a Cumulic Haplustoll, in El Horno as a mollic Fluvisol or Mollic Ustifluvents and a haplic Fluvisol or Typic Ustifluvents, and in Calpulalpan, a petroduric Phaeozem, or Entic Duristoll. The limiting factors for crop production are mainly related to moisture availability, varying structure and texture along the profile, low organic matter content and risk of erosion. Taking into account these limiting factors further development, extension and implementation of conservation agriculture practices is highly recommended.

Introducción

Las prácticas de manejo para la conservación del suelo, como la labranza de conservación (labranza reducida, labranza cero o camas permanentes), la rotación de cultivos y el manejo racional de los residuos de cosecha resultan en una serie de beneficios. Algunos de éstos son reducción de la erosión del suelo (12), retención de mayor humedad, mayor rendimiento, mejor estructura del suelo, mayor disponibilidad de nutrientes y mayor contenido de materia orgánica (1, 2, 3, 6, 14). Cuando se cambia de un sistema de agricultura tradicional hacia uno de agricultura de conservación (4), se debe considerar que hay un periodo de transición en el cual el nuevo sistema logra un equilibrio ecológico a mediano plazo. Por ejemplo con la incorporación retención de residuos de cosecha, se induce un cambio en el ciclo de C y N, el cual influirá en la disponibilidad inmediata de nutrientes (12, 16, 17). El tiempo necesario para llegar a un sistema estable dependerá de las condiciones edafológicas y climáticas. Dada la importancia de las propiedades edafológicas en los procesos agronómicos, es necesario evaluar y clasificar correctamente el suelo para una mejor predicción de la necesidad de implementar las nuevas tecnologías agronómicas y sus posibles impactos. La información obtenida ayudará a una focalización correcta y

una evaluación de impacto *ex ante* para obtener una inversión mas óptima de los recursos disponibles en la extensión de tecnologías.

El objetivo de este trabajo es presentar los resultados de la evaluación, análisis y clasificación edafológica de tres sitios del altiplano central de México (Figura 1). La determinación de los factores edafológicos debe permitir conocer las limitantes antes de difundir las tecnologías de agricultura de conservación desarrolladas por el programa de agronomía del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) en colaboración con el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT).

Materiales y métodos

Protocolos

En octubre del 2003 se realizó la evaluación edafológica, la descripción en campo de perfiles, y la determinación de factores limitantes de acuerdo con la metodología propuesta por Siebe *et al.* (15). Se evaluaron tres sitios en el altiplano de Mexico que sirven como puntos focales para la extensión de la tecnología en la region; dos estaciones experimentales

¹Katholieke Universiteit Leuven, Faculty of Bioscience Engineering; Division Soil and Water Management; Celestijnenlaan 200 E, 3001 Leuven, Belgium.

²INIFAP-CEVAMEX, AP10, Km 17.5 Carr. México-Lechería, CP 56230, Chapingo, México.

³CIMMYT, Apdo. Postal 6-641, 06600 México, D.F., México.

* b.govaerts@cgiar.org

Recibido el 03.05.04 y aprobado su publicación el 12.09.06.

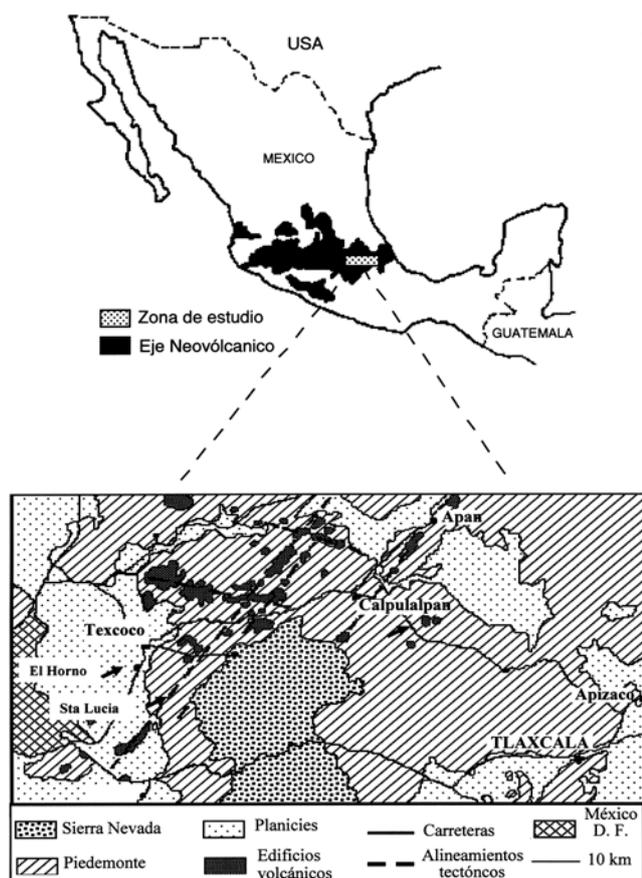


Figura 1: Localización de los campos experimentales INIFAP-CEVAMEX (Peña y Zebrowski, 1993 en Báez Pérez, 2001).

del INIFAP en el valle de México (el Horno y Santa Lucía), y un campo de agricultores en Calpulalpan estado de Tlaxcala donde se realizan actividades de investigación sobre manejo agronómico. Debido a la alta variabilidad vegetativa observada en la estación experimental El Horno, se evaluaron dos perfiles, identificados como perfil I y perfil II. En Santa Lucía y Calpulalpan se evaluó un perfil en cada sitio. Se determinó la localización de los sitios con un GPS. Para los análisis de laboratorio se tomó 1 kg de muestra de cada horizonte. Se determinó el pH (1:2 suelo:agua y 1:2 suelo:0.01 M KCl); el contenido de carbono orgánico (19); la conductividad eléctrica del extracto de saturación; la capacidad de intercambio catiónico (CIC) (11); la saturación de bases (SB); y la textura por el método del hidrómetro. Se calcularon y determinaron los climatogramas generales con datos diarios de las estaciones climatológicas más cercanas a los sitios sobre un periodo de >20 años (1982-2003 para El Horno y Santa Lucía; 1974-2001 para Calpulalpan). Se calculó el periodo de crecimiento de la planta (PCP) usando la definición de la FAO (7). Los perfiles de suelo y el clima se clasificaron de acuerdo con la clave *World Referente Base* (WRB) (8) y la clave taxonómica de suelos del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA) (18).

Información general de los sitios

Los perfiles de Santa Lucía (2280 msnm, 19° 26'N, 98° 53'O) y El Horno (Perfil I: 2280 msnm, 19° 29'N, 98° 53'O; Perfil II: (2280 msnm, 19° 29'N, 98° 53'O) pertenecen a la misma zona geográfica. Se encuentran en la zona de planicie cercana al antiguo Lago de Texcoco en el Estado de México. La temperatura media y la precipitación anual en ambos sitios es de 15.45 °C y 644 mm respectivamente, la temperatura mínima y máxima promedio es de 5.78 y 24.60 °C respectivamente (datos calculados 1982-2003). Las lluvias se distribuyen irregularmente durante los meses de Mayo a Octubre, periodo en el que se registra aproximadamente un

88% (566 mm) del total; en promedio (>20 years) el mes de julio es el más lluvioso (datos calculados 1982-2003) (Figura 2). La evapotranspiración potencial excede a la precipitación (Figura 2). El PCP en la zona es de 152 días y el clima es clasificado como semi-árido (7). De acuerdo con la clasificación de USDA, el clima se encuentra dentro del régimen *ustic*. Este régimen indica que existe humedad, aunque limitada, durante la época de cultivo. Fisiográficamente, la zona pertenece al Eje Neovolcánico, Subprovincia Lagos y Volcanes del Anáhuac. Se encuentra dentro de la planicie aluvial en la región hidrológica del Alto Pánuco y se ve influenciada por la presencia de corrientes torrenciales que van del este al oeste (13). La vegetación original estaba conformada principalmente por pastizales (13) en la actualidad, todas están convertidas en áreas cultivadas principalmente de maíz (*Zea mays* L.).

En Calpulalpan, Estado de Tlaxcala, México (2500 msnm, 19° 34'N, 98° 32'O), la temperatura media anual es de 13.69 °C y la precipitación total anual de 634 mm (datos calculados 1974-2001). La temperatura mínima y máxima promedio son de 5 y 22 °C, respectivamente. Las lluvias se distribuyen irregularmente, principalmente durante los meses de Junio a Septiembre, en los que se registra el 68% (422 mm) del total de precipitación; agosto es el mes más lluvioso (datos calculados 1974-2001). La evapotranspiración potencial excede a la precipitación (Figura 3). El PCP es de 122 días. El clima en Calpulalpan es semi-árido (7) y está bajo el régimen *ustic* (18). El Estado de Tlaxcala se ubica en su

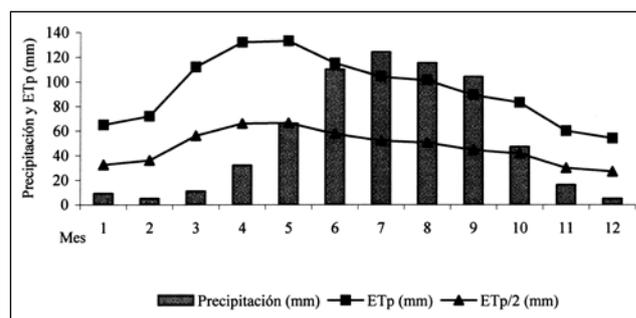


Figura 2: Climograma correspondiente a las estaciones Santa Lucía y El Horno (calculado con datos diarios de clima 1982-2002). PCP=Periodo de Crecimiento de la Planta.

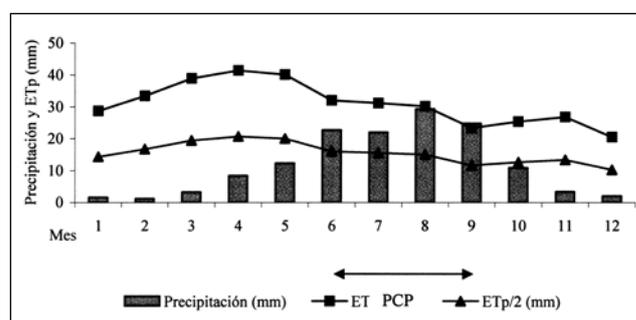


Figura 3: Climograma correspondiente al campo de agricultores en Calpulalpan (calculado con datos diarios de clima 1974-2001). PCP=Periodo de Crecimiento de la Planta.

totalidad dentro de la zona fisiográfica del Eje Neovolcánico. La zona de estudio forma parte de la región hidrológica del Alto Pánuco. En particular, la zona de glacis de piedemonte de Calpulalpan está constituida por depósitos volcánicos del Cenozoico correspondientes al periodo Terciario, en su mayoría tobas intermedias (13). En Calpulalpan, la vegetación original estaba constituida principalmente por bosques de encino y/o por pastizales, y actualmente existen grandes superficies cultivadas con maíz, trigo (*Triticum aestivum*) y cebada (*Hordeum vulgare*) (13, 20, 21).

Tabla 1
Levantamiento en campo (a) Santa Lucía, (b) El Horno (perfil I), (c) El Horno (perfil II), y (d) Calpulalpan

(a) Santa Lucía		Profundidad (cm)	Horizonte	Pedregosidad (volumen, %)	Color (húmedo)	pH	Salinidad (dS m ⁻¹)	Estructura		Da (g cm ⁻³)	Poros (abundancia, tamaño, forma, distribución)	Densidad Raíces	Límite
								Forma tamaño grado	Estabilidad				
		0-30	Ap	Cantos finos 2%	10 YR 3/2	4.5	0.27	Subangular fina	Moderada	1.21	Comunes, micro, vesiculares, inped	Muy alta	Claro uniforme
		30-85	A	Cantos finos <1%	10 YR 3/2	4.5	0.62	Migajón media moderada	Moderada	0.85	Pocos, finos, vesiculares, exped	Alta	Claro uniforme
		85-95	2AC	Gravas finas y gruesas >50%	10 YR 3/2	4.5	0.13	Sin agregación	No aplica	1.05	No presenta	No presenta	Claro uniforme
		95-142	3Ab ₁	Piedras 15%	10 YR 2/2	5.5	0.16	Subangular fina	Muy baja	1.01	Pocos, finos, vesiculares, exped	No presenta	Claro uniforme
		142-180	3Ab ₂	Gravas finas 1%	10 YR 2/1	5.0	0.21	Migajón gruesa débil	Muy baja	1.10	Pocos, finos, vesiculares, exped	No presenta	Claro uniforme
(b) El Horno (perfil I)													
		0-10	Ap ₁	1%	10 YR 3/2	5.5	0.23	Fragmentos, fuerte	Muy baja	1.12	Comunes, finos, tubulares, exped	Extrema alta	Claro irregular
		10-24	Ap ₂	1%	10 YR 3/2	5.5	0.13	Angular, fina, fuerte. 1 nódulo	Muy baja	1.09	Pocos, muy finos, irregulares, exped	Muy alta	Gradual uniforme
		24-50	AC ₁	1%	10 YR 3/3	5.0	0.09	Migajón, media, moderada	Muy baja	1.04	Comunes, micro, vesiculares, inped	Alta	Gradual uniforme
		50-61	AC ₂	Redondas, gravas media 7%	10 YR 3/2	5.0	0.20	Migajón, media, débil	Muy baja	1.40	No presenta	Media	Gradual uniforme
		61-77	2C ₁	Redondas, piedras angulares 40%	10 YR 4/2	5.0	0.12	Sin agregación	No aplica	1.47	No presenta	No presenta	Gradual ondulado
		77-100	2C ₂	Redondas, gravas finas 7%	10 YR 4/3	5.0	0.31	Migajón, media, muy débil	Muy baja	1.52	Pocos, micro, vesiculares, inped	No presenta	Gradual uniforme
		100-115	2C ₃	Redondas, gravas finas 20%	10 YR 3/1	5.0	0.21	Migajón, media, muy débil	Muy baja	1.25	No presenta	No presenta	Gradual ondulado
		115-153	3Ab ₁	Redondas, gravas finas 1%	10 YR 3/3	5.5	0.22	Angular, fina, moderada	Baja	0.84	Pocos, finos, vesiculares, exped	No presenta	Claro ondulado
		153-180	3Ab ₂	Redondas, gravas finas 1%	10 YR 3/1	6.0	0.23	Subangular, fina, moderada	Baja	0.86	Pocos, micro, vesiculares, inped	No presenta	Claro uniforme
(c) El Horno (perfil II)													
		0-7	Ap ₁	Redondas, gravas medias 2%	10 YR 3/2	5.0	0.11	Subangular, fina, media, moderada	Baja	1.47	Pocos, micro, irregulares, inped	Muy alta	Claro ondulado
		7-27	Ap ₂	Redondas, gravas medias 2%	10 YR 3/2	5.5	0.07	Subangular, fina, moderada	Baja	1.34	Pocos, micro, irregulares, inped	Muy alta	Claro ondulado
		27-67	2C	Redondas, piedras >50%	10 YR 4/1	5.0	0.04	No agregada	No aplica	1.30	No presenta	No presenta	Claro ondulado
		67-130	3Ab ₁	Redondas, gravas medias <1%	10 YR 3/2	5.5	0.14	Subangular, muy fina, débil	Baja	0.90	Comunes, muy finos, vesiculares, exped	No presenta	Claro ondulado
		130-180	3Ab ₂	Angulares, cantos medios <1%	10 YR 3/1	5.5	0.19	Subangular, fina, muy débil	Moderada	1.03	Comunes, muy finos, vesiculares, exped	No presenta	Difuso ondulado
(d) Calpulalpan													
		0-26	Ap	<1%	10 YR 2/1	6+	0.22	Fragmentos, variable, moderada	1.47	1.37	Pocos, micro, vesiculares, inped	Muy alta	Claro uniforme
		26-62	A	<1%	10 YR 2/1	5.0	0.26	Subangular, fina, moderada	Muy baja	1.35	Comunes, micro, vesiculares, exped	Alta	Claro uniforme
		62-100	2AC	No aplica	No se midió	4.5	0.06	Cementado	No aplica	No aplica	No aplica	No presenta	Claro uniforme

Tabla 2
Análisis de Laboratorio (a) Santa Lucía, (b) El Horno (perfil I), (c) El Horno (perfil II), y (d) Calpulalpan

Profundidad (cm)	Horizonte	MO (%)	Humedad (%)	Arcilla Limo Arena			N (%)	Ca Mg K Na CIC SB (%)					
				----- (%) -----				----- (meq 100g ⁻¹) -----					
0-30	Ap	1.96	28.37	42.3	28.9	28.8	0.147	12.9	7.0	0.9	0.3	12.1	174
30-85	A	0.58	27.24	27.3	33.9	38.8	0.047	10.4	5.9	0.3	0.5	10.9	156
85-95	2AC	0.52	6.08	9.3	9.4	81.3	No se midió	4.2	2.1	0.1	0.2	9.0	74
95-142	3Ab ₁	1.54	18.35	23.9	32.3	43.8	No se midió	10.8	5.0	0.3	0.5	12.2	136
142-180	3Ab ₂	2.00	22.47	26.0	31.4	42.6	No se midió	13.0	5.0	0.2	0.6	11.2	168
(b) El Horno (perfil I)													
0-10	Ap ₁	1.29	20.12	33.6	22.6	43.8	0.088	9.6	5.2	1.1	0.4	13.1	124
10-24	Ap ₂	1.00	18.79	33.0	23.2	43.8	0.077	9.7	5.1	0.6	0.5	13.1	122
24-50	AC ₁	0.34	18.47	21.2	25.0	53.8	0.027	8.3	4.3	0.4	0.5	13.1	103
50-61	AC ₂	0.36	12.75	29.0	30.9	40.1	No se midió	10.4	5.3	0.3	0.7	13.0	128
61-77	2C ₁	0.08	7.17	7.3	11.3	81.4	No se midió	3.8	1.9	0.2	0.2	7.3	83
77-100	2C ₂	0.20	17.10	15.6	16.9	67.5	No se midió	6.2	3.2	0.3	0.4	10.7	94
100-115	2C ₃	0.08	13.77	6.3	7.3	86.4	No se midió	2.2	1.1	0.1	0.1	5.1	70
115-153	3Ab ₁	0.35	35.42	41.6	48.4	10.0	No se midió	12.7	8.7	1.0	0.9	16.0	146
153-180	3Ab ₂	0.72	42.35	66.7	28.2	5.1	No se midió	14.0	13.7	1.5	1.0	29.9	101
(c) El Horno (perfil II)													
0-7	Ap1	0.89	13.98	25.4	15.8	58.8	0.066	8.0	4.4	0.6	0.2	11.6	114
7-27	Ap2	0.52	14.92	21.7	17.0	61.3	0.037	6.9	3.8	0.3	0.3	10.2	111
27-67	2C	0.07	8.42	5.0	4.7	90.3	No se midió	2.8	1.6	0.2	0.2	6.3	76
67-130	3Ab ₁	0.88	36.33	33.3	31.7	35.0	No se midió	10.3	7.7	0.8	0.8	17.6	111
130-180	3Ab ₂	1.36	23.49	37.7	45.2	17.1	No se midió	13.2	10.7	1.2	0.9	17.5	148
(d) Calpulalpan													
0-26	Ap	1.50	16.33	19.7	21.5	58.8	0.087	5.5	3.5	0.2	0.2	9.4	100
26-62	A	0.91	17.47	22.5	21.2	56.3	0.059	12.9	7.0	0.9	0.3	12.1	174
62-100	2AC						No se midió						

Resultados y Discusión

Levantamiento en campo y análisis de laboratorio

El perfil de Santa Lucía (Figura 4) se dividió en cinco estratos de acuerdo a la acumulación estratificada de material con partículas de diferentes tamaños y variaciones en el contenido de materia orgánica (Tablas 1 y 2). Se puede distinguir una capa arable hasta los 30 cm de profundidad (Ap), la cual presenta una densidad aparente mayor en relación con el resto de los horizontes. Se encontraron raíces hasta los 50 cm, aunque la profundidad potencial de las mismas es de 85 cm. La baja porosidad en la parte superior del perfil puede ser el resultado de la intensa actividad agrícola que consiste en la siembra anual de cultivos, principalmente trigo y maíz, bajo sistemas de labranza convencional (arado a 30 cm seguido por dos, o hasta a tres rastreos). El segundo horizonte se clasificó como A al no estar influenciado por el arado y de acuerdo con el contenido de materia orgánica (0.58%). El tercer horizonte presenta una cantidad importante de piedras (> 50%), carece de estructura (hay un cambio importante en la textura y acumulación de materia orgánica), la humedad disminuye drásticamente (de pF 3.5 a 5), y fue clasificado como un estrato de transición hacia una capa mineral no consolidada (2AC). Los dos horizontes restantes se consideraron 3Ab₁ y 3Ab₂, respectivamente, variando entre ellos el contenido de piedras. Esta asignación se debe al incremento en el contenido de materia orgánica (Tabla 2) y la presencia de una estructura en comparación con los estratos superiores (Tabla 2), lo que podría indicar que son horizontes que han sido invertidos por la actividad agrícola.

El perfil I en el campo en El Horno (Figura 5) tiene una acumulación estratificada de material con diferentes

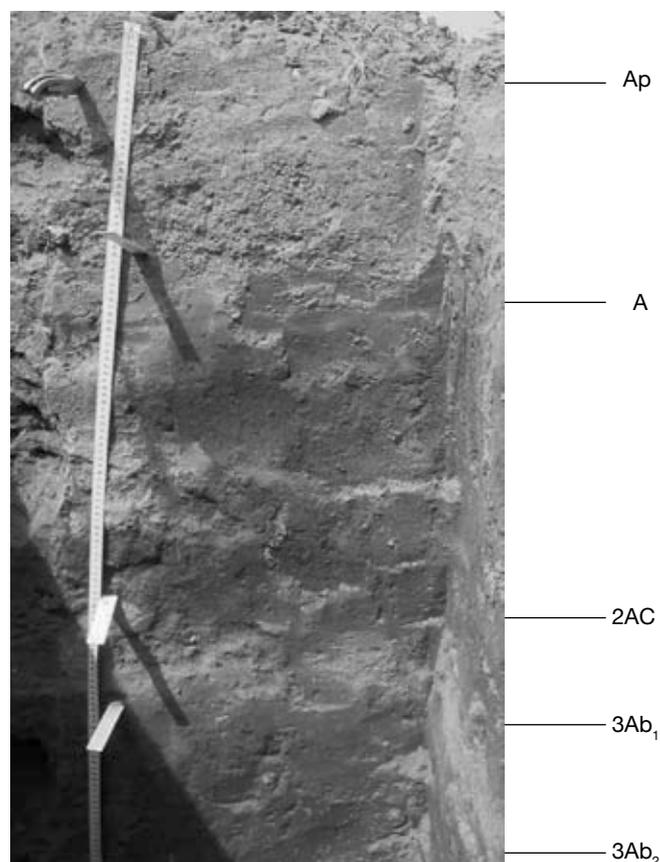


Figura 4: Perfil bajo estudio en Santa Lucía.

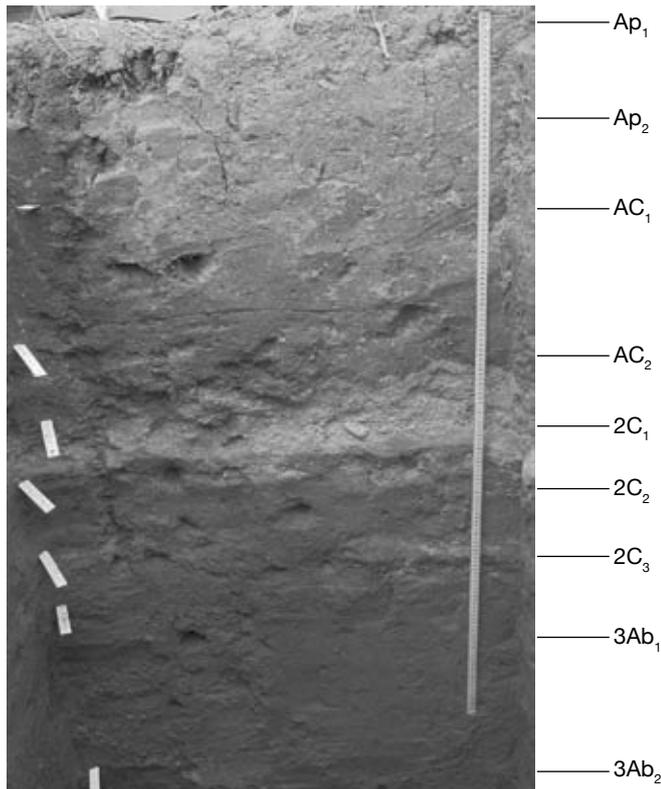


Figura 5: Perfil I en El Horno.

tamaños de partículas, se dividió en nueve estratos. Se distinguen dos capas arables, la primera hasta los 10 cm de profundidad (Ap₁) y la segunda, hasta los 24 cm (Ap₂) (Tabla 1). El tercero y cuarto horizonte se clasificaron como estratos de transición hacia capas minerales no consolidadas (AC₁ y AC₂), estos tienen diferente contenido de piedras, textura y densidad de raíces (Tablas 1 y 2). Las raíces se encuentran sólo hasta los 60 cm, debido a la gran cantidad de piedras encontradas a partir del cuarto horizonte. La pedregosidad, textura y estructura del quinto, sexto y séptimo horizonte son diferentes y fueron asignados como 2C₁, 2C₂ y 2C₃ (Tablas 1 y 2). Finalmente, los últimos dos estratos se denominaron 3Ab₁ y 3Ab₂ ya que la presencia de estructura, el cambio de textura y el incremento en el contenido de materia orgánica sugieren que se trata de horizontes invertidos (Tablas 1 y 2). La estabilidad de agregados a lo largo del perfil (incluso el quinto horizonte carece de estructura) es muy baja y se relaciona con las variaciones en la cantidad de arena encontrada en cada uno de los horizontes.

En el perfil II en El Horno (Figura 6), existe una acumulación estratificada de material con partículas de distintos tamaños. Se distinguen dos capas arables: la primera hasta los 7 cm (Ap₁) y la segunda hasta los 27 cm (Ap₂). Nuevamente, la presencia de raíces se ve limitada por un horizonte con alta pedregosidad. El tercer horizonte 2C se distingue del cuarto y quinto estrato (3Ab₁ y 3Ab₂, respectivamente) por su origen. Esto ha dado como resultado un nivel diferente entre estratos de pedregosidad, estructura y textura (Tablas 1 y 2). En general también se presenta una baja estabilidad de agregados, los cuales tienden en su mayoría a formar una estructura subangular, con excepción del tercer horizonte, que no está estructurado (Tablas 1 y 2).

El perfil en Calpulalpan (Figura 7) se dividió en tres diferentes estratos: una capa arable que llega hasta los 26 cm (Ap) con una estructura disturbada, un horizonte A con estructura subangular y un estrato 2AC. Estas diferencias se deben al cambio drástico en textura y acumulación

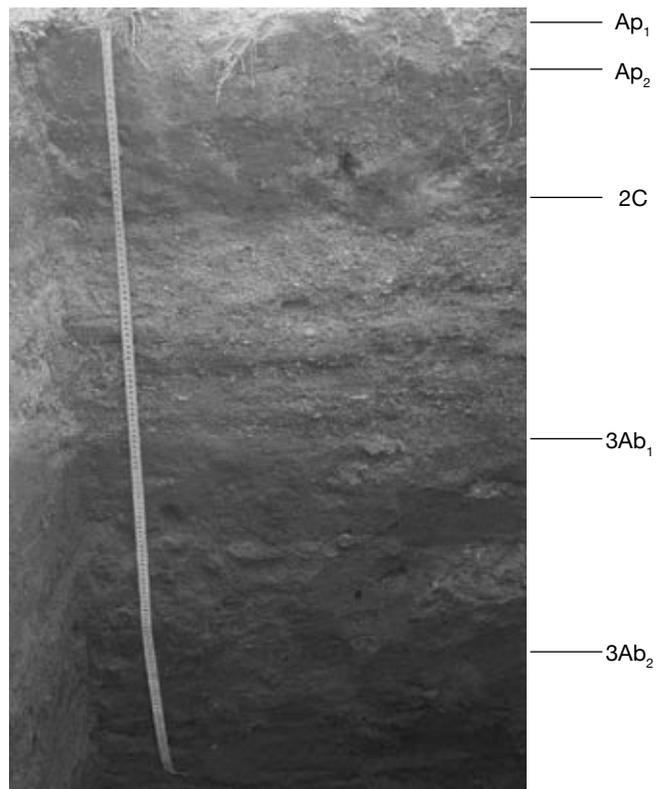


Figura 6: Perfil II en El Horno.

de material orgánico entre estratos. Este último horizonte presenta las características correspondientes a un tepetate de color pardo y lamelas que reaccionan al CaCO₃ (pH 5.5, conductividad eléctrica de 0.1 dS m⁻¹); el resto del horizonte 2AC no presenta esta reacción (pH 4, conductividad eléctrica de 0.06 dS m⁻¹). El comienzo de este estrato marca el límite de crecimiento de las raíces. Los primeros dos horizontes tienen una muy baja estabilidad de agregados.

Clasificación del suelo

En la estación de Santa Lucía se asignó, bajo el sistema WRB (8) y USDA (18), un horizonte de diagnóstico o epipedon mólico (*L. mollis*, suave). Es un horizonte bien estructurado (generalmente granular o subangular, en bloques), de color oscuro, con alta saturación de bases (> 50%) y un contenido moderado de materia orgánica (> 1%) (8). Para indicar la acumulación de material se clasificó el suelo en el WRB como *Phaeozem cumúllico*. En el sistema USDA el orden de suelo corresponde a un *Mollisol*. Debido a que el clima del área se clasifica como ústico y el suelo no presenta ningún atributo en particular, se asignó un suborden de *Ustolls* con el gran grupo *Haplustoll* y un subgrupo *Cumulic*. Los suelos *Cumúlicos* se forman a partir de sedimentos fluviales donde hay una deposición importante de materia orgánica, resultado de eventos de inundación. El cambio drástico en el tamaño de las partículas y las fluctuaciones en el contenido de carbono orgánico son característicos de ambientes fluviales. A nivel de familia y según la distribución de partículas, la mineralogía y la clase de temperatura del suelo, el perfil en Santa Lucía se clasificó como un *fine-loamy mixed thermic Cumulic Haplustoll*.

De acuerdo con el WRB, el perfil I de El Horno corresponde a un *Fluvisol mólico*, y el perfil II a un *Fluvisol háptico*. En el USDA el orden de suelo de los perfiles corresponde a un *Entisol*. Se les asignó el suborden *Fluvents* y el gran grupo *Ustifluent* debido a que: el suelo no presenta contacto *densic*, *lithic* ni *paralithic* dentro de los primeros 25 cm; el

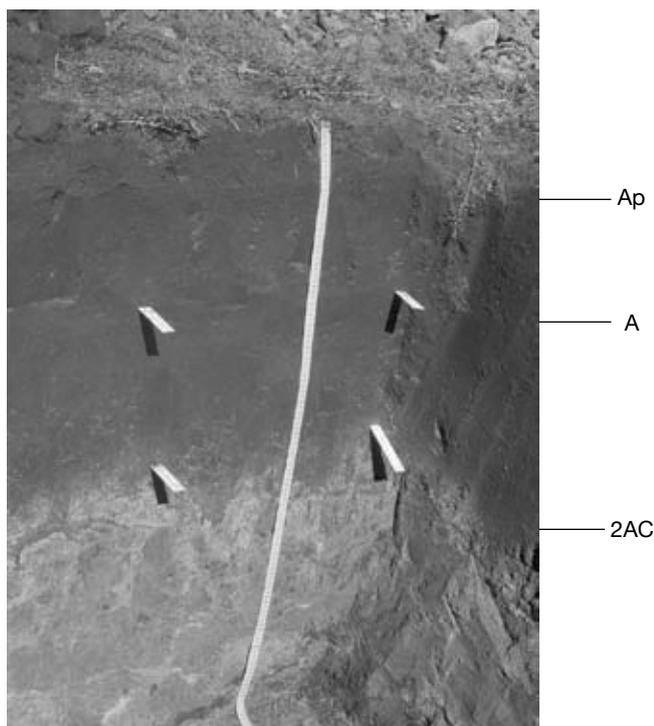


Figura 7: Perfil bajo estudio en Calpulalpan.

contenido de materia orgánica decrece de manera irregular; y el régimen de humedad se identificó como *ustic*. Además, se asignó el perfil I al subgrupo *Mollic* debido a la gran cantidad de materia orgánica en el estrato superficial del suelo. A nivel de familia y de acuerdo con la distribución de partículas, la mineralogía y la clase de temperatura del suelo, el perfil I en El Horno corresponde a un *fine-loamy over sandy mixed thermic Mollic Ustifluvents*. El perfil II se clasifica como *loamy over sandy mixed thermic Typic Ustifluvents*. Los *Fluvisoles* son suelos poco desarrollados a partir de depósitos aluviales, ya sea fluviales, lacustres o marinos (*L. fluvius*, río).

Se encuentran horizontes AC con evidente estratificación, aunque la diferenciación entre estratos no siempre suele ser muy marcada. Son suelos bien aireados (de color café) o suelos (de color grisáceo) en los que existe cierto estancamiento de agua (9). En general, sus propiedades químicas pueden ser influenciadas por condiciones de oxidación y, en algunos casos, por salinidad. La mayoría de los *Fluvisoles* llega a presentar cierta humedad en alguna parte del perfil debido al estancamiento de agua, ya sea del manto freático o por inundación a partir de ríos o lagos, aunque esto depende de su ubicación dentro de la parte activa de la planicie aluvial (5).

El perfil en Calpulalpan corresponde a un *Phaeozem petrodúrico* (*L. durus*, duro) en el WRB. Estos suelos presentan, de manera secundaria, una capa endurecida en los primeros 100 cm (horizonte *petrodúrico*, con un espesor que va de los 10 cm a los 4 m). Se desarrollan a partir de materiales parentales aluviales y coluviales de todas las clases texturales. Tienen horizontes AC o ABC, y es común que estén erosionados en terrenos de pendiente moderada con horizontes petrodúricos expuestos. La capacidad de agua disponible depende del espesor y composición del suelo sobre el horizonte *petrodúrico*, el cual obstruye el movimiento vertical del agua (5). En este caso, el estrato sobre el horizonte *petrodúrico* está bien estructurado y es de color oscuro, con una SB alta y un contenido moderado

de materia orgánica. En el USDA se asignó un epipedón mólico por lo que el orden edafológico corresponde a un *Mollisol*. Como el clima del área se clasifica como *ustic* y el suelo no presenta ningún atributo en particular, se le asignó el suborden de *Ustolls* y gran grupo *Duristoll* debido a la presencia de un duripan. Al no contar con un horizonte *argillic* el subgrupo asignado es *entic*. Considerando el nivel de familia, el suelo se clasificó como *fine-loamy mixed thermic Entic Duristoll*.

Evaluación del perfil y análisis edafológico

En base a las características de los perfiles y las observaciones de campo aplicando la metodología formal de Siebe *et al.* (15), se derivan los factores limitantes de la zona agro-ecológica. En Santa Lucía los factores que limitan el desarrollo de los cultivos se relacionan con una baja disponibilidad de agua en los primeros horizontes (principalmente en la época de sequía), los cambios en el tamaño de partículas, en la conductividad hidráulica correspondiente (en particular la presencia en el tercer horizonte de una gran cantidad de piedras), y la baja capacidad de aireación del primer horizonte (Tabla 3). Es importante mencionar que este suelo presenta un factor de erodabilidad medio bajo el sistema de clasificación de Siebe *et al.* (15). Los factores limitantes en perfil I de El Horno son la baja disponibilidad de agua en los primeros horizontes y la baja capacidad de aireación, a pesar de contar con un espacio poroso que va de medio a alto (Tabla 3). En general, se presenta una alta conductividad hidráulica, lo cual puede propiciar falta de retención de agua. Además, el bajo contenido de materia orgánica pudiera también afectar el rendimiento de los cultivos. En el área del perfil II se observaron variaciones en el crecimiento de las plantas. La variabilidad del cultivo proporciona información indirecta sobre la variabilidad del suelo. Esta variabilidad es un parámetro sub-evaluado en la evaluación edafológica integrada. La variabilidad observada tiene un ritmo regular y ondular. Se relacionan con las diferencias en el contenido de piedras y la textura, en particular la cantidad de arena de los perfiles. En este sentido, tanto las variaciones en el crecimiento de las plantas como las diferencias en textura y piedras encontradas en el área, reflejan la variabilidad espacial existente. Lugares con alto contenido de piedras y arena muy a la superficie en el perfil correspondían con plantas bajas en crecimiento. Esta variabilidad puede ser causada por la actividad de un río cercano y la deposición de material del río. La caracterización de esta variabilidad dentro de toda la estación experimental de El Horno, permitiría identificar y delimitar áreas de menor variabilidad para el posicionamiento correcto de las parcelas experimentales. Estos suelos presentan factores de erodabilidad de medio a alto.

Los factores limitantes en Calpulalpan son la baja disponibilidad de agua en los primeros horizontes (especialmente durante la época de sequía) y la baja capacidad relativa de aireación de los estratos por encima del horizonte petrodúrico (posiblemente relacionada con la actividad agrícola presente). Los horizontes Ap y A sólo tienen un espesor de 62 cm con un factor de erodabilidad medio. La pérdida de suelo podría ser crítica en el primer horizonte con una estructura fragmentada muy débil (Tabla 1). Otra característica importante es la presencia de un estrato compactado de tepetate. Estos son horizontes endurecidos originados a partir del depósito de materiales volcánicos que fueron proyectados en forma de lluvias o flujos, y son comunes en regiones que tienen una temporada de sequía bien marcada. El endurecimiento pudo deberse a procesos geológicos o pedológicos, éste último mediante el aporte de agentes cementantes como carbonato de calcio, sílice y/u óxidos de hierro (21). Los tepetates ocupan alrededor del 11.63% del territorio de México (9), pero en el Estado de

Tabla 3
Evaluación edafológica en (a) Santa Lucía (b) El Horno (perfil I), (c) El Horno (perfil II), y (d) Calpulalpan

(a) Santa Lucía

Espesor (dm)	Penetrabilidad de raíces	Espacio poroso total (%)	Capacidad de aireación (%)	Capacidad de agua disponible (Lm ⁻²)	Capacidad de campo, 1m (Lm ⁻²)	Conductividad hidráulica (cm día ⁻¹)
3.0	Mediana	45	3	35.28	123.48	10-40
5.5	Muy buena	48	8	108.90	217.80	100-300
1.0	No aplica	46	18	10.00	14.00	100-300
4.7	No aplica	48	8	79.90	No aplica	100-300
3.8	No aplica	48	8	75.24	No aplica	100-300
Erodabilidad		0.4 (media)				

(b) El Horno (perfil I)

1	Mediana	50	5	15.84	44.55	40-300
1.4		50	5	22.18	62.37	40-300
2.6		49	4	38.61	115.83	100-300
1.1		42	4	12.28	38.87	10-40
1.6		39	16	15.36	22.08	40-100
2.3	Muy buena	38	9	42.78	62.03	10-40
1.5	No aplica	39	16	19.20	No aplica	40-100
3.8	No aplica	52	4	56.43	No aplica	40-300
2.7	No aplica	57	3	42.77	No aplica	40-300
Erodabilidad		0.6 (alta)				

(c) El Horno (perfil II)

0.7	Mediana	41	3	8.23	25.38	40-100
2.0	Muy buena	41	3	23.52	72.52	40-100
4.0	No aplica	38	22	22.00	32.00	40-100
6.3	No aplica	50	5	85.68	No aplica	40-300
5.0	No aplica	49	7	24.80	No aplica	40-100
Erodabilidad		0.5 (media)				

(d) Calpulalpan

2.6	Mediana	38	9	51.48	74.65	10-40
3.6	Mediana	41	3	42.77	131.87	40-100
Erodabilidad		0.5 (media)				

Tlaxcala, aproximadamente el 70% de la superficie consiste en suelos volcánicos que tienden a formar tepetates (9). La deforestación y las prácticas agrícolas que no contemplan la conservación del suelo dan como resultado la erosión del mismo propiciando la exposición de los tepetates. Aproximadamente 160,000 has bajo producción agrícola se encuentran en riesgo de convertirse en zona tepetatosa (20). Tradicionalmente los agricultores de la región han implementado prácticas de conservación como las terrazas, áreas de terreno comúnmente denominadas "metepantle", que están delimitadas por hileras de plantas de maguey (*Agave spp.*). Aunque esta práctica podría considerarse adecuada, su eficacia para reducir la erosión del suelo podría mejorarse substancialmente mediante la implementación de otras prácticas conservacionistas, tales como la exclusión de la labranza y la siembra en camas permanentes aplicada a todos los cultivos de la región.

Conclusiones

Los factores limitantes para la producción agrícola en la zona se relacionan principalmente con la disponibilidad de agua, los cambios en estructura y textura a lo largo de los perfiles, el bajo contenido de materia orgánica y el alto riesgo de erosión. Los horizontes arables en gran parte del área sólo tienen un espesor de unos 50 cm; abajo de estos

horizontes se encuentra el horizonte endurecido llamado tepetate. La exposición del tepetate a la superficie impedirá cualquier actividad agrícola. Debido a estas características, para Calpulalpan se recomienda la implementación de prácticas de agricultura de conservación con manejo adecuado de residuos de cosecha para reducir los niveles de erosión, usar de manera más eficiente el agua de lluvia, e incrementar el nivel de materia orgánica en el suelo. Dentro de la estación experimental de Santa Lucía, es recomendable excluir la experimentación sobre fertilización nitrogenada, ya que el alto nivel de este nutriente en el suelo no permite observar una clara respuesta. En la estación de El Horno, es fundamental caracterizar la variabilidad espacial del suelo para reducir los coeficientes de variación de los trabajos de investigación.

Agradecimientos

Este trabajo fue financiado mediante la beca doctoral del ir. B. Govaerts, otorgada por el Consejo Interuniversitario Flamenco (VLIR, por sus siglas en flamenco). Los autores agradecen a la Dra. J. Patton, del Departamento de Agricultura de Northwest Missouri State University, Maryville, EUA, por el enriquecedor intercambio de ideas, y a A. McNab por la revisión de este documento.

Referencias

1. Azooz R.H. & Arshad M.A., 1996, Soil infiltration and hydraulic conductivity under long term no-tillage and conventional tillage systems. *Can. J. Soil Sci.* 76, 143-152.
2. Bruce R.R., Langdale G.W. & Dillard, A.L. 1990, Tillage and crop effects on characteristics of a sandy surface soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 54, 1744-1747.
3. Carter M.R., 1992, Characterizing the soil physical conditions in reduced tillage systems for winter wheat on a fine sandy loam using small cores. *Can. J. Soil Sci.* 72, 395-402.
4. Dixon J., 2003, Economic aspects of conservation agriculture –a global review of the profitability, risks and dynamics from the farmers' perspective. I. World Congress on Conservation Agriculture, Brazil.
5. Driessen P., Deckers J., Spaargaren O. & Nachtergaele F., 2001, Lecture notes on the major soils of the world. *World Soil Resource Reports 94*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), Roma, Italia. 88 pp.
6. Elliot J.A. & Efetha A.A., 1999, Influence of tillage and cropping systems on soil organic matter, structure and infiltration in a rolling landscape *Can. J. Soil Sci.* 79, 457-463.
7. FAO, 1978, Report on the agro-ecological zones project (Vol. 1, Methodology and Results for Africa). *FAO World Soils Report 48*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), Roma, Italia. 158 pp.
8. FAO, 1998, World reference base for soil resources. *World Soil Resource Reports 84*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), Roma, Italia. 98 pp.
9. Guerrero E.E.G., Luna M.J.L. & Caballero O.E., 1992, Distribución de los Tepetates de la republica Mexicana escala 1:4.000.000. *Terra 10*, 131-150.
10. ISSS Working Group RB, 1998, World reference base for soil resources: introduction. Deckers J., Nachtergaele A. & Spaargaren O.C. (eds.) Primera edición. International Society of Soil Science (ISSS), International Soil Reference and Information Centre (ISRIC) y la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). ACCO. Leuven, Bélgica. 165 pp.
11. Schollenberger C.J. & Simon R.H., 1945, Determination of exchange capacity and exchangeable bases in soil-ammonium acetate method. *Soil Sci.* 59, 13-24.
12. Schomberg H.H., Steiner J.L. & Unger P.W., 1994, Decomposition and nitrogen dynamics of crop residues: residue quality and water effects. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 58, 372-381.
13. Secretaría de Programación y Presupuesto, 1981, Síntesis Geográfica del Estado de México. México.
14. Shaver T.M., Peterson G.A., Ahuja L.R., Westfall D.G., Sherrod L.A. & Dunn G., 2002, Surface soil properties after twelve years of dryland no-till management. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 66, 1292-1303.
15. Siebe C., Jahn R. & Stahr K., 1996, Manual para la descripción y evaluación ecológica de suelos en campo. *Publicación Especial 4*. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C. Chapingo, Edo. de México, México.
16. Smith S.J. & Sharpley A.N., 1990, Soil nitrogen mineralization in the presence of surface and incorporated crop residues. *Agron. J.* 82, 112-226.
17. Smith S.J. & Sharpley A.N., 1993, Nitrogen availability from surface-applied and soil-incorporated crop residues. *Agron. J.* 85, 776-778.
18. Soil Survey Staff, 1998, Keys to soil taxonomy. United States Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service. Washington, D.C., USA.
19. Walkley A., 1947, A critical examination of rapid method for determining organic carbon in soils: effects of variations in digestion conditions and of inorganic soil constituents. *Soil Sci.* 63, 251-263.
20. Werner G., 1992, Suelos volcánicos endurecidos (tepetates) en el Estado de Tlaxcala: Distribución, rehabilitación, manejo y conservación. *Terra 10*, 318-331.
21. Zebrowski C., 1992, Los suelos volcanicos endurecidos de America Latina. *Terra 10*, 15-33.

B. Govaerts, Belgian, MSc., Katholieke Universiteit Leuven, Department of Land Management and Economics, CIMMYT, Int. VLIR-UOS Research Associate.

M. Gabriela Barrera-Franco, Mexican, MSc., Research Associate UNAM.

A. Limón-Ortega, Mexican, Ph D, Researcher for the INIFAP-CEVAMEX Wheat Program.

Pablo Muñoz-Jiménez, Mexican, High school, Farmer.

K.D. Sayre, American, Ph D, CIMMYT, Int. Wheat Agronomist.

J. Deckers, Belgian, Ph D, Katholieke Universiteit Leuven, Department of Land Management, Professor Researcher.

Régénération *in vitro* et caractérisation physiologique de variants somaclonaux de glaïeul (*Gladiolus grandiflorus* Hort.) tolérants aux basses températures

T. Bettaieb^{1*}, M. Denden^{1*} & M. Mhamdi²

Keywords: *Gladiolus*- Low temperature tolerance- Chlorophyll content- Chlorophyll fluorescence- Photosynthesis- Tunisia

Résumé

Pour la régénération de vitrovariants de glaïeul (*Gladiolus grandiflorus* Hort.) tolérant le froid hivernal, des essais ont été entrepris pour l'obtention *in vitro* de mutants par culture de cals, associée à une pression sélective constituée par des basses températures et/ou à l'irradiation aux rayons gamma du cobalt 60. Les essais entrepris ont abouti à la régénération de 5 somaclones (R_1 , Rb_1 , Rb_2 , Rib_1 , Rib_2). Le clone R_1 a été régénéré à 23 °C et sélectionné après culture à 8 °C. Rb_1 et Rb_2 ont été régénérés à 8 °C. Rib_1 et Rib_2 proviennent de cals irradiés aux rayons gamma du cobalt 60 aux doses 20 et 40 Gy respectivement et cultivés à 8 °C. La tolérance à la basse température des somaclones obtenus a été évaluée par la mesure de la fluorescence chlorophyllienne, la teneur en chlorophylle et la photosynthèse. Ainsi, il a été démontré que le stress thermique n'affecte pas sensiblement les somaclones R_1 , Rb_1 , Rb_2 et Rib_1 , alors que le témoin (T) et Rib_2 se sont montrés sensibles. En effet, la fluorescence initiale (F0) est élevée chez ces deux derniers génotypes, en plus, leur rapport de la fluorescence variable sur la fluorescence maximale (Fv/Fm), indicateur de l'efficacité photosynthétique du PSII est affecté. Une relation positive est déterminée entre l'intensité de la photosynthèse et le rapport Fv/Fm puis entre l'intensité photosynthétique et la teneur des feuilles en chlorophylle.

Summary

***In vitro* Regeneration and Physiological Characterization of *Gladiolus* (*Gladiolus grandiflorus* Hort.) Somaclonal Variants Tolerant to Low Temperatures**

In order to regenerate new clones of Gladiolus (Gladiolus grandiflorus Hort.) more tolerant to winter cold, somaclonal variation was undertaken in vitro through callus culture technique combined with low temperature selective pressure and/or gamma rays irradiations (cobalt 60). Amongst the 5 somaclones (R_1 , Rb_1 , Rb_2 , Rib_1 , Rib_2), variant R_1 was regenerated at 23 °C and then selected after culture at 8 °C. Rb_1 and Rb_2 were regenerated at 8 °C. Rib_1 and Rib_2 came from callus irradiated with cobalt at 20 and 40 gamma rays and cultivated at 8 °C. Low temperature tolerance was measured by the chlorophyll content, the chlorophyll fluorescence and the photosynthesis. Low temperature did not affect R_1 , Rb_1 , Rb_2 and Rib_1 somaclones while the control (T) and Rib_2 were susceptible. In fact, initial fluorescence (F0) was high in the last two genotypes and the Fv/Fm ratio, photosynthetic efficiency indicator, was affected. A positive relation was found between the photosynthesis rate and the Fv/Fm ratio and between the photosynthesis and leaf chlorophyll content.

1. Introduction

Les températures extrêmes ont une action dépressive sur l'activité photosynthétique qui est d'autant plus marquée que les températures élevées ou basses sont appliquées pendant une longue période (10). Cette action ralentit l'activité métabolique et provoque une altération des pigments et une perte de l'intégrité membranaire (13).

En hiver, la croissance du glaïeul est ralentie. Sous l'effet du froid, les inflorescences s'allongent anormalement et peuvent avorter en cours de montaison ou présenter un nombre limité de fleurons (3). Pour permettre la culture hivernale du glaïeul, la variation somaclonale peut aider à la recherche de plantes tolérant les basses températures. Cals et suspensions cellulaires constituent, en effet, des sources de variabilités originales qui se sont avérées efficaces pour la sélection de nouveaux caractères (19). Les traitements mutagènes, associés à la culture de cals, augmentent en général de façon significative le taux de variation (12). Les régénérants sont souvent de nature chimérique. Plusieurs plantes ornementales, telles que le chrysanthème, le poinsettia, le kalanchoe, irradiées aux rayons gamma ont montré de simples modifications épigénétiques ou au contraire des mutations stables pour la tolérance aux basses températures (2).

Les mesures de la fluorescence chlorophyllienne, de la photosynthèse et de la teneur en chlorophylle ont été,

souvent, utilisées dans les études d'adaptation des plantes à différentes contraintes du milieu, telles que les basses températures (21), les températures élevées (9), la salinité (20) et la déficience nutritionnelle (15). Les mesures de la fluorescence chlorophyllienne permettent d'apprécier l'intégrité fonctionnelle du photosystème II (PS II). Sous l'effet du stress, l'état fonctionnel des membranes des thylakoïdes se dégrade, l'altération des processus photosynthétiques se reflète dans les courbes d'induction de la fluorescence de la chlorophylle (1). En effet, puisque la fluorescence est une réaction compétitive de désactivation des chlorophylles excitées (14), elle constitue un indicateur intrinsèque des réactions photochimiques des chloroplastes des plantes vertes par la dissipation, dans l'antenne, des photons non utilisés par la photochimie au niveau des centres réactionnels. En l'absence de tout traitement et sous éclairage saturant, la photosynthèse est d'autant plus forte que la fluorescence est faible. Les cinétiques d'induction de fluorescence renseignent sur l'activité photochimique du PS II et peuvent servir de marqueurs univoques de l'état fonctionnel des membranes chloroplastiques (1, 14). En conditions normales, les chlorophylles absorbent la lumière dont l'énergie est utilisée dans les réactions biochimiques primaires de la photosynthèse dont une partie de l'énergie lumineuse absorbée est dissipée sous forme de fluorescence. En effet, lorsqu'une plante est préalablement placée sous

¹Ecole Supérieure d'Horticulture et d'Élevage, Chott-mariem, 4042, Tunisie.

²Ecole Supérieure d'Agriculture du Kef 7119, Boulifa Kef, Tunisie.

*Dr T. Bettaieb Email: tbettaieb@yahoo.fr

*Dr M. Denden Email: dendenmounir@yahoo.fr

Reçu le 01.03.06 et accepté pour publication le 01.09.06.

l'effet d'un état de stress, puis soumise à un éclairage rouge, le rendement de la fluorescence varie suivant une cinétique différente par rapport à la même plante placée dans une condition normale. Suivant cette différence, on peut contrôler le degré de résistance des plantes à ces mauvaises conditions. Il s'agit d'une méthode avantageuse par rapport aux méthodes classiques phytotechniques qui nécessitent la mesure durant une longue durée de la croissance et de développement.

Le présent article développe, en premier lieu, les tentatives d'induction de la variation somaclonale en utilisant la culture de cals simple ou complétée par une association à l'irradiation gamma au cobalt 60 avec l'application des basses températures comme pression sélective. En second lieu, l'état des photosystèmes de cinq somaclones de glaieul (*Gladiolus grandiflorus* Hort.), sélectionnés pour leur tolérance aux basses températures a été diagnostiqué par des mesures de la fluorescence chlorophyllienne, de la photosynthèse et de la teneur en chlorophylle.

2. Matériel et méthodes

2.1. Régénération de variants somaclonaux

Matériel végétal

Le matériel végétal utilisé est constitué par des bourgeons apicaux, de 4 à 5 mm de long, prélevés à partir de cornes de glaieul (*Gladiolus grandiflorus* Hort.) du cultivar 'Peter pears'. Les bulbes utilisés pour le prélèvement des bourgeons ont été, préalablement, indexés à l'aide du test ELISA pour les virus les plus fréquents à savoir: le virus de la mosaïque jaune du haricot, le virus de la mosaïque du concombre et le virus de la mosaïque du tabac.

Conditions de régénération

Trois étapes ont été suivies pour effectuer la régénération adventive des vitroplants. La première étape consiste en une callogenèse à 8 et à 23 °C. Le milieu nutritif de base est le milieu de Murashige et Skoog (16) additionné de 0,5 mg.l⁻¹ d'acide 2,4-dichlorophénoxyacétique (2,4-D). Les cals ont été repiqués mensuellement sur des milieux frais de même composition pendant 4 mois. L'irradiation aux rayons gamma a été pratiquée sur les cals après 1 mois de culture. Dans une deuxième étape, les cals survivants aux stress thermique et irradiatif ont été transférés sur un milieu de culture à base de MS, enrichi de 0,5 mg.l⁻¹ de benzyladénine (BA) et de 10 mg.l⁻¹ d'AgNO₃, et cultivés dans les mêmes conditions de températures en vue de régénérer des pousses. Dans une troisième étape, les pousses régénérées à partir des différents traitements ont été repiquées sur un milieu de base MS additionné de 2 mg.l⁻¹ de BA et 0,5 mg.l⁻¹ d'acide β-indole butyrique (AIB). La culture a été réalisée à 8 °C dans le but d'exercer une pression sélective au cours de la régénération pendant 8 subcultures mensuelles.

Irradiation des cals

Les cals cultivés en boîtes de Pétri ont été irradiés au cobalt 60 à l'aide d'un émetteur de type SV68 ayant un débit de 1 Gy mn⁻¹. Les différentes doses utilisées étaient de 0, 10, 20, 30, 40 et 50 Gy. Pendant 4 mois de culture, les cals ont été ensuite soumis à deux régimes thermiques différents. Une température de 23 ± 1 °C en continu a été utilisée comme témoin alors qu'une température de 8 ± 1 °C était utilisée en continu comme stress thermique. Celle-ci a été atteinte progressivement en diminuant la température de 5 °C chaque semaine. Ainsi, les cals ont été exposés à 8 °C dès la troisième semaine de la première subculture et pour la suite de la phase callogène. Les 2 régimes thermiques ont été maintenus lors de la phase de régénération. La phase callogène a été conduite à l'obscurité totale. La phase de régénération a été conduite sous une photopériode de 11 heures comparable à celle hivernale et une intensité lumineuse de 36 μmol.m⁻².s⁻¹.

Dispositifs et paramètres expérimentaux

Dans les essais de callogenèse et de régénération de pousses, un dispositif expérimental en Split Plot à 3 répétitions a été adopté. Deux facteurs ont été utilisés, à savoir la température de la chambre de culture et la dose d'irradiation aux rayons gamma du cobalt 60. Chaque unité expérimentale relative à un traitement a comporté 6 boîtes de Pétri et chaque boîte est pourvue de 5 cals, soit 90 cals par traitement. Pour la phase de régénération, le nombre de cals mis en essai a été réduit à 3 par boîte, soit 54 cals par traitement. Le test à la plus petite différence significative (PPDS) au seuil 1% a servi pour la comparaison des moyennes.

Les observations ont porté sur:

- l'évolution du poids des cals après 60 et 120 jours de culture sous les 2 régimes.

- l'aspect morphologique des cals.

- le nombre et l'aspect des pousses régénérées.

Les clones obtenus ont été identifiés comme suit:

T= Témoin (pousse régénérée à partir du cv. 'Peter pears')

R et Rb= Pousses régénérées à partir de cals non irradiés et cultivés à 23 °C (R) ou à 8 °C (Rb) ensuite sélectionnées à 8 °C.

Ri et Rib= Pousses régénérées à partir de cals irradiés et cultivés à 23 °C (Ri) ou à 8 °C (Rib) puis sélectionnées à 8 °C.

2.2. Caractérisation physiologique

Matériel végétal et conditions de culture

Le matériel végétal utilisé est constitué par des vitroplants provenant des cinq somaclones de glaieul (*Gladiolus grandiflorus* Hort.) (R₁, Rb₁, Rb₂, Rib₁, et Rib₂) régénérés, lors de la première phase de cette étude et d'un témoin constitué par le cultivar d'origine 'Peter pears'. Les vitroplants sont cultivés, pendant 30 jours, en chambres de culture sous deux régimes thermiques. Le premier est de 23 °C en continu, le second régime est similaire aux conditions thermiques hivernales i.e. est de 18 °C pendant une photopériode de 11 heures et de 8 °C pendant une nyctipériode de 13 heures (18/8 °C).

Mesure de la fluorescence chlorophyllienne

Les mesures de la fluorescence chlorophyllienne sont faites, sur des feuilles matures et saines, à l'aide d'un système rotatif: Fluorescence Induction Monitor (FIM 1500, Analytical Development Company Limited, ADC). L'analyse des mesures est portée sur les paramètres de fluorescence suivants:

- F0 (Fluorescence initiale). Elle correspond à la valeur minimale de la fluorescence lorsque tous les accepteurs d'électrons sont oxydés. F0 a pour origine les chlorophylles qui forment les antennes collectrices du PS II.

- Fm (Fluorescence maximale). Elle correspond à la valeur maximale de la fluorescence obtenue pour la même mesure d'intensité lumineuse. Elle reflète la réduction des accepteurs primaires (QA) d'électrons du PSII et n'est accessible que dans le cas où l'intensité lumineuse est entièrement saturante.

- Fv (Fluorescence variable). Elle est obtenue par la différence entre F0 et Fm (Fv=Fm - F0).

- Fv/Fm. Il correspond au rendement quantique maximal de la photochimie du PSII.

La période d'adaptation à l'obscurité et le niveau de la lumière saturante sont déterminés avant d'effectuer les mesures. Une série de mesures du rapport Fv/Fm est réalisée après des durées d'obscurité ascendante toutes les 5 minutes d'intervalles. Cette période d'adaptation à l'obscurité est évaluée à 40 min. Le niveau de la lumière saturante évalué à 60% est déterminé en suivant le même protocole mais en faisant varier l'intensité lumineuse.

Mesure de la photosynthèse

Les mesures de la photosynthèse nette sont effectuées à

l'aide d'un système portatif CI-301PS de CID Inc. (Portable photosynthesis System) sur les mêmes feuilles utilisées pour les mesures de la fluorescence chlorophyllienne. Le niveau d'intensité lumineuse sous lequel les mesures sont faites est fixé à $36 \mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$, ceci correspond à l'intensité lumineuse dans la chambre de culture des vitroplants.

Détermination de la teneur en chlorophylle

La détermination de la teneur en chlorophylle est réalisée selon le principe de dosage utilisé par Arnon et cité par Hannachi (8).

$$\text{Ca} = 10,05 \text{DO}_{663} - 1,97 \text{DO}_{645} \quad \text{Cb} = 16,36 \text{DO}_{645} - 2,43 \text{DO}_{663}$$

Ca= Concentration en chlorophylle a
Cb= Concentration en chlorophylle b

DO= Densité optique en nm

Les teneurs en chlorophylle sont exprimés en mg.g^{-1} de matière fraîche.

Les mêmes feuilles utilisées pour les mesures de la fluorescence chlorophyllienne et de la photosynthèse ont servi pour le dosage de la chlorophylle. Le protocole d'extraction est le suivant:

Deux grammes de feuilles vertes découpées sont broyées dans un mortier en présence de 1,5 g de carbonate de calcium et 25 g de sable pur. Le broyat obtenu est additionné de 7,2 ml d'acétone pure et 40 ml d'acétone 80%. Après un deuxième et troisième décantation, le mélange est filtré et les extraits ont servi pour le dosage par spectrophotométrie à 663 et 645 nm.

Dispositif expérimental

L'essai est conduit selon un dispositif en Split Plot à 3 répétitions. Le premier facteur correspond aux régimes thermiques. Le second correspond aux génotypes testés. Chaque unité expérimentale relative à un traitement dans un bloc est constituée de 6 vitroplants homogènes.

3. Résultats et discussion

3.1. Régénération de variants somaclonaux

Callogenèse

Les traitements aux rayons gamma affectent la croissance des cals. Sous les deux régimes thermiques, le poids frais des cals diminue progressivement avec l'augmentation de la dose d'irradiation reçue (Tableau 1).

Aux doses 10 et 20 Gy, les poids diffèrent peu de ceux enregistrés chez les témoins. Aux doses plus élevées, la croissance du cal est significativement inhibée et atteint son minimum pour les irradiations de 40 ou 50 Gy. Selon Ghosh *et al.* (6), la sensibilité des cals aux irradiations gamma varie en fonction de la dose appliquée et, aussi, de la nature du matériel végétal irradié. En général, les cals, tissus non organisés, sont moins radiosensibles que les plantules.

La croissance la plus faible a été enregistrée à 8°C mais l'effet inhibiteur du rayonnement qui se quantifie par rapport à la croissance du témoin est plus marqué pour les cals de 23°C . Dans ces conditions, les cellules semblent avoir une activité mitotique limitée et se nécrosent progressivement.

Après 60 jours de culture, les cals témoins, non irradiés et cultivés à 23°C , présentent une couleur claire et une structure friable. Les cals irradiés présentent un brunissement partiel de massifs cellulaires qui évolue en une nécrose parfois totale. En effet, les radiations ionisantes peuvent aussi entraîner des dommages physiologiques se manifestant par un retard de croissance et par la mortalité des massifs cellulaires (5). Ce phénomène a été observé à des degrés différents dans tous les traitements aux rayons gamma. Les cals irradiés à faibles doses (10, 20 ou 30 Gy) échappent parfois à la nécrose et évoluent sans différence apparente avec les cals témoins.

Le froid provoque aussi la nécrose des massifs cellulaires. La fréquence des nécroses à 23°C est plus limitée qu'à 8°C (Figure 1). Cependant, sur les cals partiellement ou totalement nécrosés et globalement après 3 mois de culture des massifs cellulaires d'aspect normal apparaissent et se développent en un nouveau cal de couleur claire. Ces nouveaux massifs cellulaires apparus pourraient dériver de cellules tolérantes au froid. Dogbe *et al.* (4) ont observé ce phénomène chez le riz après la culture de cals à basses températures et à partir de tels massifs, ils ont régénéré des vitroplants tolérants les basses températures.

Régénération

La néoformation de bourgeons sur les cals varie d'une façon significative avec la température de culture et la dose d'irradiation aux rayons gamma (Tableau 2). Le nombre de pousses le plus élevé (23 pousses) a été observé chez le témoin non irradié et cultivé à 23°C . A 8°C , la caulogénèse est limitée (0 à 3,5 pousses/cal). Les rayons gamma administrés aux cals cultivés sous les deux régimes thermiques semblent inhibiteurs de la régénération de pousses. Plusieurs auteurs ont rapporté des effets semblables des rayons gamma sur le développement de cals, des boutures, des bulbes ou des plantules (17). Ils observent un effet inhibiteur en fonction de la dose d'irradiation, du stade de développement du matériel végétal et de l'espèce.

La majorité des pousses régénérées à partir des cals cultivés à 8°C présentent un aspect hyperhydrique contrairement à celles apparues sur les cals témoins. Ce phénomène peut être expliqué par la combinaison de plusieurs facteurs notamment une pression osmotique élevée due à l'accumulation de sucres et d'acides aminés (18). D'autres pousses ayant des feuilles effilées et

Tableau 1

Poids frais des cals mesuré après 60 et 120 jours de culture en fonction de la dose d'irradiation aux rayons gamma et de la température

Rayonnement gamma cobalt 60 (Gy)	Température de culture ($^\circ\text{C}$)	Poids frais mesuré après 60 jours de culture (g)	Poids frais mesuré après 120 jours de culture (g)
0	23	$1,41 \pm 0,15$ a	$4,02 \pm 0,27$ a
	8	$0,76 \pm 0,11$ b	$0,90 \pm 0,10$ c
10	23	$1,27 \pm 0,18$ a	$3,87 \pm 0,21$ a
	8	$0,59 \pm 0,07$ bc	$0,84 \pm 0,06$ c
20	23	$1,25 \pm 0,06$ a	$3,91 \pm 0,18$ a
	8	$0,62 \pm 0,06$ b	$0,83 \pm 0,08$ c
30	23	$0,75 \pm 0,08$ b	$1,83 \pm 0,15$ b
	8	$0,43 \pm 0,07$ cd	$0,72 \pm 0,09$ cd
40	23	$0,46 \pm 0,04$ cd	$0,95 \pm 0,10$ c
	8	$0,39 \pm 0,06$ d	$0,53 \pm 0,07$ d
50	23	$0,39 \pm 0,09$ d	$0,90 \pm 0,06$ c
	8	$0,37 \pm 0,07$ d	$0,45 \pm 0,05$ d

- Les moyennes, avec écarts types, de la même colonne suivies de la même lettre sont statistiquement équivalentes selon le test de la ppds au seuil de 1%.

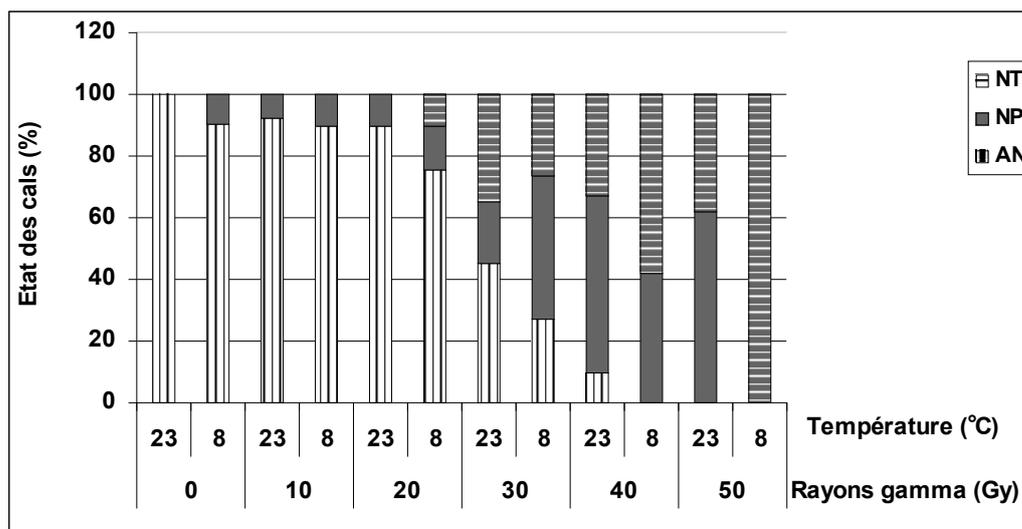


Figure 1: Evolution nécrotique de cals provenant de bourgeons apicaux, prélevés à partir de bulbes de glaïeul (*Gladiolus grandiflorus* Hort.) cv. 'Peter pears', suite aux irradiations aux rayons γ ^{60}Co (0, 10, 20, 30, 40 et 50 Gy) et culture pendant 60 jours sous deux régimes thermiques (23 et 8 °C).

AN: Absence de nécrose, NP: Nécrose partielle, NT: Nécrose totale.

lancéolées se dessèchent progressivement et meurent. D'après Shewfelt et Purvis (18), le mécanisme de base qui mène au dessèchement des plantes exposées au froid est probablement lié à l'altération de l'activité de certaines enzymes comme la catalase, l'invertase, la superoxyde dismutase... Les enzymes associées aux membranes cellulaires sont plus affectées que les enzymes solubles, ce qui peut mener à des déséquilibres métaboliques. L'amidon et les sucres s'accumulent. Les membranes cellulaires sont endommagées, ce qui cause une fuite de solutés des cellules. Les lipides des membranes cellulaires sont peroxydés par les radicaux libres qui s'accumulent en conditions de stress comme le froid.

A partir de tous les lots cultivés à 8 °C, 128 pousses ont été régénérées. Après la sélection de 4 subcultures, seules 4 pousses vertes ont échappé à l'hyperhydricité et au dessèchement. Les pousses Rb_1 et Rb_2 proviennent des lots non irradiés alors que Rib_1 et Rib_2 proviennent des lots irradiés à 20 et 40 Gy respectivement. Ces pousses ont été retenues pour la suite de nos essais.

A partir des lots cultivés à 23 °C le nombre de pousses régénérées *in vitro* a été de 2676 (Tableau 2). Deux mille cinq cent quarante pousses vertes régénérées ont été retenues pour le test de tolérance à 8 °C pendant 4 mois. Au terme de cette étape, une seule pousse (R_1) a survécu; elle provient du lot témoin. L'ensemble des pousses retenues a été multiplié *in vitro* à 8 °C pour constituer un stock de plantes.

3.2. Caractérisation physiologique Fluorescence chlorophyllienne

Les mesures de la fluorescence chlorophyllienne sont rapportées dans la figure 2. Elles montrent une réponse différente pour chacun des clones en fonction du niveau de la température de culture. Les vitroplants exposés à un régime thermique 18/8 °C, montrent une fluorescence initiale (F_0) légèrement plus élevée que ceux exposés à 23 °C à l'exception du témoin et Rib_2 qui montrent une différence importante significative (Figure 2A). L'augmentation des valeurs de F_0 chez tous les génotypes soumis au stress thermique traduit une diminution de la faculté de capture des

Tableau 2

Effets de la dose d'irradiation aux rayons gamma et de la température de culture sur la néoformation de bourgeons à partir de cals de glaïeul (*Gladiolus grandiflorus* Hort.) cv. 'Peter pears'

Température de culture (°C)	Rayonnement gamma cobalt 60 (Gy)	Cals avec pousses (%)	Nombre de pousses par cal	Nombre total de pousses régénérées
23	0	100	23 ± 0,31 a	1242
	10	100	15,18 ± 0,24 b	820
	20	100	4,14 ± 0,16 c	224
	30	100	3,64 ± 0,17 c	197
	40	100	1,81 ± 0,09 d	98
	50	100	1,75 ± 0,10 d	95
				2 676
8	0	40,74	3,50 ± 0,24 c	77
	10	22,22	3,58 ± 0,17 c	43
	20	9,25	1,00 ± 0,05 d	5
	30	3,70	1,00 ± 0,00 d	2
	40	1,85	1,00 ± 0,00 d	1
	50	00	00	0
				128

Les moyennes, avec écarts types, de la même colonne suivies de la même lettre sont statistiquement équivalentes selon le test de la ppps au seuil de 1%.

électrons et de transfert d'énergie aux centres réactionnels et un début de dénaturation des accepteurs primaires de la photosynthèse. Ainsi, le stress thermique de basses températures ne semble pas altérer le fonctionnement photosynthétique chez les obtentions sélectionnées. Ces résultats sont les mêmes que ceux obtenus par Smillie et Hetherington (21) qui montrent, en cas de stress thermique de basses températures, une relation inverse entre la performance photosynthétique et la fluorescence chlorophyllienne.

La fluorescence maximale (Fm) ne diffère pas chez Rb₂, Rib₁ et Rib₂ sous les deux régimes thermiques. Par contre, elle diminue significativement à basse température chez le témoin et chez les clones R₁ et Rib₂ (Figure 2B); ces derniers présentent dans ces conditions un léger jaunissement de leur feuillage. Bounaqba (1) a observé une stabilité de Fm chez le triticale et le blé seulement chez les feuilles vertes, photosynthétiquement actives. La perte de chlorophylle dans les feuilles qui présentent un début de jaunissement se traduit dans les cinétiques de la fluorescence chlorophyllienne par une diminution de Fm et du rendement photochimique maximum (Fv/Fm).

Le niveau de fluorescence variable (Fv= Fm - F0) est peu différent chez Rb₁, Rb₂ et Rib₁ quand les plantes sont exposées à des températures plus basses; mais il diminue sensiblement chez le témoin, et chez les somaclones R₁ et Rib₂ diffèrent significativement (Figure 2C). Ceci suggère que l'installation du stress thermique de basses températures s'accompagne chez les clones sensibles d'une diminution du nombre de centres réactionnels actifs et le transfert

d'électrons est de plus en plus bloqué. La diminution de Fv observée chez le glaïeul présente les mêmes comparaisons avec d'autres observations du même paramètre chez d'autres plantes cultivées sensibles au froid, comme le riz et le maïs (21). Pour Hakam *et al.* (7), lorsque la température est abaissée, la fluorescence Fv diminue chez les génotypes de rosiers les plus sensibles, alors qu'elle demeure plus stable en affichant une diminution graduelle chez les génotypes moins sensibles. D'ailleurs, dès 1983, Hetherington *et al.* (11) proposent des méthodes fondées sur la variation de la fluorescence Fv pour évaluer la tolérance relative des plantes cultivées au froid.

Le rapport Fv/Fm indicateur de l'efficacité photochimique du photosystème II ne baisse significativement qu'aux niveaux du témoin et de R₁ alors qu'il reste invariable chez les autres clones (Figure 2D). Chez le témoin la diminution de ce rapport atteint 0,65 alors qu'elle est moins importante chez R₁ (0,75). Ces résultats montrent que les feuilles du témoin sont très sensibles aux basses températures et présentent une altération de leurs processus photosynthétiques, contrairement à celles des clones qui maintiennent des valeurs de Fv/Fm proches de 0,8 à un régime thermique de 18/8 °C. Cette valeur est habituellement rencontrée dans les conditions optimales de croissance en l'absence de toute contrainte environnementale (1).

Photosynthèse

Pour la photosynthèse, les somaclones de glaïeul, suivant leurs caractéristiques adaptatives aux basses températures ont montré une réponses différentes au niveau de la température de culture (Figure 3). Le témoin a un taux faible

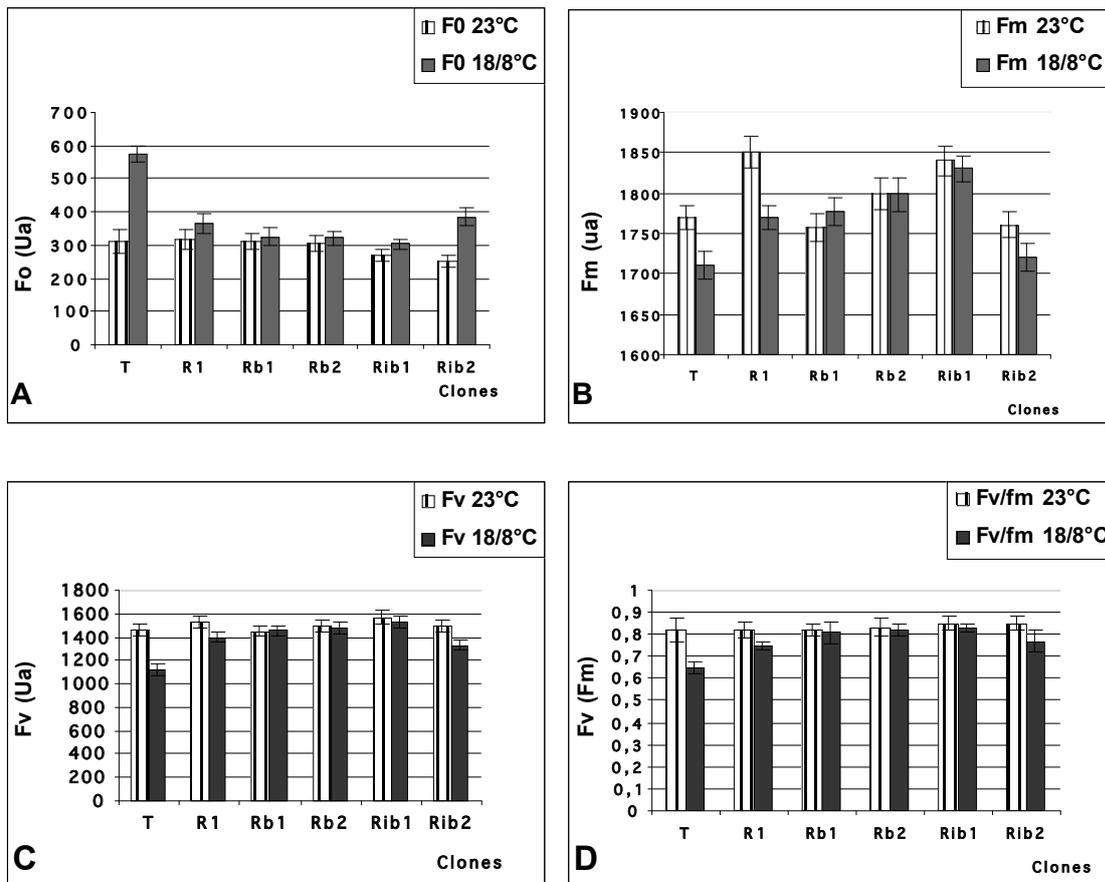


Figure 2: Fluorescence chlorophyllienne chez les clones de glaïeul (R₁, Rb₁, Rb₂, Rib₁ et Rib₂) de et chez le cv. 'Peter pears' (témoin) en fonction de la température de culture (23 °C ou 18/8 °C).

A: Fluorescence initiale (F0); B: Fluorescence maximale (Fm); C: Fluorescence variable (Fv= Fm-F0); D: (Fv/Fm).

Les valeurs présentées représentent les moyennes de 3 répétitions. Les barres représentent l'écart type estimé correspondant à leur moyenne.

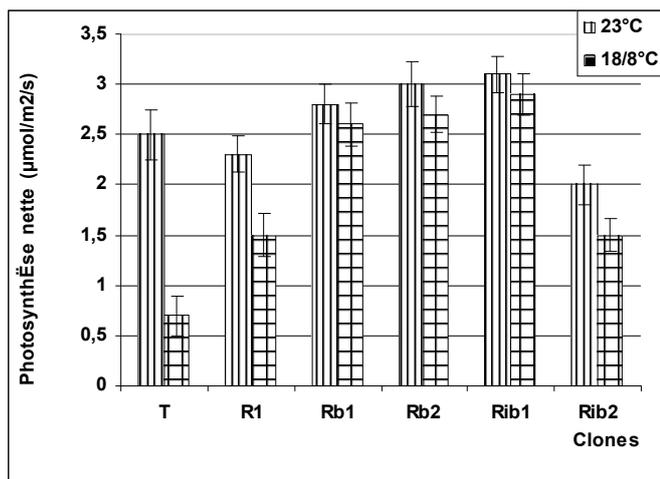


Figure 3: Photosynthèse nette chez des clones de glaïeul R₁, Rb₁, Rb₂, Rib₁ et Rib₂ et chez le cv. 'Peter pears' (témoin) cultivés, pendant 60 jours, sous deux régimes thermiques (23 °C ou 18/8 °C).

Les valeurs présentées représentent les moyennes de 3 répétitions. Les barres représentent l'écart type estimé correspondant à leur moyenne.

par rapport aux nouveaux clones; les somaclones Rb₁, Rb₂ et Rib, n'ont pas montré une diminution importante de la photosynthèse et ont conservé une activité photosynthétique proche de celle observée à 23 °C, les clones R₁ et Rib₂ occupent une position intermédiaire avec une réduction photosynthétique moins nette que chez le témoin. Ces résultats sont dans le même sens d'explication avec d'autres travaux qui montrent que le stress thermique entraîne, généralement, une diminution de l'activité photosynthétique (11,7).

Teneur en chlorophylle

Pour la teneur en chlorophylle rapportée dans la figure 4, trois types de réactions ont été observés. Pour le témoin, la baisse des teneurs en chlorophylle est très substantielle (60%), chez Rib₂ la diminution, quoique significative, n'est que de 30%; alors que chez les clones R₁, Rb₁, Rb₂ et Rib₁ les teneurs ont été identiques. D'après Impens (13), dans une cellule chlorophyllienne saine et dans des conditions favorables de croissance, de nouvelles molécules de chlorophylles sont synthétisées au fur et à mesure que d'autres sont dégradées. Dans les situations de stress, cet équilibre est dérégulé et les chlorophylles sont détruites plus rapidement qu'elles ne sont élaborées. La stimulation de la respiration de la cellule épuise rapidement les réserves

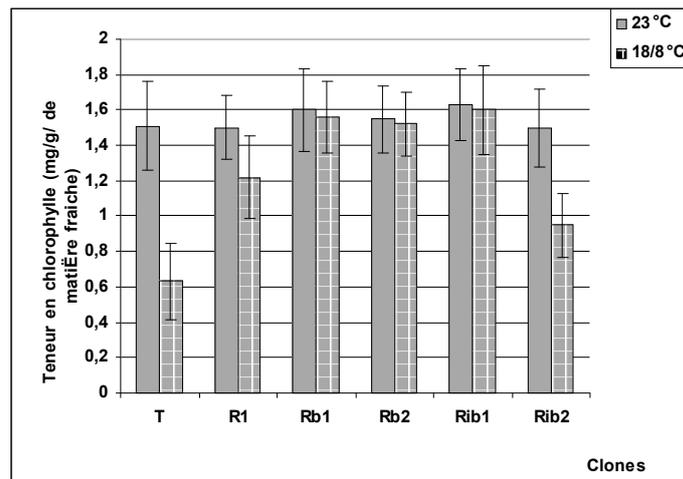


Figure 4: Teneur en chlorophylle chez des clones de glaïeul R₁, Rb₁, Rb₂, Rib₁ et Rib₂ et chez le cv. Peter pears (témoin) cultivés, pendant 60 jours, sous deux régimes thermiques (23 °C ou 18/8 °C).

Les valeurs présentées représentent les moyennes de 3 répétitions. Les barres représentent l'écart type estimé correspondant à leur moyenne.

disponibles de la cellule; celle-ci limite ses synthèses, notamment celles des pigments, ce qui explique les résultats obtenus.

Relations obtenues entre les paramètres mesurés

La relation entre la teneur de la feuille en chlorophylle et l'activité photosynthétique mentionnée dans la figure 5 est significative ($R^2 = 0,92$). La baisse de la concentration en chlorophylle a été accompagnée chez tous les clones par une diminution de l'activité photosynthétique. Les mêmes résultats sont obtenus par Mehouachi (15) qui montre que la réduction de l'assimilation photosynthétique, chez la pomme de terre, est associée à une baisse de la teneur des feuilles en chlorophylle

Une corrélation positive ($R^2 = 0,80$) est observée entre la photosynthèse et l'indicateur de l'efficacité photochimique Fv/Fm (Figure 6). Le taux le plus faible de photosynthèse, rencontré chez le témoin, est accompagné par le rapport le plus faible de Fv/Fm; les taux les plus élevés, enregistrés chez les somaclones, ont été accompagnés par les rapports les plus élevés. La relation entre la fluorescence chlorophyllienne et la photosynthèse nette a été étudiée par plusieurs chercheurs. Krause et Weis (14) et Mehouachi (15) ont trouvé une relation entre ces deux paramètres.

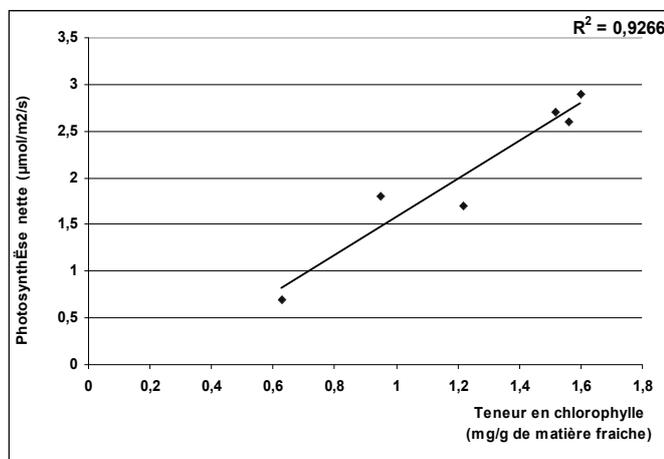


Figure 5: Relation entre le taux de photosynthèse nette et la teneur en chlorophylle chez des clones de glaïeul (R₁, Rb₁, Rb₂, Rib₁ et Rib₂) et chez le cv. 'Peter pears' (témoin) soumis à un régime thermique 18/8 °C.

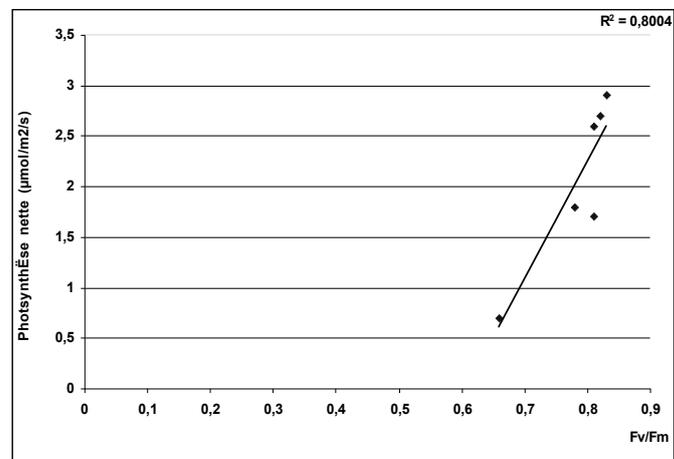


Figure 6: Relation entre le taux de photosynthèse nette et le rapport Fv/Fm chez des clones de glaïeul (R₁, Rb₁, Rb₂, Rib₁ et Rib₂) et chez le cv. 'Peter pears' (témoin) soumis à un régime thermique 18/8 °C.

Chez les plantes soumises à une contrainte du milieu, les faibles taux de photosynthèse nette sont associés à une fluorescence initiale (F0) élevée et un faible rapport Fv/Fm. L'accroissement des valeurs de F0 est la conséquence d'un faible transfert d'électrons photosynthétiques au complexe protéique QA-QB (plastiquinones) dans les chloroplastes et la proportion d'énergie d'excitation réémise comme fluorescence devient de plus en plus importante avec l'augmentation de l'intensité et de la durée du stress. Le rendement quantique des processus photochimiques exprimé par le rapport Fv/Fm montre une étroite relation avec la photosynthèse. Dans les conditions non stressantes, ce rendement est, généralement, voisin de 0,8 et il diminue dans les situations de stress (1, 14).

4. Conclusion

Dans le but de régénérer des variants somaclonaux de glaïeul (*Gladiolus grandiflorus* Hort.) tolérants aux basses températures, un processus de variation somaclonale a été mis en œuvre comportant une callogenèse suivie d'une sélection des régénérants à basses températures (8°C) et/ou associée ou non à une irradiation aux rayons gamma. Ces facteurs de variation ont permis d'obtenir, à partir de bourgeons apicaux de cormes de glaïeul, des pousses viables à basses températures (8 °C). Les essais entrepris ont abouti aux observations suivantes:

- l'irradiation associée ou non aux basses températures ralentissent la croissance des cals et provoquent des nécroses surtout aux fortes doses de rayons gamma (40 ou 50 Gy);
- des cals, partiellement ou totalement nécrosés, sont des massifs cellulaires en division active;
- la néoformation de bourgeons est aussi limitée par les basses températures et les fortes irradiations gamma (40 et 50 Gy);

- bien que, la majorité des pousses obtenues dans ces conditions présentent un aspect hyperhydrique alors que d'autres ont une forme effilée, se dessèchent progressivement et meurent, 5 pousses (R₁, Rb₁, Rb₂, Rib₁ et Rib₂) sur un total de 2804 ont surmonté les contraintes thermiques et de l'irradiation. Elles ont été clonées en conditions stressantes. Il n'est toutefois possible de dégager une origine particulière des régénérants présentant la tolérance recherchée quant au processus de variation somaclonale à adapter;

- la croissance végétative de nouveaux clones semble normale et aucun signe de flétrissement ou de dessèchement n'affecte les pousses.

L'évaluation de l'activité photosynthétique des somaclones de glaïeul obtenus T, R₁, Rb₁, Rb₂, Rib₁ et Rib₂ en relation avec la température de culture a montré que le stress thermique n'affecte pas sensiblement la fluorescence F0 chez les clones Rb₁, Rb₂, Rib₁ alors que le témoin est sensible en montrant une fluorescence F0 élevée. Le rapport Fv/Fm, indicateur de l'efficacité photosynthétique du PSII, demeure stable chez Rb₁, Rb₂ et Rib₁ alors qu'il diminue chez le témoin et à un degré moindre chez R₁ et Rib₂.

La photosynthèse nette est plus élevée chez Rb₁, Rb₂ et Rib₁ par rapport aux autres génotypes sous les deux régimes thermiques, mais elle est plus faiblement chez le témoin et légèrement chez les clones R₁ et Rib₂ en présence des basses températures.

Le stress thermique n'affecte pas la teneur en chlorophylle des feuilles chez les clones R₁, Rb₁, Rb₂ et Rib₁. Son action est plutôt remarquable chez le témoin et Rib₂.

Une relation positive est obtenue entre le taux de photosynthèse nette et le rapport Fv/Fm et entre la photosynthèse nette et les teneurs des feuilles en chlorophylle.

Références bibliographiques

1. Bounaqba S., 1998, Analyse des déterminants de la tolérance à NaCl chez le blé tendre, le triticale et l'orge. Utilisation de la fluorescence chlorophyllienne dans le diagnostic de l'état fonctionnel du photosystème II. Thèse de Doctorat en physiologie végétale. Faculté des Sciences de Tunis. 230 p.
2. Broertjes C., Koene P. & Pronk T., 1983, Radiation-induced low-temperature tolerant cultivars of *Chrysanthemum morifolium* Ram. Euphytica, 32, 97-101.
3. Cohat J., 1993, *Gladiolus*. In: A. Dehertog and M. Le Nard (eds). The physiology of flower bulbs. Elsevier, Amsterdam, 297-320.
4. Dogbe S.Y., Gbadamassi Y. & Dantsey H., 1992, Etude de la variation somaclonale chez le riz. Rapport final STD, 15 p.
5. Dubuc-Lebreux M.A. & Vieth J., 1987, Effets des rayons γ ⁶⁰Co sur des tigelles de *Gerbera jamesonii* irradiées *in vitro*. Can. J. Bot. 65, 261-267.
6. Ghosh P., Mitra G.C. & Sharma A., 1979, Effect of γ irradiation on callus growth of *Vigna sinensis* L. Savi. Curr. Sci. 48, 731-732.
7. Hakam N.S., Khanizadeh J.R., De Eil & Richter C., 2000, Accessing chilling in roses using chlorophyll fluorescence. Hort Science, 35,2, 184-186.
8. 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 en sciences agronomiques. Faculté d'agronomie. Université de Gent. Belgique. 152 p.
9. Havaux M., Ernez M. & Lannoye R., 1988, Sélection de variétés de blé dur (*Triticum sativum* Desf.) et de blé tendre (*Triticum aestivum* L.) adaptées à la sécheresse par la mesure de l'extinction de la fluorescence de la chlorophylle *in vivo*. Agronomie, 8, 193-199.
10. Heller R., Esnault R. & Lance C., 1993, Physiologie végétale. Vol. I. Nutrition, 5^{ème} édition. Masson. Paris: 293 p.
11. Hetherington S.E., Smillie R.M., Hardacre A.K. & Eagles H.A., 1983, Using chlorophyll fluorescence *in vivo* to measure the chilling tolerance of different populations of maize. Austr. J. Plant Physiol. 10, 247-256.
12. Horn W., 1984, Treating *in vitro* cultures of floriculture crops with mutagens. Mutation Breeding Newsletter, 24, 13-45.
13. Impens R., 1989, Les causes non parasitaires des maladies. In: J. Semal (ed). Traité de pathologie végétale. Les presses agronomiques de Gembloux. ASBL, 39-83.
14. Krause G.H. & Weis E., 1991, Chlorophyll fluorescence and photosynthesis: the basics. Ann. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol. 42, 313-349.
15. Mehouchi T., 1993, Evaluation de la croissance et de l'activité écophysiological de la pomme de terre en relation avec le stress nutritif. Thèse de Doctorat. Faculté des Sciences Agronomiques de Gand, Belgique. 204 p.
16. Murashige T. & Skoog F., 1962, A revised medium for rapid growth and bioassays with tobacco cultures. Physiol. plant. 15, 473-497.
17. Seilleur P., 1975, Analyse de la descendance de bulbes de glaïeuls à grandes fleurs, cultivar 'Hawaï', irradiés aux rayons gamma et mutants apparentés. Thèse de Doctorat. Faculté des Sciences Agronomiques de Gembloux, Belgique. 288 p.
18. Shewfelt R.L. & Purvis A.C., 1995, Toward a comprehensive model for lipid peroxidation in plant in plant tissue disorders. Hort. Sci. 30, 213-218.
19. Sibi M., 1995, Vitrovariation et potentialités nouvelles. In: Y. Demarly et E. Piquard (eds) Vitrovariation, potentialités nouvelles et sélection *in vitro*. AUPELF-UREF, 5-54.
20. Smillie R.M. & Nott R., 1982, Salt tolerance in crop plants monitored by chlorophyll fluorescence *in vivo*. Plant Physiol. 70, 1049-1054.
21. Smillie R.M. & Hetherington S.E., 1983, Stress tolerance and stress-induced injury in crop plants measured by chlorophyll fluorescence. Plant Physiol. 72, 1043-1050.

T. Bettaieb, Tunisien, Ingénieur, Titulaire d'un doctorat en Sciences agronomiques de l'Institut National Agronomique de Tunisie. Maître-assistant à l'Ecole Supérieure d'Horticulture et d'Élevage Chott-Mariem, Tunisie.

M. Denden, Tunisien, Ingénieur, Titulaire d'un doctorat en Sciences agronomiques de la Faculté des Sciences Agronomiques et Biologiques appliquées de Gand-Belgique en 1996, Maître de conférences à l'Ecole Supérieure d'Horticulture et d'Élevage Chott-Mariem, Tunisie.

M. Mhamdi, Tunisien, Ingénieur, Titulaire d'un doctorat en Sciences agronomiques de la Faculté Universitaire des Sciences Agronomiques de Gembloux-Belgique. Maître-assistant à l'Ecole Supérieure d'Agriculture du Kef Boulifa. Kef. Tunisie.

Influence des facteurs environnementaux sur la répartition spatiale des crevettes dans un petit bassin ouest africain – rivière Boubo – Côte d'Ivoire

G.K. N'Zi¹, B.G. Gooré¹, E.P. Kouamélan¹, T. Koné¹, V. N'Douba¹ & F. Ollevier²

Keywords: Freshwater shrimps- Species composition- Environmental variables- Boubo River- Ivory Coast

Résumé

Des prélèvements mensuels ont été réalisés en 2000 afin d'analyser les communautés des crevettes vivant dans la rivière Boubo et d'identifier les principaux paramètres environnementaux responsables de leur distribution spatiale. Cette rivière subit les effets conjugués des aménagements hydro-agricoles et d'une usine de production d'huile de palme. Cette étude réalisée pour la première fois dans la rivière Boubo a permis de mettre en évidence neuf espèces de crevettes appartenant à 4 genres (*Atya*, *Caridina*, *Desmocarid* et *Macrobrachium*) et 2 familles (*Atyidae* et *Palaemonidae*). Il s'agit de *Atya africana* (Bouvier 1904), *Caridina africana* (Kingsley, 1882), *Caridina nilotica* (P. Roux 1833), *Desmocarid trispinosa* (Aurivillius 1898), *Macrobrachium vollenhovenii* (Herklots 1851), *Macrobrachium macrobrachion* (Herklots 1851), *Macrobrachium felicinum* (Holthuis 1949), *Macrobrachium dux* (Lenz 1910) et *Macrobrachium sollaudii* (De Man 1912). Des analyses statistiques (Analyse Canonique de Correspondance et des tests de Monte Carlo) ont montré que la profondeur et la largeur du bassin versant, la canopée et en particulier la nature du substrat (mélange bois morts feuilles rochers et de sable graviers) sont les principaux facteurs environnementaux qui influencent le plus la distribution spatiale des différentes espèces de crevettes dans la rivière Boubo.

Summary

Environmental Control of Shrimps Communities Structure along a Small West African Basin – Boubo River – Ivory Coast

The relationship between shrimps species and environmental variables were studied in Boubo River, a coastal river in Ivory Coast. The river is submitted to the impact of human activities (dam construction and oils factory). This survey achieved for the first time in the Boubo River permitted to put in evidence nine freshwater shrimps species [*Atya africana* (Bouvier 1904), *Caridina africana* (Kingsley, 1882), *Caridina nilotica* (P. Roux 1833), *Desmocarid trispinosa* (Aurivillius 1898), *Macrobrachium vollenhovenii* (Herklots 1851), *Macrobrachium macrobrachion* (Herklots 1851), *Macrobrachium felicinum* (Holthuis 1949), *Macrobrachium dux* (Lenz 1910) and *Macrobrachium sollaudii* (De Man 1912)] belonging to two families (*Atyidae* and *Palaemonidae*) and four genera (*Atya*, *Caridina*, *Desmocarid* and *Macrobrachium*) were captured. Significant correlation between habitat characteristics and presence or absence of shrimps species suggest that rocky, leaves and death-woods substrates, canopy closure, width, depth and transparency were the main environmental variables influencing shrimps distribution.

Introduction

La pollution produite par les activités urbaines, industrielles et agricoles exerce des pressions considérables sur les écosystèmes aquatiques, lesquelles se traduisent par une dégradation de la qualité de l'eau et des habitats dont dépend la vie aquatique (1, 9). Les organismes intègrent différents types et degrés d'impacts environnementaux qui se produisent sur une variété d'échelles spatiales et temporelles (17, 31). Ils permettent d'obtenir un portrait beaucoup plus précis de l'intégrité d'un écosystème (31). Il est alors impératif, pour toute politique de conservation, d'utilisation durable et rationnelle des écosystèmes, d'évaluer l'état de santé des organismes présents dans le milieu (24).

En Afrique, très peu de travaux ont été consacrés à la perte de la biodiversité en relation avec la dégradation du milieu (16, 20).

En Côte d'Ivoire, quelques travaux sont consacrés aux relations existant entre les variables environnementales et la faune des poissons (5, 18, 19), à la structure des communautés ichtyologiques (7) ou à la dynamique des peuplements (6).

Exceptés les travaux de Gooré Bi *et al.* (11) et N'Zi *et al.* (21), les données sur les crevettes des eaux douces de Côte d'Ivoire sont limitées à la systématique et à la biologie de certaines espèces d'intérêt économique (4, 12, 27).

Cette présente étude menée pour la première fois dans la rivière Boubo, se situe dans le cadre d'un programme pluridisciplinaire intitulé "Caractérisation, utilisation et

conservation de la biodiversité des poissons d'eau douce de Côte d'Ivoire". Elle vise à identifier les différentes espèces de crevettes vivant dans la rivière Boubo en vue d'évaluer le potentiel existant et à déterminer les associations communautaires en rapport avec les variables environnementales et la distribution des différentes espèces.

Description du site

Le Boubo long de 130 km, prend sa source vers Zarékro à la côte 230 (Figure 1). Il est localisé dans le sud forestier entre la latitude 5°18 et 6°02 N et la longitude 5°09 et 5°23 W. Le bassin versant est de l'ordre de 5.100 km². Sa pente modérée en amont de la ville de Divo, augmente dans la section de son cours comprise entre le pont Divo et le pont Guitry. Sur les 26 premiers kilomètres, la pente de la rivière est de 3 m/km. C'est dans ce tronçon que sont situées les chutes de Ménokadié. La rivière Boubo comporte au niveau de Palmci (5°38 N et 5°19 W) un bloc agro-industriel (plantations de palmiers à huile) et un déversoir d'une usine de production d'huile et de tourteaux de graines (19). Cette zone ayant des caractéristiques particulières permet de subdiviser la rivière en cours supérieur pour les stations situées en amont (B₀₁, B₀₂ et B₀₃), en cours moyen pour les stations situées dans la partie intermédiaire (B₀₄, B₀₅, B₀₆, B₀₇, B₀₈ et B₀₉) et en cours inférieur en aval (B₁₀, B₁₁, B₁₂, B₁₃, B₁₄, B₁₅, B₁₆, B₁₇, B₁₈ et B₁₉).

¹Laboratoire d'Hydrobiologie, UFR Biosciences, Université de Cocody Abidjan, 22 BP 582 Abidjan 22, Côte d'Ivoire.

²Katholieke Universiteit Leuven, Ch. De Bériotstraat 32, B-3000 Leuven, Belgium.

*Correspondance de l'auteur, E-mail: enzi_gervais@yahoo.fr

Reçu le 16.02.06 et accepté pour publication le 09.10.06.

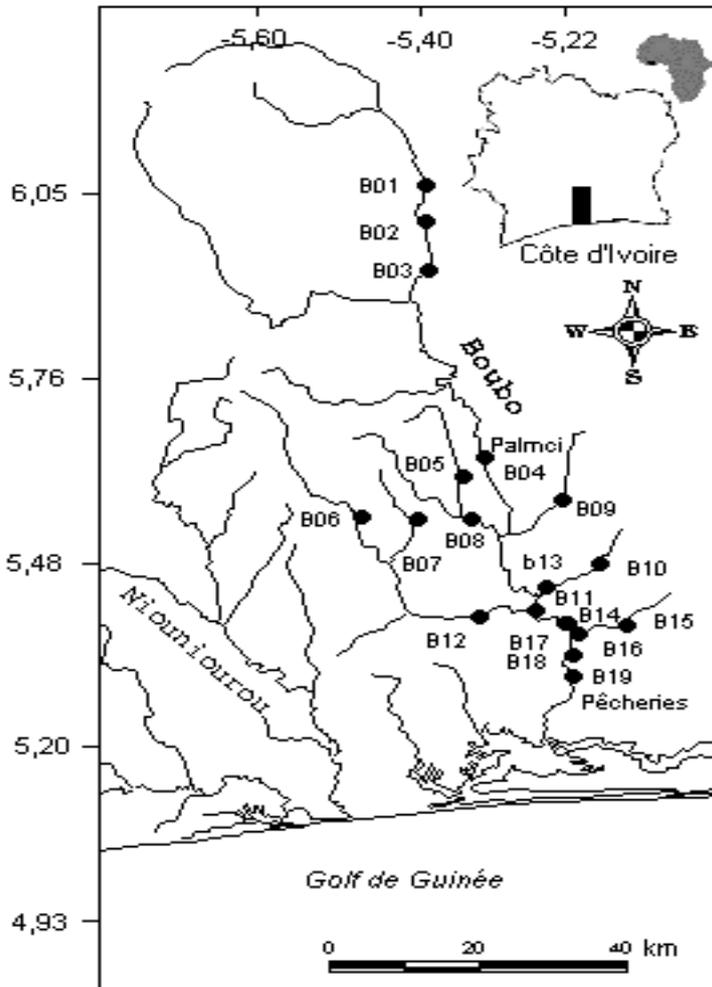


Figure 1: Carte de distribution des sites d'échantillonnage de crevettes de la rivière Boubo (Côte d'Ivoire).

Matériels et méthodes

a) Echantillonnage des crevettes

L'échantillonnage des crevettes a duré 6 mois (mai à novembre 2000). Deux types d'engins de pêche ont été utilisés: (a) un appareil de pêche électrique de model 12 B Pow electrofisher Smith-Root et (b) des nasses faites d'armatures en bois et recouvertes de filet de 13 mm de vide de maille. Chaque séance de pêche électrique effective a duré 15 minutes et en parcourant l'eau à pied. Tous les spécimens capturés ont été identifiés à l'aide des clés de Monod (22, 23), Powell (26) et Gooré Bi (10).

b) Mesure des variables environnementales

Au niveau de chaque site d'échantillonnage, 20 variables environnementales ont été prises en compte (Tableau 1). Les paramètres physico-chimiques suivants ont été mesurés *in situ*: pH (mesuré avec un pH-mètre de type WTW 330), oxygène dissous (en mg/l avec un oxymètre de type WTW OXI 330), conductivité (en $\mu\text{S}/\text{cm}$ avec un conductimètre de type WTW-LF 340), taux de solides dissous ou TDS (en mg/l avec un conductimètre de type WTW-LF 340), transparence de l'eau (en cm avec un disque de Secchi) et température de l'eau (en $^{\circ}\text{C}$ avec un thermomètre couplé à l'oxymètre). Toutes ces variables, à l'exception de la transparence de l'eau, ont été mesurées au niveau des 50 premiers centimètres du plan d'eau. Les paramètres physiques suivants ont été utilisés pour caractériser l'habitat (16): profondeur et largeur du bassin versant en mètre, vitesse du courant (m/s), taux de couverture et hauteur de la canopée

(estimés respectivement en % et en mètre) et types de substrats (évalués en % et correspond à la proportion de surface de fond recouverte par ce type de substrat). Les types de substrats identifiés sont: sable, sable-gravier, gravier, boue, rochers, argile-boue et bois morts feuillages racines. Au niveau de chaque station, des échantillons d'eau ont été prélevés avant la pêche et conservés au frais pour le dosage au spectrophotomètre DR/2010 des composés ioniques : nitrites (NO_2^-) et phosphates (PO_4^{3-}).

c) Traitements statistiques

Les indices suivants ont été utilisés pour l'analyse qualitative et quantitative des différents taxons de crevettes

Proportion numérique: c'est le rapport du nombre d'individus (n) d'un groupe taxinomique (espèce, famille ou ordre) sur le nombre total d'individus (Nt).

$$N = \frac{n}{Nt} \times 100$$

Ce résultat est traduit en pourcentage de l'effectif total des crevettes.

Pourcentage d'occurrence (% O): c'est le pourcentage de stations où une espèce est échantillonnée par rapport au nombre total de stations prospectées. Elle quantifie le degré d'ubiquité des différentes espèces :

$$O\% = \frac{Si}{St} \times 100$$

Où: S_i = nombre de stations où l'espèce i a été capturée
 S_t = nombre total de stations prospectées.

L'analyse canonique de correspondance (ACC)

L'analyse canonique de correspondance a été employée dans le but de dégager d'éventuelles corrélations entre la distribution des espèces et les variables environnementales (25, 29) afin de caractériser l'habitat de chaque espèce. A cet effet, trois matrices de données espèces/sites et variables environnementales/sites (ensemble des crevettes, familles des Palaemonidae et famille des Atyidae) ont été constituées sur la base des abondances numériques absolues des différentes espèces. L'analyse canonique de correspondance (CCA) a été appliquée aux 9 espèces pour l'ensemble des crevettes, 6 pour les espèces de la famille des Palaemonidae et 3 pour les Atyidae, et aux 19 sites où les 20 facteurs environnementaux ont été enregistrés. Les tests de Monte Carlo avec 199 permutations ont été effectués pour sélectionner les variables environnementales qui expliquent le mieux la distribution des espèces de crevettes. Les abondances numériques et les valeurs des facteurs environnementaux ont subi une transformation logarithmique de type $\log(x+1)$ afin d'obtenir une distribution normale de ces données. Cette analyse a été réalisée à l'aide du programme Canoco (Canonical Community Ordination) version 6.0.

Résultats

Composition spécifique

Neufs espèces de crevettes appartenant à deux familles (Palaemonidae-Atyidae) et quatre genres (*Macrobrachium-Desmocariss-Caridina-Caridina*) ont été identifiées dans la rivière Boubo (Tableau 2).

Du point de vue proportion numérique, le peuplement de crevettes de la rivière Boubo (Figure 2) est majoritairement dominé par les espèces *Macrobrachium macrobrachion* (23%) et *M. vollehovenii* (22%). Elles sont suivies de *Caridina africana* (15%), *C. nilotica* (13%) et *Desmocariss trispinosa* (11%). A côté de ces espèces, les autres moins représentées sont constituées par *M. dux* (6%),

Tableau 1
Variables environnementales enregistrées sur chaque site d'échantillonnage de la rivière Boubo (Côte d'Ivoire)

Sites d'échantillonnages	B 01	B 02	B 03	B 04	B 05	B 06	B 07	B 08	B 09	B 10	B 11	B 12	B 13	B 14	B 15	B 16	B 17	B 18	B 19	
Variables																				
Vitesse (m/s)	0,29	0,29	0,67	0,14	0,19	0,25	0,44	0,30	0,15	0,31	0,20	0,33	0,37	0,13	0,11	0,10	0,08	0,35	0,41	
PH	7,02	7,08	6,46	8,19	7,70	7,40	6,77	6,93	6,30	6,39	6,20	6,75	6,90	6,92	6,90	6,60	6,49	6,54	5,65	
Oxygène (mg/l)	4,70	5,45	4,95	12,50	1,30	4,70	7,95	7,07	0,72	4,63	4,62	4,49	4,50	2,77	2,14	2,58	4,65	5,00	5,24	
Conductivité (µs/cm)	68,57	85,25	130,00	116,60	239,0	242,00	143,80	138,30	115,20	125,60	125,60	126,40	126,50	122,90	120,90	62,40	79,10	113,30	146,90	
TDS (mg/l)	57,00	54,50	55,00	51,00	98,00	99,00	83,00	52,00	69,00	75,00	75,00	76,00	76,00	74,00	73,00	37,00	47,00	68,00	88,00	
Transparence (cm)	0,32	0,13	0,10	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,67	0,38	0,50	0,41	0,18	0,16	0,15	0,27	0,57	0,43	
NO ₂ ⁻	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,12	0,01	0,00	0,08	0,08	0,10	0,14	0,09	0,04	0,06	0,06	0,17	0,06	0,06	
PO ₄ ³⁻	0,43	0,38	0,41	0,76	0,71	0,78	0,31	0,35	0,09	0,38	0,31	0,44	0,65	0,71	0,22	0,23	0,54	0,12	0,32	
Température de l'eau (°C)	26,90	26,60	26,40	26,50	27,70	24,00	26,50	25,50	27,60	29,70	29,60	28,20	28,70	26,20	26,40	31,00	26,70	27,00	27,60	
Type de substrats et canopée																				
Profondeur moyenne (cm)	190,00	300,00	334,50	110,00	60,00	55,00	55,00	105,00	40,00	60,00	65,00	80,00	85,00	85,00	95,00	32,50	110,00	52,50	140,00	
Largeur moyenne (m)	25,00	37,50	40,00	2,25	2,30	5,00	4,00	4,00	1,43	30,00	10,75	11,50	20,00	4,50	5,00	6,00	10,00	2,75	35,00	
Sable (%)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	20,00	50,00	2,00	50,00	12,00	5,00	90,00	80,00	25,00	5,00	0,00	60,00	90,00	5,00	
Sable graviers (%)	0,00	35,00	60,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Graviers (%)	25,00	0,00	0,00	10,00	0,00	0,00	40,00	0,00	50,00	78,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	25,00	0,00	0,00	
Boue (%)	50,00	35,00	20,00	0,00	10,00	80,00	10,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	20,00	0,00	5,00	0,00	
Rochers (%)	24,00	0,00	0,00	5,00	0,00	0,00	0,00	98,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	95,00	
Argile boue (%)	0,00	0,00	0,00	5,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	80,00	0,00	0,00	30,00	60,00	80,00	0,00	0,00	0,00	
Bois morts feuillages racines(%)	0,00	30,00	20,00	80,00	90,00	0,00	25,00	0,00	0,00	10,00	15,00	10,00	20,00	45,00	35,00	0,00	15,00	5,00	0,00	
Canopée (%)	1,00	50,00	50,00	60,00	98,00	98,00	0,00	20,00	1,00	35,00	10,00	30,00	35,00	80,00	90,00	0,00	15,00	15,00	10,00	
Hauteur de la canopée (m)	0,50	3,00	2,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,00	0,00	6,00	4,00	6,00	5,00	0,00	5,00	0,00	1,50	1,00	2,00	

Tableau 2
Liste de différentes espèces de crevettes échantillonnées dans la rivière Boubo (Côte d'Ivoire) (+ = présence)

Famille	Genre	B01	B02	B03	B04	B05	B05	B05	B07	B08	B09	B10	B11	B12	B13	B14	B15	B16	B17	B18	B19	
Atyidae	Genre																					
	<i>Atya</i>																					
	<i>Caridina</i>																					
	<i>A. africana</i>																					
	<i>C. africana</i>																					
	<i>C. nilotica</i>																					
	<i>D. trispinosa</i>																					
Palaemonidae	<i>Desmocais</i>																					
	<i>Macrobrachium</i>																					
	<i>M. dux</i>																					
	<i>M. felicinum</i>																					
	<i>M. macrobrachion</i>																					
	<i>M. sollaudii</i>																					
	<i>M. vollenhovenii</i>																					

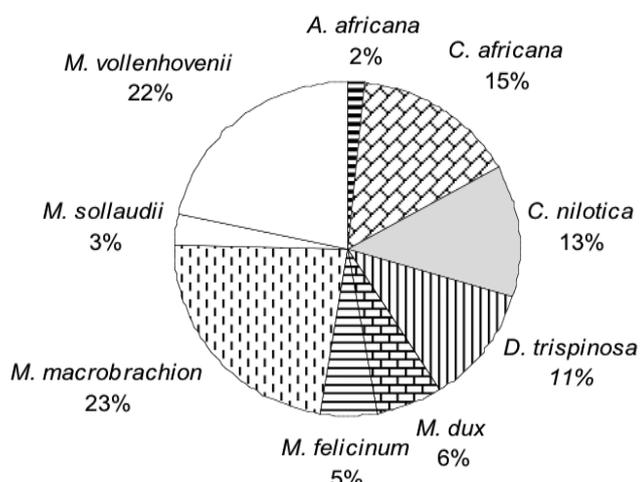


Figure 2: Proportion numérique des espèces de crevettes de la rivière Boubo.

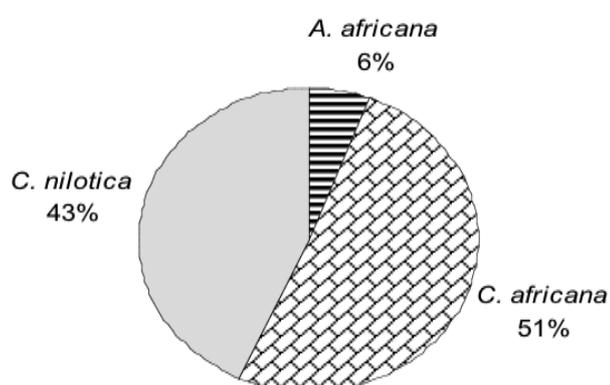


Figure 3: Proportion numérique des espèces de crevettes de la famille des Atyidae.

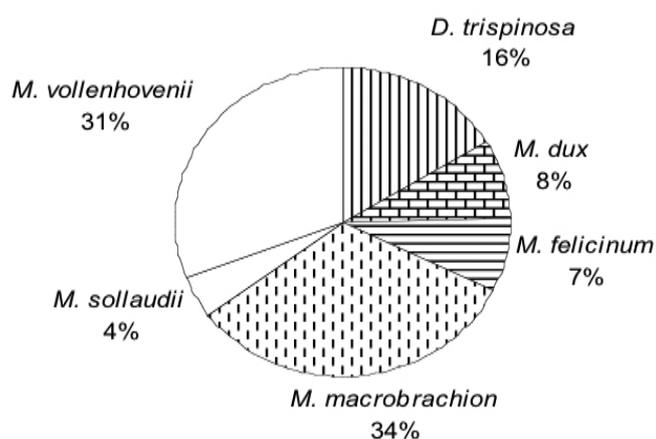


Figure 4 : Proportion numérique des espèces de crevettes de la famille des Palaemonidae.

M. felicinum (5%), *M. sollaudii* (3%) et *A. africana* (2%). En ce qui concerne la famille des Atyidae (Figure 3), le peuplement est dominé par les espèces *C. africana* et *C. nilotica* qui représentent respectivement 51 et 43% de l'effectif total des crevettes. Elles sont suivies de *A. africana* (6%).

Chez les Palaemonidae (Figure 4), le peuplement est dominé par les espèces *M. macrobrachion* (34 %) et *M. vollenhovenii* (31 %). Elles sont suivies des espèces *D. trispinosa* (16%), *M. dux* (8%), *M. felicinum* (7%) et *M. sollaudii* (4%).

Relation espèces variables environnementales

L'analyse hiérarchique de classification ascendante (AHC) et l'analyse canonique de correspondance (CCA) appliquées à la matrice espèces/sites (19 sites et 9 espèces, Tableau 3), ont permis de distinguer trois groupes d'espèces/sites (Figure 5). Le groupe A est constitué par 9 sites dont le peuplement est dominé par les espèces *Atya africana*, *Macrobrachium felicinum*, *M. sollaudii* et *M. dux*. Ce groupe est corrélé positivement à l'axe II et aux variables environnementales profondeur (Pm) du bassin versant et la transparence (Tr) des eaux. Le groupe B, corrélé négativement à l'axe I, correspond à 6 sites caractérisés par la largeur (Lm) du bassin versant et un substrat formé d'un mélange de sable gravier. Il comprend les espèces *M. macrobrachion* et *M. vollenhovenii*. Le groupe C est corrélé positivement à l'axe I. Il décrit 4 sites caractérisés par la canopée (C) et un substrat majoritairement dominé par un mélange de bois morts feuilles et racines (BmFR). Trois espèces *Caridina africana*, *C. nilotica* et *Desmocaris trispinosa* composent ce groupe.

L'Analyse Canonique de Correspondance appliquée aux trois différentes matrices et aux facteurs environnementaux enregistrés dans chaque site, a permis de mettre en évidence la relation qui existe entre les différentes espèces de crevettes et les variables environnementales.

Pour l'ensemble des crevettes, l'ordination des corrélations par l'analyse canonique de correspondance (CCA) indique que l'axe I (valeur propre $\lambda_1 = 0,297$) et l'axe II (valeur propre $\lambda_2 = 0,103$) expriment 83% de la variance cumulée espèces variables environnementales. Les valeurs propres (P-value) calculées avec l'analyse en CCA associée au test de Monte Carlo (Tableau 3) ont permis de sélectionner 6 variables environnementales statistiquement significatives ($p < 0,05$) qui expliquent mieux (55,16%), les variations de la composition spécifique d'amont à l'aval: largeur du bassin versant (14,99%), canopée (10,61%), transparence (9,10%), profondeur (6,36%), sable gravier (7,05%) et bois morts feuilles et racines (7,05%).

Tableau 3
Résumé de l'Analyse Canonique de Correspondance (CCA) des trois matrices de données sur les crevettes et des valeurs propres (P-value) des variables environnementales

	Crevettes	Palaemonidae	Atyidae
Largeur du bassin	0,005*	0,005*	0,080
Canopée	0,01*	0,240	0,005*
Transparence	0,02*	0,020	0,390
Bois morts feuilles racines	0,01*	0,01*	0,02*
Sable graviers	0,04*	0,03*	0,03*
Profondeur	0,03*	0,190	0,370
Hauteur canopée	0,140	0,190	0,050
Conductivité	0,240	0,600	0,200
Sable	0,210	0,460	0,070
Oxygène	0,250	0,03*	0,500
Argile boue	0,405	0,165	0,190
TDS	0,325	0,770	0,360
Rochers	0,340	0,770	0,590
pH	0,390	0,370	0,120
Température eau	0,450	0,640	0,825
Graviers	0,450	0,750	0,130
Boue	0,515	0,690	0,750

La P-value est calculée avec l'analyse en CCA associée au test de Monte Carlo. (*) P-value < 0,05.

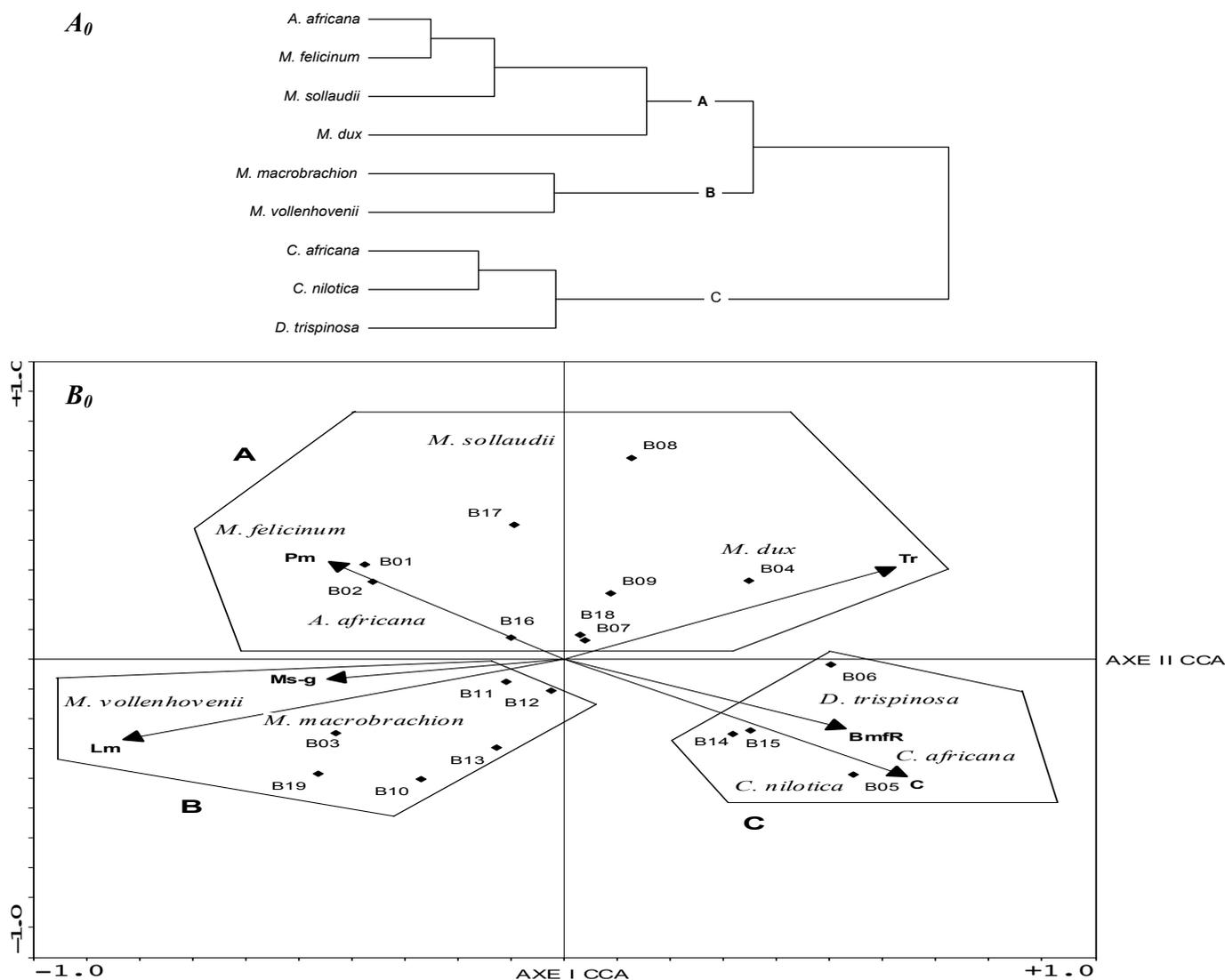


Figure 5: Peuplement des crevettes de la rivière Boubo.

A₀ : Dendrogramme mettant en relief les similarités entre les différentes espèces de crevettes.

B₀ : Analyse canonique mettant en relief la corrélation entre la composition spécifique et les variables environnementales.

Abréviations: P= Profondeur du bassin; Tr= Transparence de l'eau; Ms-g= Mélange sable graviers; L= Largeur du bassin versant; BmFR= Mélange bois morts feuillages racines; C= canopée.

Dans l'interprétation des ordinations en CCA de la matrice des Palaemonidae, seuls ont été considérés, les axes I (valeur propre $\lambda_1 = 0,284$) et II (valeur propre $\lambda_2 = 0,101$) qui expriment 81,3% la variance cumulée espèces variables environnementales. En outre, la largeur du bassin versant, la teneur en oxygène du milieu, le substrat constitué de bois morts feuilles et racines, et de sable gravier sont statistiquement significatifs (Tableau 3).

En ce qui concerne la matrice des Atyidae, les axes I (valeur propre $\lambda_1 = 0,297$) et II (valeur propre $\lambda_2 = 0,063$) qui expriment à eux seuls 89,8% de la variance cumulée espèces variables environnementales ont été considérés. La canopée, le substrat constitué de bois mort feuilles racines et de sable gravier sont statistiquement significatifs (Tableau 3).

Distribution longitudinale des espèces

La collecte des crevettes dans la rivière Boubo a été faite dans 19 sites. Cependant la composition spécifique et l'abondance numérique des espèces diffèrent d'une station à l'autre (Figure 6). L'étude du peuplement en fonction du gradient longitudinal a révélé que les sites situés dans le cours moyen de la rivière (B₀₄; B₀₅; B₀₆ et B₀₇) présentent le plus faible nombre d'espèces (2 espèces chacune). Par

contre, les sites B₁₁, B₁₆ et B₁₉ situés dans le cours inférieur présentent le plus grand nombre d'espèces (respectivement 5; 6 et 6).

L'espèce *A. africana* est uniquement récoltée à la station B₁₁. Elle peut être considérée comme faiblement représentée dans la rivière Boubo.

Par contre les espèces *C. africana*, *C. nilotica* et *M. vollenhovenii* sont présentes tout le long de la rivière. Ces espèces très fortement représentées ont des pourcentages de présence ou d'occurrence (%O) respectifs de 52,63%, 57,89% et 57,89%. Les autres espèces *D. trispinosa* (%O= 42,10%), *M. dux* (%= 31,58%), *M. felicinum* (%O= 31,58%), *M. Macrobrachion* (%O= 31,58%) et *M. sollaudii* (%O= 10,53%) sont moyennement représentées le long du gradient amont aval de la rivière boubo.

Discussion - conclusion

L'inventaire systématique des crevettes de la rivière Bia (10) a permis de mettre en évidence 7 espèces de crevettes. En outre, les travaux de Gomez (*Communication personnelle*) ont montré l'existence de 6 espèces de *Macrobrachium* dans l'ensemble des eaux douces de Côte d'Ivoire. Par

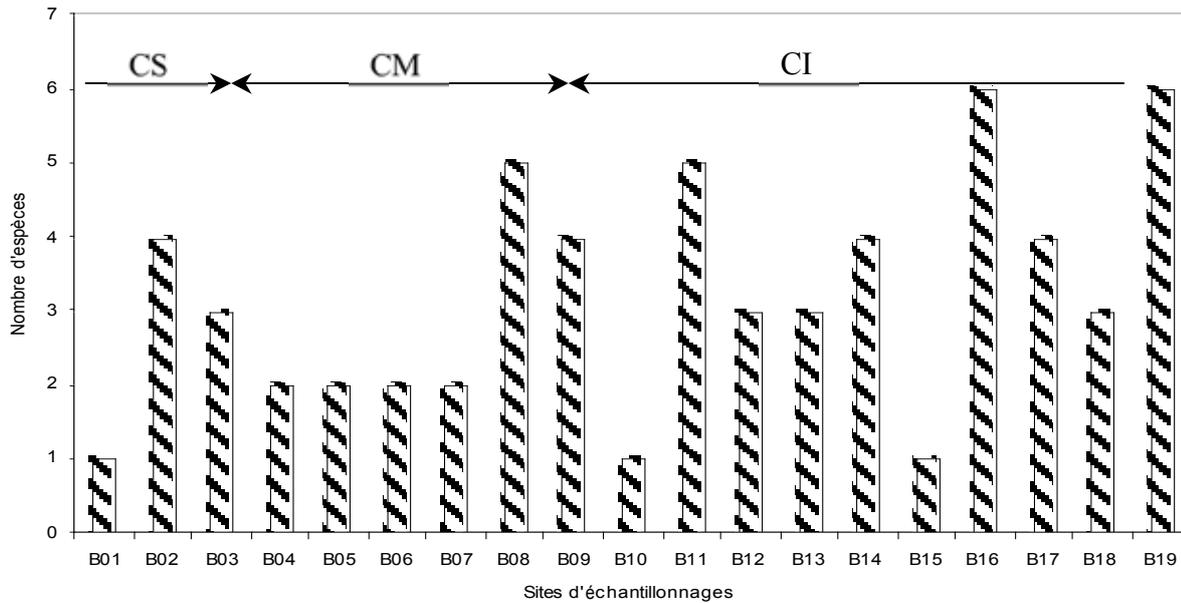


Figure 6: Distribution longitudinale des crevettes d'eau douce le long du gradient amont aval de la rivière Boubo (Côte d'Ivoire). CS= cours supérieur CM= cours moyen CI= cours inférieur

ailleurs, ceux de N'zi *et al.* (21) ont révélé l'existence de 10 espèces de crevettes dans la rivière Mé. Parmi les espèces rencontrées par ces auteurs, 3 n'ont pu être capturées dans le cadre de cette étude: *A. scabra* (Leach 1815) [Atyidae], *M. thysi* (Powell, 1980) et *M. ravidens* (Hilgendorf, 1893) [Palaemonidae].

L'absence de ces espèces dans les échantillons de la rivière Boubo, pourrait être liée comme le souligne Kouamélan *et al.* (19) à plusieurs facteurs : les méthodes de pêche utilisées (inefficacité de la pêche électrique dans les eaux profondes et la trop grande passivité des pêches à la nasse), les types d'habitats échantillonnés, les périodes d'échantillonnage, les disparitions d'espèces et également, la présence d'une usine d'exploitation de palmier à huile qui déverse des déchets dans le lit de la rivière perturbant ainsi le milieu de vie des crevettes.

Pour Belpaire (2) et Da Costa *et al.* (5), le taux de solides dissous (TDS) compte parmi les facteurs discriminants dans les rivières Agnébi et Bia (Côte d'Ivoire). Huguény (13) a noté une relation positive entre la largeur du bassin versant et la richesse spécifique dans la rivière Niandan (Haut Niger). Il convient cependant de souligner comme Hynes (14), Troadec *et al.* (30) et Charles *et al.* (3), que la distribution et l'abondance des macro invertébrés comme les crevettes dans les cours d'eau, est dans une large mesure, fonction des exigences spécifiques des divers taxa et des caractéristiques environnementales des différentes portions des rivières, ainsi que de la disponibilité de la nourriture et la nature du substrat.

Les différentes analyses ont montré que les paramètres hydrobiologiques, spécifiquement la nature du substrat (bois morts feuilles racines et sable racines) pourraient avoir une influence significative sur la distribution des espèces de crevettes dans la rivière Boubo. Les crevettes se concentrent là où ces variables sont les plus élevées.

Par ailleurs, il ressort de cette étude que la distribution des espèces dans la rivière Boubo ne suit pas le schéma classique de distribution selon laquelle le nombre d'espèces

augmente d'amont en aval par addition des espèces marines et estuariennes comme indiqué par Corredor (4). Cette différence pourrait s'expliquer par l'existence d'une usine de production d'huile de palme (B₀₄) qui déverse ses déchets dans le lit de la rivière polluant ainsi le milieu et provoquant la disparition de certaines espèces. Cela se traduit par une faible proportion des espèces observées au niveau du cours moyen de la rivière par rapport au cours supérieur et au cours inférieur. Aussi, cette différence pourrait-elle également être liée à l'existence de nombreux petits barrages dressés par les populations riveraines soit sur le cours principal de la rivière (pêcheries) (station B₁₉), soit dans les affluents (B₁₀).

Les possibilités de migration des espèces le long des cours d'eaux semblent jouer un rôle prépondérant dans l'établissement des différents peuplements. La plupart des espèces possèdent des stades larvaires estuariens ou saumâtres. Ce fait est établi pour les deux familles de crevettes. Hunte (15) a montré que la métamorphose des larves de certaines espèces de crevettes de la famille des Atyidae, nécessite la présence d'eau salée. Les mêmes observations ont été faites pour certaines espèces du genre *Macrobrachium* originaires des Caraïbes (8) et de la Côte d'Ivoire (28).

Ces barrages empêchent alors la migration de certaines espèces qui lors de la reproduction descendent le cours de la rivière vers les eaux saumâtres (27), les obligeant à ce confiner dans certains endroits de la rivière.

Remerciements

Nous tenons à remercier le Professeur F. Ollevier promoteur belge du projet Biodiversité intitulé: "Caractérisation, utilisation et conservation de la biodiversité des poissons d'eau douce de Côte d'Ivoire" ainsi que toute l'équipe scientifique du laboratoire d'Hydrobiologie de l'Université de Cocody-Abidjan pour la collecte des données sur le terrain.

Références bibliographiques

1. Allan J.D. & Flecker, A.S., 1993, Biodiversity conservation in running waters: identifying the major factors that threaten destruction of riverine species and ecosystems, *BioSci.* **43**, 1, 32-43.
2. Belpaire C., 1996, Paramètres physico-chimiques, populations piscicoles et intégrité biotique des rivières Bia et Agnébi. Rapport de mission de consultation pour le projet KUL/VLIR "Evolution de la Biodiversité des poissons après la construction d'un barrage, cas de la rivière Bia en Côte d'Ivoire", 35 p.
3. Charles P.H., Michael L.M. & Anderson N.H., 1982, Effects of canopy, substrate composition and gradient on the structure of macro invertebrate communities in Cascade Range stream of Oregon. *Ecology*, **63**, 3, 1840-1856.
4. Corredor L., 1979, Identification, distribution et aperçus écologiques des crevettes d'eau douce de Côte d'Ivoire. Rapp. Stage. DEA océanogr. Biol., Paris 6, 36 p.
5. Da Costa K.S., Gourène G., Tito De Morais L. & Thys Van Den Audenaerde D.F.E., 2000, Caractérisation des peuplements ichthyologiques de deux fleuves côtiers ouest africains soumis à des aménagements hydroagricoles et hydroélectriques. *Vie et milieu*, **50**, 65-77.
6. Daget J., Planquette N. & Planquette P., 1973, Premières données sur la dynamique des peuplements de poissons du Bandama (Côte d'Ivoire). *Bulletin du Muséum National d'Histoire Naturelle*, 3^e série, n° 151, 129-142.
7. De Mérona B., 1981, Zonation ichthyologique du bassin du Bandama (Côte d'Ivoire). *Rev. Hydrobiol. Trop.* **14**, 1, 63-75.
8. Dugan C.C., Hagwood R.W. & Frakes T.A., 1975, Development of spawning and mass larval rearing genus *Macrobrachium* (Decapoda-Palaemonidae). *Fla. Mar. Res. Publ.* **12**, 1-28.
9. Gammon J.R., 1980, The use of community parameters derived from electrofishing catches of river fish as indicators of environmental quality, Seminar on Water Quality Management Trade-Offs, EPA-905/9-80-009, U.S. Environmental Protection Agency, Washington, D.C., 335-363.
10. Gooré Bi G., 1998, Contribution à l'étude des crevettes d'eau douce de Côte d'Ivoire: systématique, biologie et analyse socio-économique de la pêche de *Macrobrachium vollenhovenii* (Herklots 1857) et de *M. macrobrachion* (Herklots 1851) (Crustacea Décapoda, Palaemonidae) du bassin de la Bia. Thèse de Doctorat 3^e cycle, 145 p.
11. Gooré Bi G., Gourène G., N'douba V. & N'Guessan K.J., 2001, Rythme d'activité et rythme alimentaire de deux espèces de crevettes d'eau douce ouest africains: cas de la rivière Bia (Côte d'Ivoire). *Sc. et Tech., Sciences naturelles et agronomie*, Vol. **25**, n°2, 17-24
12. Gooré Bi G., Gourène G., N'Douba V. & N'Guessan K.J., 2004, Stratégie de reproduction de deux espèces de crevettes d'eau douce *Macrobrachium vollenhovenii* (Herklots 1857) et de *M. macrobrachion* (Herklots 1851) de la rivière Bia (Côte d'Ivoire). *Rev. Inter. Sciences de la vie et de la terre*, Vol. **4**, 116-127.
13. Huguéy B., 1990, Richesse des peuplements de poissons dans le Niandan (haut Niger, Afrique) en fonction de la taille de la rivière et de la diversité du milieu. *Rev. Hydrobiol. Trop.* **23**, 351-364.
14. Hynes H.B.N., 1970, The ecology of running water. University of Toronto, Press Toronto, Ontario, Canada, 312-374
15. Hunte W., 1977, Laboratory rearing of the Atyid shrimps *Atya innocua* Herbst and *Micratya poeyi* Guérin-Méneville (Decapoda, Atyidae). *Aquaculture*, **11**, 373-378.
16. Kamdem Toham A. & Teugels G.G., 1998, Diversity patterns of fish assemblages in the Lower Ntem River Basin (Cameroon), with notes on potential effect of deforestation. *Archiv für Hydrobiologie*, **141**, 421-446
17. Karr J.R., Fausch K.D., Angermeier P.L., Yant P.R. & Schlosser I.J., 1986, *Assessing biological integrity in running waters: a method and its rationale*, Illinois Natural History Survey Special Publication 5, 28 p.
18. Koné T., Teugels G.G., N'Douba V., Kouamélan E.P. & Gooré Bi G., 2003, Fish assemblages in relation to environmental gradients along a small west African coastal basin, the San Pedro River, Ivory Coast. *African Journal of Aquatic Science*, **28**, 2, 163-168.
19. Kouamélan E.P., Teugels G.G., N'Douba V., Gooré Bi G. & Koné T., 2003, Fish diversity and its relationships with environmental variables in a West African basin. *Hydrobiologia*, **505**, 139-146.
20. Lévêque C. & Paugy D., 1999, Impact des activités humaines: *In: Les poissons des eaux continentales africaines: diversité, écologie, utilisation par l'homme* (Lévêque C. & Paugy D., eds.), pp. 365-383. Editions de l'IRD (Paris). Mem. DEA. Univ. Cocody, 63 p.
21. N'Zi K.G., Gooré Bi G., N'Douba V., Koné T., Kouamélan E.P. & Ollevier F., 2003, Diversité biologique des crevettes d'un petit bassin côtier ouest africain, rivière Mé, Côte d'Ivoire en relation avec les variables environnementales, *Sciences et Techniques, Sciences naturelles et agronomie*, Vol. **27**, n° 1 et 2, 17-27.
22. Monod T., 1966, Crevettes et crabes des côtes occidentales de l'Afrique. Réunion des spécialistes C.S.A sur les crustacées, Zanzibar, 1964. Mémoires de l'institut fondamentale d'Afrique noire. IFAN-DAKAR, 1966, 106-234.
23. Monod T. 1980, Décapodes. *In: Faune et flore aquatiques de l'Afrique sahélo-soudanienne* (Durant J. R. & Lévêque C., 1980), 368 -389.
24. Oberdorff T. & Hughes R.M., 1992, Modification of an index of biotic integrity based on fish assemblages to characterize rivers of the Seine Basin France, *Hydrobiol.* **228**, 117-130.
25. Palmer M.W., 1993, Putting things in even better order: the advantages of Canonical Correspondence Analysis. *Ecology*, **74**, 2215-2230.
26. Powell C.B., 1982, Fresh and brackish water shrimps of economic importance in the Niger Delta. University of Port Harcourt. Present to the second conference of the fisheries society of Nigeria held at Calabar, 24-27 January, 1982, 1-45.
27. Ville J.P., 1970, Recherche sur la reproduction des *Macrobrachium* des lagunes de Côte d'Ivoire. *Ann. univ. Abidjan, ser E, Ecologie*, **3**, 1, 253-267.
28. Ville J.P., 1983, Influence de la salinité sur le déroulement des premiers stades larvaires des *Macrobrachium vollenhovenii* (Herklots 1851). Décapode, Palaemonidae. *Ann. Univ. Abidjan, Ser. E (Ecologie)*, **4**, 325-341
29. Ter Braak C.J.F., 1988, Partial canonical correspondence analysis. *In: Classification and related methods of data analysis* (Bock, H. H., eds), North Holland, Amsterdam, 551-558.
30. Troadec J.P., Garcia S. & Petit P., 1969, La crevette. *In: Les productions animales. Le guide de l'agriculteur en Côte d'Ivoire* (Pape Akassey Raymond), Vol. **4**, 247 p.
31. Yoder C.O & Rankin E.T., 1995, Biological response signatures and the area degradation value: new tools for interpreting multimetric data. *In: Biological assessment and criteria: tools for water resources planning and decision making* (Chapter 17), Davis, W.S et T.P. Simon (eds), Lewis Publisher, Florida, 263-286.

K.G. N'Zi, Ivoirien, Etudiant en thèse unique en Hydrobiologie. Diplôme d'Etude Approfondie (DEA) en Ecologie tropicale option Hydrobiologie. Membre de l'équipe scientifique du Laboratoire d'hydrobiologie de l'Université de Cocody Abidjan exerçant un projet intitulé "Caractérisation, utilisation et conservation de la biodiversité des poissons d'eau douce de Côte d'Ivoire".

B.G. Gooré, Ivoirien, Doctorat, Enseignant, Assistant à l'université de Cocody Abidjan. Responsable administratif du Laboratoire d'Hydrobiologie.

P.K. Essetchi, Ivoirien, Doctorat, Enseignant, Maître assistant à l'université de Cocody Abidjan. Directeur du Laboratoire d'Hydrobiologie de l'Université de Cocody Abidjan.

K. Tidiani, Ivoirien, Doctorat, Enseignant, Maître assistant à l'Université de Cocody Abidjan.

V. N'Douba, Ivoirien, Doctorat, Enseignant, Maître de conférence à l'Université de Cocody Abidjan. Doyen de l'UFR Biosciences, Vice Président de l'université de Cocody Abidjan. Responsable ivoirien du projet.

F. Ollevier, Belge, Enseignant, Professeur titulaire, Promoteur belge du projet intitulé: "Caractérisation, utilisation et conservation de la biodiversité des poissons d'eau douce de Côte d'Ivoire". Responsable du laboratoire d'Ecologie et d'Aquaculture de l'Université Catholique de Leuven (Belgique).

Effet des poudres d'*Eucalyptus citriodora*, de *Cupressus lucitanica* et de *Tagetas minitiflora* dans la conservation du maïs (*Zea mays*) et du haricot (*Phaseolus vulgaris*) dans les conditions de Rethy (République Démocratique du Congo)

A. Kaloma¹, K. Kitambala², N.L Ndjanga³, U. Sinzahera³ & T. Paluku³

Keywords: Powder- Odorous plants- Conservation- Maize- Bean- Democratic Republic of Congo

Résumé

Une étude de l'effet des poudres d'*Eucalyptus citriodora*, de *Cupressus lucitanica* et de *Tagetas minitiflora*, a été réalisée à Rethy (République Démocratique du Congo) afin de déterminer leur efficacité dans la conservation du maïs et du haricot. Au bout de 10 mois, *T. minitiflora* s'est révélée plus efficace avec 0,19% d'infestation pour le haricot et 2,59% pour le maïs, par rapport au témoin qui a présenté 0,9% pour le haricot et 4,45% pour le maïs.

Summary

Effect of *Eucalyptus citriodora*, *Cupressus lucitanica*, and *Tagetas minitiflora* Powders in the Conservation of Maize (*Zea mays*) and Bean (*Phaseolus vulgaris*) in Conditions of Rethy (Democratic Republic of the Congo)

A study on the effect of *Eucalyptus citriodora*, *Cupressus lucitanica* and *Tagetas minitiflora* powders, was made at Rethy (Democratic Republic of the Congo) in order to determine efficacy in the conservation of maize and bean. After 10 months, *T. minitiflora* was more efficacious with 0.19% of infestation for bean, and 2.59% for maize in comparison to the control sample which gave 0.9% for bean and 4.45% for maize.

Introduction

La conservation de produits vivriers, en général, du maïs et du haricot, en particulier, pose de sérieux problèmes dans les milieux tropicaux à cause des insectes ravageurs. Les températures et humidités élevées du climat tropical favorisent la pullulation d'insectes et de micro-organismes qui, pour survivre, dévorent les produits vivriers causant d'énormes dégâts (3, 9).

La recherche évalue à 10% les pertes post-récoltes dans les pays en développement (7). Ces pertes peuvent atteindre 20 à 40% des stocks sous les tropiques (8). L'utilisation de plantes et/ou d'extraits de plantes (racines, feuilles, écorces, fruits) dans la protection des récoltes contre les insectes ravageurs au cours du stockage est une pratique ancienne très répandue en Afrique et en Asie (1, 5, 10, 12, 18, 19, 21, 24). Afin de protéger les denrées stockées, les paysans du Kivu en République Démocratique du Congo (R.D.C.) mélangent les semences avec la cendre de bois ou avec des feuilles à odeur forte de cyprès, eucalyptus, laurier, tabac, etc. (4). L'efficacité différentielle spécifique des huiles essentielles extraites de certaines plantes, a fait l'objet de nombreuses études (11, 13, 15, 18, 23, 25).

Les insecticides de synthèse, rares et chers en milieu rural, ont souvent un effet résiduaire néfaste sur la santé du consommateur, du manipulateur et polluent l'environnement. Une solution locale accessible aux paysans et présentant moins de danger est souhaitable. Ainsi, avons-nous utilisé les poudres d'*Eucalyptus citriodora*, de *Cupressus lucitanica* et de *Tagetas minitiflora*, disponibles dans le milieu de Rethy, afin d'évaluer leur efficacité dans la conservation du maïs et du haricot.

Matériel et méthodes

L'étude a été conduite dans la localité de Rethy (30°9'55" E, 2°9' N, 2000 m Alt.) au nord-est de la RDC. Rethy a un climat de montagne du type Cf selon la classification de

Köppen. Les précipitations moyennes mensuelles sont de l'ordre de 101,6 mm avec des maxima en avril, septembre et octobre. Les périodes les moins arrosées se situent entre décembre et mi-mars. La végétation est une savane à dominance herbeuse (2, 16).

Les trois plantes utilisées pour la conservation du maïs et du haricot sont: *Eucalyptus citriodora*, *Cupressus lucitanica* et *Tagetas minitiflora*. Plusieurs variétés locales de maïs sont cultivées dans la région, parmi celles-ci, notre travail a porté essentiellement sur la variété «Ddambo» en Bbale dha (langue locale) pour les raisons suivantes:

- elle a un goût sucré et est par conséquent bonne à griller;
- elle est précoce (\pm 6 mois);
- elle porte deux ou trois épis par plant;
- les épis sont pleins de grains et bien couverts de spathes.

Le haricot est un aliment important car il constitue une grande source de protéines pour les couches les plus pauvres de la population chez qui les protéines d'origine animale sont rarement disponibles (17).

Parmi les nombreuses variétés locales de haricot commun cultivées à Rethy, nous avons opté pour celle communément appelée « pigeon vert », à graine verdâtre ou « Nyakaranga » en Alur (langue locale) et « Ddibi » en Bbale dha. Notre choix se justifie par son avenir prometteur depuis son introduction dans le milieu notamment par sa précocité (\pm 3 mois), sa couleur, son rendement satisfaisant, sa cuisson facile et son bon goût.

Les feuilles fraîches des plantes choisies ont été récoltées, séchées à l'ombre pour éviter la perte d'odeur et pilées dans le mortier de ménage. Les poudres ainsi obtenues, ont été tamisées afin de les rendre fines. Celles-ci ont été appliquées à une dose correspondant à un dixième du poids du produit à conserver. Une balance de précision a servi

¹Institut National pour l'Etude et la Recherche Agronomiques (INERA) Nioka, B.P. 111, Bunia, République Démocratique du Congo.

²Institut Supérieur Pédagogique d'Oicha (ISP/Oicha), République Démocratique du Congo, C/o PO Box 21285, Nairobi, Kenya.

³Institut Supérieur Pédagogique Technique de la Communauté Evangélique au Centre de l'Afrique (ISPT/CECA-20/RETHY), République Démocratique du Congo, C/o PO Box 21285, Nairobi, Kenya.

Reçu le 26.07.02 et accepté pour publication le 20.10.06.

à cette fin. Les échantillons de 270 g de maïs ou haricot ont été enrobés de 27 g de poudre fine et mis dans des sachets en polyéthylène blanc de 21,5 cm x 15,7 cm fermés hermétiquement.

Les observations bimensuelles réalisées sur une durée de 10 mois (soit du 02 avril 2000 au 02 février 2001) ont porté sur le nombre de grains attaqués et sains, et sur le nombre d'imagos rencontrés. A la fin de l'expérience, la qualité organoleptique et le pouvoir germinatif des grains ont été testés.

Les sachets ont été rangés selon un dispositif en blocs complets randomisés à 4 répétitions.

Résultats et discussion

Le maïs

Selon le tableau 1, T₁ et T₂ ont accusé respectivement 3,47 et 3,69% de grains attaqués au bout de dix mois de conservation tandis que T₃ s'est révélé plus performant avec 2,59% de grains attaqués pour la même durée, réduisant ainsi les pertes de 1,86%.

Le tableau 2 montre que T₁ et T₂ ont présenté chacun 0,5 imagos alors que T₃, toujours plus performant, en a présenté 0,25. La présence d'imagos a occasionné une perte insignifiante du poids de grains de loin inférieure à 1%.

A l'issue de dix mois, la moyenne générale du pouvoir

germinatif de l'essai a été de 94,8% (Tableau 3), ce qui signifierait que la conservation s'est déroulée dans de très bonnes conditions (grains bien séchés, bon emballage, bonnes conditions hygiéniques...). Les lots témoins présentaient un taux de germination de 97,5% contre 92,5 à 95,5% pour les lots traités.

Le haricot

Le taux moyen d'infestation des graines de haricot est passé de 0,13 à 0,46% au bout de dix mois pour l'ensemble de l'essai (Tableau 4). Le taux moyen le plus élevé est enregistré par le témoin (0,90%) tandis que les lots traités présentaient respectivement des taux d'infestation de 0,44; 0,31 et 0,19 pour T₁, T₂ et T₃.

Des insectes morts, des bruches de haricot (*Acanthoscelides obtectus* Say), ont été rencontrés dans le lot témoin au bout de deux mois (Tableau 5). Par contre, pour les lots traités, aucun insecte n'a été trouvé et cela pour toute la durée de conservation.

Au bout de dix mois de conservation, les graines avaient encore un pouvoir germinatif moyen de 97,3% pour tout l'essai (Tableau 6). Les lots témoins ont présenté un pouvoir germinatif de 94% tandis que pour les lots traités le taux de germination variait entre 97 et 100% soit une différence de 3

Tableau 1
Pourcentage cumulé de grains de maïs attaqués

Dates	Traitements				Σ	X̄
	T ₀	T ₁	T ₂	T ₃		
02.06.2000	1,14	1,34	0,81	0,59	3,88	0,97
02.08.2000	1,89	1,55	0,85	0,83	5,12	1,28
02.10.2000	2,23	1,68	0,94	0,92	5,77	1,44
02.12.2000	3,40	2,68	2,04	1,75	9,87	2,47
02.02.2001	4,45	3,47	3,69	2,59	14,20	3,55

T₀ = lots témoins (non traités)

T₁ = lots traités avec la poudre d'*Eucalyptus citriodora*

T₂ = lots traités avec la poudre de *Cupressus lucitanica*

T₃ = lots traités avec la poudre de *Tagetas minitiflora*.

Tableau 2
Moyenne cumulée d'imagos dans les lots de maïs

Dates	Traitements				Σ	X̄
	T ₀	T ₁	T ₂	T ₃		
02.06.2000	0	0	0,25	0	0,25	0,06
02.08.2000	0,25	0,50	0,50	0	1,25	0,31
02.10.2000	0,25	0,50	0,50	0	1,25	0,31
02.12.2000	0,75	0,50	0,50	0	1,75	0,44
02.02.2001	1,25	0,50	0,50	0,25	2,50	0,63

T₀ = lots témoins (non traités)

T₁ = lots traités avec la poudre d'*Eucalyptus citriodora*

T₂ = lots traités avec la poudre de *Cupressus lucitanica*

T₃ = lots traités avec la poudre de *Tagetas minitiflora*.

Tableau 3
Evaluation du pouvoir germinatif de grains de maïs

Traitements	Blocs				Σ	X̄
	1	2	3	4		
T ₀	96	100	98	96	390	97,5
T ₁	88	84	98	100	370	92,5
T ₂	100	100	90	92	382	95,5
T ₃	96	100	94	84	374	93,5
Σ	380	380	380	372	1516	94,8
X						

T₀ = lots témoins (non traités)

T₁ = lots traités avec la poudre d'*Eucalyptus citriodora*

T₂ = lots traités avec la poudre de *Cupressus lucitanica*

T₃ = lots traités avec la poudre de *Tagetas minitiflora*.

Tableau 4
Pourcentage cumulé de graines de haricot attaquées

Dates	Traitements				Σ	\bar{X}
	T ₀	T ₁	T ₂	T ₃		
02.06.2000	0,34	0,06	0,06	0,06	0,52	0,13
02.08.2000	0,40	0,12	0,06	0,06	0,64	0,16
02.10.2000	0,57	0,18	0,06	0,06	0,87	0,22
02.12.2000	0,80	0,34	0,22	0,09	1,45	0,36
02.02.2001	0,90	0,44	0,31	0,19	1,84	0,46

T₀ = lots témoins (non traités)

T₁ = lots traités avec la poudre d'*Eucalyptus citriodora*

T₂ = lots traités avec la poudre de *Cupressus lucitanica*

T₃ = lots traités avec la poudre de *Tagetas minitiflora*.

Tableau 5
Nombre cumulé d'imagos dans les lots de haricot

Dates	Traitements				Σ	\bar{X}
	T ₀	T ₁	T ₂	T ₃		
02.06.2000	4	0	0	0	4	1
02.08.2000	0	0	0	0	0	0
02.10.2000	0	0	0	0	0	0
02.12.2000	0	0	0	0	0	0
02.02.2001	0	0	0	0	0	0

T₀ = lots témoins (non traités)

T₁ = lots traités avec la poudre d'*Eucalyptus citriodora*

T₂ = lots traités avec la poudre de *Cupressus lucitanica*

T₃ = lots traités avec la poudre de *Tagetas minitiflora*.

Tableau 6
Évaluation du pouvoir germinatif de graines

Traitements	Blocs				Σ	\bar{X}
	1	2	3	4		
T ₀	94,0	88,0	94,0	100	376	94
T ₁	96,0	98,0	100	94,0	388	97
T ₂	100	100	100	100	400	100
T ₃	100	94,0	100	98	392	98
Σ	390	380	394	392	1556	-
X						97,3

T₀ = lots témoins (non traités)

T₁ = lots traités avec la poudre d'*Eucalyptus citriodora*

T₂ = lots traités avec la poudre de *Cupressus lucitanica*

T₃ = lots traités avec la poudre de *Tagetas minitiflora*.

à 6% entre les deux catégories.

Le test de dégustation réalisé avec dix personnes a révélé que T₀ et T₃ n'ont pas modifié le goût de graines tandis que T₂ l'a faiblement modifié et que T₁ l'a très faiblement modifié.

Selon une étude effectuée à Kisangani (0°31' N, 25°11' E, 376-426 m Alt.) sur l'effet comparé des poudres de tabac, de citronnelle et d'huile de ricin sur la conservation de la légumineuse *Vigna unguiculata* (niébé), le taux d'infestation par la bruche du haricot *Acanthoscelides obtectus* Say était de 72,5%; 74,5% et 49,5% respectivement pour les lots témoins, ceux traités par 1% des poudres de la citronnelle et de tabac et enfin par 1% de l'huile de ricin pendant une durée de 5 mois (9).

À l'issue d'une étude préliminaire de conservation de *Phaseolus vulgaris* à l'aide des poudres de certains végétaux dans les conditions de Nioka (22), la moyenne de l'essai était de 12,33% d'infestation pour une durée de 12 mois. *Cupressus lucitanica* et *Chenopodium scradereanum* se sont révélés moins efficaces avec respectivement 25,03% et 21,9% d'infestation. L'actellic s'est révélé plus efficace avec 1,54% d'infestation suivi du tabac (2,2%) et de l'eucalyptus (10,54%).

Au Niger, les recherches ont montré que *B. senegalensis* avait un effet insecticide très puissant sur les adultes de *B. atrolineatus* et *C. maculatus* et une activité ovicide sur les œufs de ces bruches (1). Les études menées par Seck *et al.* (19) dans des systèmes hermétiques de stockage ont montré que l'utilisation des fruits de *B. senegalensis* à la dose de 1,2 g/l réduit considérablement les émergences de *C. maculatus* alors que pour une dose de 2,4- 4,8 g/l; l'émergence de la nouvelle génération de cette espèce est complètement inhibée. Au Congo, Delobel et Malonga (5) ont montré que *Chenopodium ambrosioides* L. possède des propriétés insecticides réelles contre la bruche de l'arachide, *Caryedon serratus*. Au Togo, Ketoh (14) a trouvé que *Cymopogon shoenanthus* et *Lavandula* sp. sont très toxiques sur les adultes de *C. maculatus*. L'étude menée par Doumma et Alzouma (6) a montré que *B. senegalensis* est une plante insecticide très efficace dans le contrôle des populations de bruches dans les systèmes de stockage traditionnel de niébé, *Vigna unguiculata* (L) Walp, en zone sahélienne.

Les résultats que nous avons obtenus concernant l'effet des poudres d'*Eucalyptus citriodora*, de *Cupressus lucitanica* et

de *Tagetas minitiflora* sur les grains de maïs et de haricot montre que ces poudres ont été efficaces pour assurer la conservation de ces produits vivriers et en particulier de haricot dont le taux moyen d'infestation était inférieur à 1% contre 4,45% chez le maïs.

En dehors de ces poudres, il faut aussi mentionner les préalables pour une bonne conservation, notamment un bon séchage (12-14% d'humidité), un triage rigoureux, un emballage hermétique (sachet en polyéthylène) et l'observance des règles fondamentales d'hygiène (20), qui ont largement contribué à une bonne conservation des grains même chez les témoins contrairement à ce qui se passe chez les paysans.

Conclusion

Une étude sur les poudres de trois plantes odorantes,

Eucalyptus citriodora, *Cupressus lucitanica* et *Tagetas minitiflora*, nous a permis d'observer leur efficacité dans la conservation du maïs et du haricot dans les conditions de Rethy (RDC).

La poudre de *T. minitiflora* s'est révélée plus efficace avec des pertes en graines moins élevées (inférieures à 5%), un nombre d'imagos plus bas et une perte en poids négligeable. La poudre d'*E. citriodora* se place en deuxième position pour le haricot et en troisième position pour le maïs tandis que celle de *C. lucitanica* se classe à la troisième place pour le haricot et à la deuxième pour le maïs.

Il serait souhaitable d'élargir la gamme de plantes utilisées, de fractionner les poudres en plusieurs doses, de prolonger la durée de conservation et au besoin d'extraire les principes actifs de ces plantes dans la perspective d'améliorer leur utilisation.

Références bibliographiques

- Alzouma I. & Boubacar A., 1987, Effets des feuilles vertes de *Boscia senegalensis* (capparidacée) sur la biologie de *Bruchidius atrolineatus* et *Callosobruchus maculatus* (Coleoptera: bruchidae), ravageurs des graines de niébé. In: Colloque international sur les légumineuses alimentaires en Afrique. 19-22 novembre 1985, Niamey-Niger, pp. 288-295.
- Anonyme, 1998, station climatologique, INERA/Nioka.
- Buyckx E.J.E., 1962, Précis des maladies et insectes nuisibles rencontrés sur les plantes cultivées au Congo, au Rwanda et au Burundi, Bruxelles, p. 601.
- Defour G., 1987, Eléments de recherche sur la protection des réserves vivrières par des végétaux d'Afrique. Cahiers du CERPRU, 4, 57-61.
- Delobel A. & Malonga P., 1987, Insecticidal properties of six plants materials against *Caryedon serratus* (OL) (Coleoptera: bruchidae). J. Stored Prod. Res., Vol. 23, 3, 173-176.
- 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 sahélienne. Tropicultura, 19,4, 199-202.
- Fleurat-Lessard F., 1982, Les insectes et les acariens. In: Multon J.L. (Coordonateur): conservation et stockage grains et graines et produits dérivés. Tome 1, Paris, Lavoisier, pp. 394-436.
- Foua-Bi K., 1992, La post-récolte en Afrique. Préambule. Act. du Sém. Int. Abidjan: 29 janv.-1 fév. 1990, Montmagnis; AUPELF-UREF, pp. 7-8.
- Gakuru S. & Buledi M.K., 1993, Effet comparé des poudres de tabac (*Nicotiana tabacum* L.), de citronnelle (*Cymbopogon citratus* DC Stapf) et de l'huile de ricin (*Ricinus communis* L.) sur conservation des graines de *Vigna unguiculata* (L.) Walp. Tropicultura, 13, 2, 59-61.
- Golob P. & Webley D., 1980, The use of plant and minerals as traditional protecting of stored products. Rep. Prod. Inst. G., 138, Vit. 32 p.
- Haubrue E., Lognay G., Marlier M., Dannier P., Gilson J.C. & Gaspar C., 1989, Etude de la toxicité de cinq huiles essentielles extraites de *Citrus* sp. à l'égard de *Sitophilus zeamays* Motsch (Col., Curculionidae), *Prostephanus truncatus* (Horn) (Col., Bostrychidae) et *Tribolium castaneum* Herbst (Col., Tenebrionidae). Med. Fac. Landbouw. Rijksuniv, 54/3b, 1083-1093.
- Ivbjerg M.F., 1983, Toxicity of neem seed, *Azadirachta indica* to *Sitophilus oryzae* in stored maize. Protection Ecology, 5, 353-357.
- Kambu K., 1990, Apport des plantes médicinales africaines à la thérapie moderne. Kinshasa C.R.P., 138 p.
- Ketoh K.G.K., 1998, Utilisation des huiles essentielles de quelques plantes aromatiques du Togo comme biopesticides dans la gestion des stades de développement de *C. maculatus* (Coleoptera : Bruchidae). Thèse 3^e cycle. Université du Bénin. 136 p.
- Leclerc H., 1975, Microbiologie générale. Doin, Paris VI, 279 p.
- Messen J., 1951, Monographie de l'Ituri. Bruxelles, pp 258-287.
- Naku M., 1996, Notes de cours de phytotechnie. Institut Facultaire des Sciences Agronomiques (I. F.A.) Yangambi, inédit.
- Seck D., Lognay G., Haubrue E., Wathélet J.P., Marlier M., Gaspar C. & Severin M., 1993, Biological activity of the shrub *Boscia senegalensis* (Pers.) Lam. Ex Poir. (Capparaceae) on stored grain insects. Journal of Chemical Ecology, vol. 19,2, 377-389.
- Seck D., Lognay G., Haubrue E., Marlier M. & Gaspar C., 1996, Alternative protection of cowpeas seeds against *Callosobruchus maculatus* (F.) (Coleoptera: Bruchidae) using hermetic storage alone or in combination with *Boscia senegalensis* (Pers.) Lam. Ex Poir. J. Stored Prod. Res., 32, 1, 39-44.
- Singh S.R. & Allen D.J., 1992, Sélection de niébé résistant aux bruches. La recherche à l'IITA, 5, 1-5.
- 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 de 3^e cycle. Université de Ouagadougou. 127 p.
- Tamile A., 2001, Essai préliminaire de conservation de semence de *Phaseolus vulgaris* à l'aide des poudres de certaines plantes dans les conditions de Nioka. INERA/Nioka, inédit, 11 p.
- Ukirho B., 1989, Essais de préservation des graines de haricot contre *Acanthoscelides obtectus* Say à l'aide de produits d'origine végétale. Séminaire sur les maladies et les ravageurs des principales cultures vivrières d'Afrique centrale. Bujumbura: 16-20 fév. 1987. C.T.A., A.G.C.D., Wageningen, Bruxelles, pp. 412-422.
- Visarathanon P., Khumlekasing M. & Sukprakarn C., 1990, Insecticidal control of cowpea weevil, *Callosobruchus maculatus* (F.), a pest of mungbean. In: Bruchids and legumes: economies, ecology and coevolution. Kluwer Academic Publishers, pp. 101-104.
- Weaver D.K., Dunkel F.V., Ntezurubanza L., Jackson L.L. & Stock D.T., 1991, The efficacy of linalool, a major component of freshly milled *Ocimum canum* Sims (Lamiaceae), for protection against postharvest damage by certain stored product coleoptera. J. Stored Prod. Res. 27, 4, 213-220.

A. Kaloma, Congolais (RDC), Ingénieur Agronome, Assistant de Recherche à l'Institut National pour l'Etude et la Recherche Agronomiques (INERA) Centre de Nioka, B.P. 111, Bunia, République Démocratique Du Congo.

K. Kitambala, Congolais (RDC), Licencié Agrégé en Biologie, Chef de travaux à l'Institut Supérieur Pédagogique (ISP/Oicha), République Démocratique du Congo, C/o PO Box 21285, Nairobi, Kenya. E-mail kitambala60@yahoo.fr Tél. +243813027143

N.L. Ndjango, Congolais (RDC), Ingénieur Agronome, Assistant à l'Institut Supérieur Pédagogique Technique de la Communauté Evangélique au Centre de l'Afrique (ISPT/CECA-20/RETHY), République Démocratique du Congo, C/o PO Box 21285, Nairobi, Kenya.

U. Sinzahera, Congolais (RDC), Gradué en Agronomie Générale, Institut Supérieur Pédagogique Technique de la Communauté Evangélique au Centre de l'Afrique (ISPT/CECA-20/RETHY), République Démocratique du Congo, C/o PO Box 21285, Nairobi, Kenya.

T. Paluku, Congolais (RDC), Gradué en Agronomie Générale, Institut Supérieur Pédagogique Technique de la Communauté Evangélique au Centre de l'Afrique (ISPT/CECA-20/RETHY), République Démocratique du Congo, C/o PO Box 21285, Nairobi, Kenya.

Evaluation de l'impact économique du cotonnier sans gossypol en Côte d'Ivoire

H.S. Zagbail¹, F. Berti² & Ph. Lebailly³

Keywords: Cotton - Gossypol - Farmers - Economic impact - Extension - Ivory Coast

Résumé

Ce travail présente les résultats d'une évaluation ex-post de l'impact économique de l'introduction du cotonnier sans glandes en milieu paysan en Côte d'Ivoire. Les recherches sur ce cotonnier ont commencé en 1975 à Bouaké, et se poursuivent jusqu'à ce jour. De 1980 à 1995, la CIDT a vulgarisé les meilleures variétés de ce nouveau type de coton. Elle espérait principalement obtenir une fibre plus compétitive sur le marché mondial ainsi que des graines comestibles pour les animaux (tourteaux) et aussi pour l'homme (huile, farines). Un modèle d'estimation du surplus économique a été appliqué à la production de coton graine. Sur la base des hypothèses retenues, la valeur actualisée nette (VAN) estimée est négative contrairement aux attentes de départ. Ceci tend à mettre en évidence que le programme de recherche et de vulgarisation du cotonnier sans glandes aurait été économiquement non rentable en Côte d'Ivoire. La baisse de la production paysanne s'est traduite par une baisse de la quantité globale de fibre et aussi par une réduction de la quantité d'huile. La perte aurait touché les acteurs de la filière. Les paysans seraient les plus affectés. L'étude apparaît intéressante à trois points de vue. Premièrement, elle montre au planificateur et au bailleur de fonds qu'il est possible d'avoir une idée assez fiable de l'impact économique ex-post des financements publics dans le domaine agricole. Deuxièmement, elle indique que le succès de tels investissements en milieu rural dépend avant tout de ce qu'ils permettent aux paysans d'atteindre leurs objectifs prioritaires. Troisièmement enfin, elle permet à la recherche agronomique d'obtenir un feed-back pour apprécier l'intérêt pratique de ses travaux.

Summary

Assessment of the Economic Impact of Glandless Cotton in Ivory Coast

This study presents the results of an ex-post assessment of the economic impact of glandless cotton introduced in farming system in north Ivory Coast. The researches on this type of cotton plant have been conducted since 1975 until now in Bouaké. From 1980 to 1995, the extension office has released new glandless cotton varieties. They were intended mainly to obtain a more competitive fiber on the world market as well as edible grain for animals (cakes) and for man (oil, flour). A surplus economic estimated model has been applied for this analysis. Upon the basis of the hypothesis retained in this analysis, the net present value estimated is negative. These results put in evidence the economic failure of the glandless cotton research and extension program in Ivory Coast. Furthermore, the lower productivity at farm level induced a decrease of total fiber and oil productions. This study presents three interests. Firstly by showing that it is possible to have a good idea about an ex-post assessment of public investment in agriculture. Secondly by showing clearly that an extension program success depends on its capability to solve farmer's real problems. Thirdly, it gives a good feed-back to agricultural researchers.

1. Introduction

En 2001, l'agriculture reste un secteur clé de l'économie ivoirienne, occupant 60% de la population et représentant 34% du PIB et 2/3 des ressources d'exportation (21).

En raison de l'importance du secteur agricole, le gouvernement soutient la recherche agronomique et la vulgarisation de ses résultats car les investissements peuvent permettre d'accroître à la fois la contribution au PIB de l'agriculture et de créer des emplois.

Le caractère "absence de glandes" a été trouvé chez le cotonnier par un chercheur américain en 1957(8). Dès 1960, ce génotype est introduit au Tchad et c'est dans ce pays que sont créées les premières variétés de coton sans glandes en Afrique (8, 9, 10). Vers 1975, l'Institut de Recherches du Coton et des Textiles exotiques (IRCT), installé à Bouaké au centre du pays, a entrepris des recherches visant à mettre au point une nouvelle variété de coton sans glandes. En 1980, l'Institut des Savanes (IDESSA) remplace l'IRCT et poursuit les mêmes recherches jusqu'en 1998. Depuis 1998, ces recherches sont poursuivies par le Centre National de

Recherche Agronomique (CNRA). L'absence de glandes fait apparaître le coton à la fois comme une culture de rente et une culture vivrière, permettant de développer les industries textile et alimentaire. Le coton sans glandes serait donc une plante providentielle pour le développement économique des zones de savane (8). Il est vulgarisé parce que les résultats de la recherche ont montré que ses rendements en fibres et en huile étaient supérieurs à ceux des variétés déjà vulgarisées. En revanche, ce cotonnier est relativement plus sensible aux attaques d'insectes (comme les altises par exemple) que les variétés traditionnelles. Cela accroît son coût de production.

En 1980, la Compagnie Ivoirienne de Développement des Textiles (CIDT) a vulgarisé officiellement le cotonnier sans glandes (glandless). Les premiers paysans choisis par la CIDT sont parmi les meilleurs selon ses propres critères de réceptivité, d'adaptabilité, de disponibilité de facteurs de production et de propension à prendre des risques. La vulgarisation des variétés de coton glandless est alors

¹Adresse en Belgique : s/c Professeur Ph. Lebailly, FUSAGx, 2 Passage des Déportés, 5030 Gembloux. Adresse fixe : 21 BP 1913 Abidjan 21 Côte d'Ivoire.

²Unité d'Économie et Développement rural de la FUSAGx, 2, Passage des Déportés, 5030 Gembloux, Belgique Tél 081622366; e-mail : berti.f@fsagx.ac.be

³Unité d'Économie et Développement rural de la FUSAGx, 2, Passage des Déportés, 5030 Gembloux, Belgique.

Reçu le 09.02.06 et accepté pour publication le 10.01.07.

étendue en occupant de plus en plus de paysans et de superficies cultivées. En 1980, les superficies de coton sans glandes représentent moins de 1% des superficies totales cotonnières. En 1995, elles représentent près de 50% (3, 4). Or, en 1996, le programme de vulgarisation de ce coton est interrompu, jusqu'à ce jour.

Pourquoi avait-on décidé de suspendre la vulgarisation de ce coton après pratiquement 16 années de vulgarisation à la suite d'une longue période de recherches agronomiques et technologiques? L'objet de la présente étude est d'apporter des éléments de réponse à cette question en essayant d'évaluer l'impact économique du financement public accordé à ce programme de coton glandless sur les recettes de la filière.

2. Matériel et méthodes

2.1. Présentation de la région d'étude

La région d'étude couvre un peu plus de la moitié nord du pays. En 1997/1998, la région cotonnière concernait 3.965 villages encadrés, abritant 153.241 producteurs, pour une superficie de 244.313 hectares de coton contre 118.022 hectares de maïs, 73.753 hectares de riz et 57.854 hectares d'arachide (4).

Le relief est généralement plat (moins de 500 m d'altitude). Les buttes tabulaires sont couronnées de cuirasses ferrugineuses, avec des sommets arrondis. Les sols ferrallitiques désaturés ont des niveaux de fertilité variables. Les fleuves les plus importants sont, d'ouest en est, le Sassandra, le Bandama, la Comoé et la Bagoué. La pluviométrie est monomodale de mai à octobre avec des hauteurs variant de 500 mm (à l'extrême est) à 2.000 mm (à l'extrême ouest). La température moyenne annuelle est de 27 °C avec une insolation annuelle d'environ 2.500 heures. La végétation est constituée de forêts claires à l'ouest, de formations savaniques en plages discontinues au centre et à l'est, et de galeries forestières le long des cours d'eau.

2.2. Origine des données analysées et mise au point conceptuelle

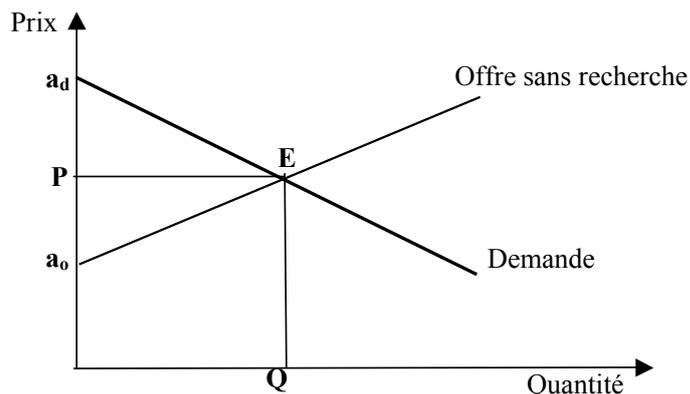
Les données utilisées concernent essentiellement les variétés de coton, la production annuelle de coton-graine, les prix des intrants et du produit.

Nous définissons ici par «le producteur», l'ensemble des paysans producteurs de coton-graine. Il vend toute sa production de coton à la CIDT. Jouissant du monopole d'achat de la production de coton-graine du producteur, la CIDT est définie comme étant «le consommateur». Le surplus économique ou «gain social» est donc la somme de ceux du producteur et du consommateur.

Les données utilisées proviennent de plusieurs sources. Il s'agit des rapports d'activités de la CIDT, des données de la FAO (6) (élasticité de la demande et de l'offre, indice des prix) et d'une étude réalisée en 1999 par Zagbaï (20). La culture du coton est la pierre angulaire de l'économie de la zone de savane. La production de coton en Côte d'Ivoire est le fait d'exploitations familiales dont le nombre est passé de moins de 50.000 en 1970 à environ 160.000 en 2000 (21).

2.3. Présentation du modèle d'analyse

Le modèle du surplus économique a été utilisé par plusieurs auteurs dont Griliches en 1958, pour évaluer l'impact macro-économique des investissements à caractère public (7). De façon théorique, à partir du prix et de la quantité d'équilibre d'un produit agricole donné sur un marché, désignés respectivement par les lettres P et Q (Figure 1), on peut en déterminer le surplus du consommateur, d'une part, et celui du producteur, d'autre part. Le surplus du consommateur tient compte du fait que ce dernier est disposé à payer le produit à un prix supérieur à P. Celui du



L'aire a_0PE représente le surplus du producteur et, PaE , celui du consommateur

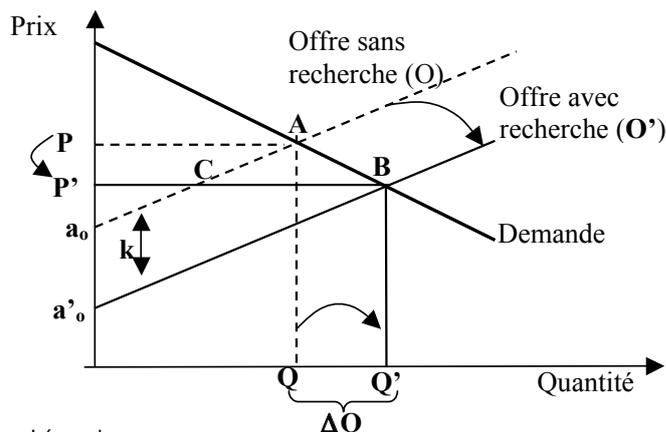
a_0 et a_d : ordonnées à l'origine de la courbe de l'offre et de celle de la demande.

Figure 1 : Illustration du surplus du consommateur et du producteur à l'équilibre du marché d'un produit donné, dans une situation ordinaire sans les résultats de la recherche agronomique.

producteur tient compte du fait qu'il est en mesure de vendre le même produit à un prix inférieur à P. Supposons que P et Q sont ainsi connus dans une situation où la recherche agronomique n'intervient pas : la courbe d'offre (Figure 1) est alors appelée « offre sans recherche ».

Si, maintenant, suite à la recherche agronomique et à la diffusion/adoption de ses résultats, l'offre de ce même produit s'accroît sur le marché, de façon générale, son prix d'équilibre baisse, passant par exemple de P à P' (Figure 2). Cela entraîne, logiquement, une augmentation de la quantité demandée à l'équilibre, qui passe par exemple, de Q à Q'. Le consommateur en acquiert ainsi une plus grande quantité (à moindre coût). Dans la figure 2, la nouvelle courbe d'offre du produit est appelée « offre avec recherche ». Elle est à droite de la courbe d' « offre sans recherche ».

Pour certains chercheurs tels que Akino et Hayami (2), Lindner et Jarret (12), les deux courbes d'offre sont sécantes et partent de l'origine des axes (prix, en ordonnée et, quantité, en abscisse), Par contre, pour d'autres, comme



Légende:

Suite à l'accroissement de son offre du produit sur le marché on a :

P'PAC : perte du producteur

$a'0a_0CB$: gain du producteur

P'PAB' : surplus ou gain du consommateur

$a'0a_0AB$: gain social net recherché

Figure 2 : Illustration de l'évolution des surplus du consommateur et du producteur suite à l'accroissement de l'offre en présence des résultats de la recherche/vulgarisation.

Sanders (17) ou, Sanders et Masters (18), elles sont plutôt parallèles.

Nous avons utilisé cette dernière formulation du modèle qui est d'ailleurs de plus en plus appliquée en Afrique depuis les années 90 pour évaluer l'impact économique de la recherche agronomique. C'est le cas par exemple, du maïs au Zimbabwe par Kupfuma en 1994 (11), du sorgho au Soudan par Ahmed *et al.* en 1994 (1), du coton au Sénégal par Seck *et al.* en 1994 (19), du blé au Kenya par Makanda et Oehmke en 1996 (13) ou du maïs au Burkina Faso en 1996 par Ouedraogo *et al.* (16).

Quelques résultats caractéristiques obtenus par d'autres études précédentes sont résumés dans le tableau 1. Il ressort que les taux de rentabilité interne sont généralement positifs, soulignant de ce fait, que les investissements publics ont été relativement rentables dans le temps. Mais, tous les programmes de recherche ne connaissent pas forcément des succès : c'est le cas par exemple de ceux du Niger et du Cameroun.

Dans la figure 2, on distingue quatre aires représentant respectivement, le gain du consommateur, la perte du producteur, le gain du producteur et le gain social net. Le gain social brut se définit comme étant la somme arithmétique des surplus du consommateur et du producteur. Le gain social net est alors le gain social brut déduit du coût de la recherche et de la vulgarisation.

Le gain social net (GSN) s'exprime par la formule suivante : $GSN = kPQ - \frac{1}{2} k\Delta Q - CR$, avec: Q, la production ou l'offre (à l'équilibre) totale de toutes les variétés de coton; k, la réduction ou l'accroissement du coût de production; ΔQ , l'accroissement de la production, suite à la recherche; P, le prix à la production (ou prix d'équilibre); CR, le coût de la recherche.

2.4. Traitement des données

Nos données d'enquête ont été dépouillées et traitées à l'aide du tableur Excel. Le coût de la recherche agronomique, très difficile à connaître, est considéré comme nul.

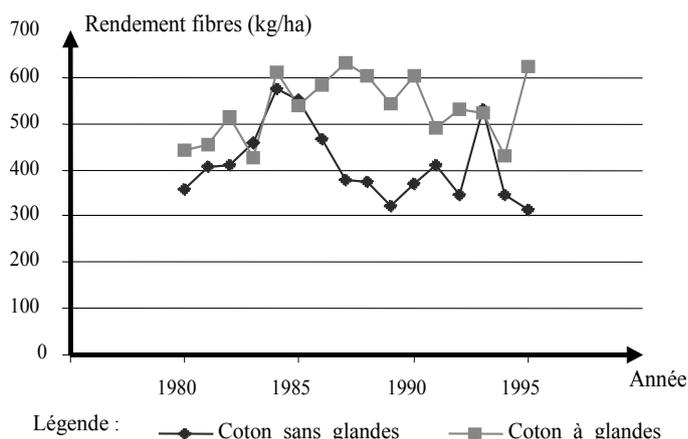
3. Résultats et discussions

3.1. L'impact sur la production de coton-graine

Contrairement à ce que les chercheurs et la CIDT pensaient au départ de la vulgarisation du coton sans gossypol, les rendements obtenus par les paysans dans leurs conditions réelles de production avec les nouvelles variétés, ont été généralement inférieurs à ceux des variétés traditionnelles (Figure 3). Lors des enquêtes sur le terrain, il est apparu que cette tendance est pratiquement la même, tant d'une année à l'autre que d'une zone à l'autre. Par ailleurs, les superficies n'ayant pas augmenté pendant la même période, les productions de coton-graine a chuté d'une année à l'autre.

3.2. L'impact sur le gain social net

L'impact sur le gain social net résulte de la chute de la production. En plus de cela, il s'avère que le coût de production du coton sans glandes a été plus élevé que celui du coton traditionnel. Comme le montrent les résultats des



Légende : —●— Coton sans glandes —■— Coton à glandes
Figure 3. Evolution comparée des rendements en fibres du coton sans glandes et du coton à glandes (kg/ha) pour l'ensemble de la Côte d'Ivoire.

calculs illustrés par la figure 4, il y a eu plutôt une perte au niveau de l'économie nationale et non un gain social.

Dès son introduction en 1980, le coton sans glandes a entraîné une baisse de revenu des paysans qui l'ont cultivé. Parce que non seulement leur production baisse par rapport à ceux qui cultivent la variété traditionnelle, mais aussi et surtout parce que le prix d'achat des deux types de coton est le même. En plus, ces paysans qui ont adopté la nouvelle variété devaient supporter des coûts additionnels qui réduisaient leur chiffre d'affaire ainsi que leur budget global de production pour les autres cultures. Il apparaît finalement, qu'en lieu et place d'un gain social positif attendu par la CIDT et le gouvernement ivoirien, ce sont plutôt des pertes qui auront été enregistrées. Ces pertes se sont alourdies d'année en année, au fur et à mesure que de plus en plus de paysans étaient impliqués et que les superficies globales occupées par la nouvelle variété s'accroissaient par rapport aux variétés traditionnelles. Il s'agit ici de pertes que nous pourrions supposer minimales au niveau national parce que le coût de la recherche agronomique n'a pas été pris en compte dans les calculs. Cependant, alors qu'il y a eu une baisse des recettes cotonnières au niveau de la production de coton-graine, il n'est pas exclu qu'un accroissement de la production de fibres ait pu être observé. Si oui, la perte de la production de coton-graine aurait-elle été compensée ?

3.3. L'impact sur la production de coton-fibres

Après plusieurs années de recherches génétiques, le rendement en fibres du coton sans glandes est compris entre 42% et 47% (3). Supposons par exemple que le rendement moyen en fibres obtenu par les paysans soit d'environ 46% de façon constante pour chaque campagne agricole. La figure 3 donne alors l'évolution comparée des rendements en fibres des deux types de variétés.

Il ressort que malgré la relative surestimation du rendement en fibres du coton sans glandes (46% chaque année de 1980

Tableau 1
Quelques résultats d'études de l'impact de la recherche en Afrique
Source : extrait de Ewell (5), Oehmke (14) et Oehmke et Crawford (15).

Année	Chercheurs	Pays	Produit	Période	Taux de rentabilité (%)
1984	Makau	Kenya	Blé	1924-74	33
1990	Karajan	Kenya	Maïs	1955-88	40 – 60
1992	Mazzucato et Ly	Niger	Niébé, mil et sorgho	1975-91	< 0
1992	Sterns et Bernsten	Cameroun	Niébé	1979-92	3
1992	Howard et al	Zambie	Maïs	1979-91	21
1992	Ewell	Afrique Est	Pomme de terre	1978-91	91

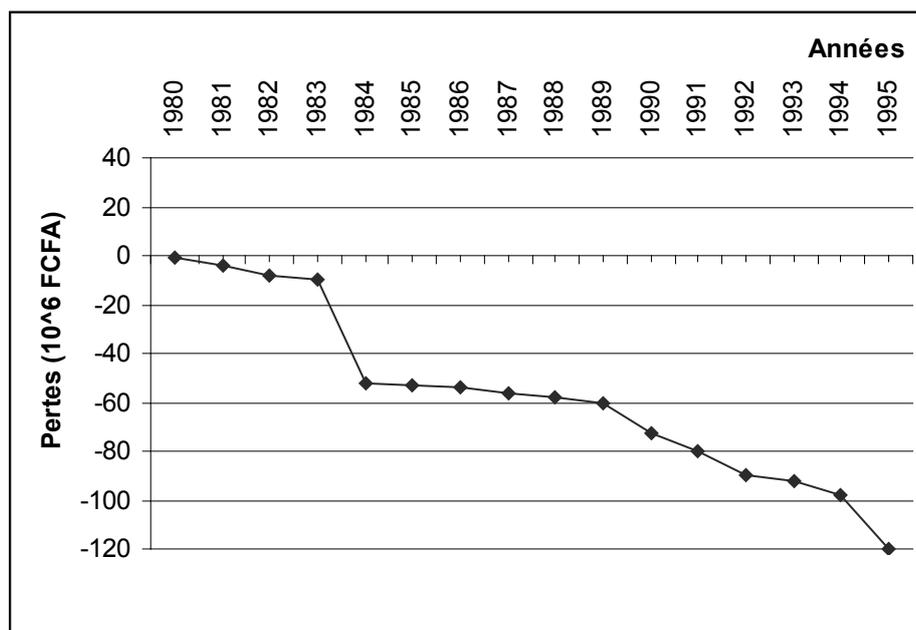


Figure 4: Evolution des recettes à la production de coton-graine (milliards de FCFA).

à 1995), la quantité de fibres produites à l'hectare est restée inférieure à celle du coton à glandes. Cette différence de productivité a dû se traduire par une baisse de la quantité globale de fibres produites, au fur et à mesure que les superficies occupées par le coton sans glandes devenaient relativement plus importantes.

L'effort de vulgarisation du coton sans gossypol de la part de la CIDT aurait donc abouti à la réduction à la fois des rendements moyens, de la production globale de coton-graine et de coton-fibres. Le gain relatif en coton-fibres n'aurait donc pas compensé la baisse de la production.

3.4. L'effort de vulgarisation

La vulgarisation du coton sans glandes en Côte d'Ivoire n'a pas été une tâche facile pour la CIDT, ni une aubaine pour les paysans. Habités aux variétés de cotonnier à glandes

relativement bien adaptées aux conditions du milieu, les paysans devaient accepter de cultiver une nouvelle variété, sans glandes. Nous avons interviewé 137 paysans ayant déjà cultivé cette nouvelle variété. Il ressort que 94% de ces paysans n'ont pas poursuivi l'expérience au-delà de trois ans (56% ont dû arrêter après leur premier essai, 29% après leur 2^{ème} essai et 9% après une troisième tentative). Ces résultats laissent supposer que la CIDT a dû rencontrer des difficultés à faire accepter la nouvelle variété par les paysans.

Par ailleurs, on s'aperçoit que près de huit différentes variétés ont été parfois concomitamment introduites en milieu paysan en seize ans (Tableau 2). Quatre zones de production cotonnières ont été touchées souvent à des périodes différentes. Il s'agit des zones de Korhogo, de 1980 à 1984 puis de 1990 à 1995; de Ferké, de 1984 à 1995 avec une interruption en 1992; de Boundiali et Odienné, de 1992

Tableau 2

Evolution des superficies relatives de coton sans glandes suivant les zones de production (en % de la superficie de coton sans glandes) Source : Adapté de Zagbaï S.H. (23)

Année	Korhogo (%)	Yakro Bouaflé (%)	Ferké (%)	Boundiali (%)	Odienné (%)	Part nationale (%)
1980	100(bc1)	0	0	0	0	0,23
1981	100(bc2)	0	0	0	0	0,20
1982	93(bc2)	7(bc2)	0	0	0	0,99
1983	96(bc2)	5(bc4)	0	0	0	1,23
1984	29(bc2)	0	71(bc2)	0	0	15,93
1985	0	0	100	0	0	0,65
1986	0	0	100	0	0	0,68
1987	0	0	100(bc4)	0	0	0,84
1988	0	0	100(lp5)	0	0	1,45
1989	7	0	93(lp5)	0	0	4,69
1990	52(gl7)	0	48(gl7)	0	0	10,08
1991	51(gl7gl8)	0	49(gl7)	0	0	42,29
1992	53(gl7gl8)	0	0	32(gl7)	15(gl7)	25,05
1993	45(gl7)	0	29(gl7)	19(gl7)	7(gl7)	58,21
1994	44(gl7)	0	28(gl7)	21(gl7)	7(gl7)	55,28
1995	nd	nd	nd	nd	nd	49,25

Sources: rapports d'activités de la CIDT, 1986, 1990 et 1996.

Légende : Les parenthèses indiquent le nom des variétés concernées. La dernière colonne donne la superficie relative des variétés sans glandes au niveau national (c'est aussi le taux d'adoption). Yakro (ou Yamoussoukro), Ferké (ou Ferkessédougou).

à 1995. En 1995, toutes les zones de production cotonnière ont été touchées par la nouvelle variété sans glandes et les pertes se sont alourdies davantage (4). L'arrêt du programme en 1996 traduit bien que les espoirs n'ont pas été atteints.

3.5. Limites de l'étude

Le modèle est appliqué seulement au producteur (les paysans) et la CIDT dans son rôle d'acheteur ou de consommateur privilégié. En effet, la CIDT n'est pas un consommateur final. Elle revend la fibre et la graine de coton. Il n'est pas exclu que la graine lui procure un gain substantiel qui pourrait compenser la perte constatée. Par ailleurs, l'industriel local triture la graine de coton pour en extraire de l'huile et des tourteaux. Ce dernier pourrait réaliser une marge substantielle du fait de la réduction du coût d'extraction de l'huile dans la mesure où le gossypol (substance toxique) qui existe dans la graine de la variété traditionnelle est déjà éliminé dans celle de la nouvelle variété. Le tourteau obtenu de ce coton est peut-être mieux valorisé. Mais les données en notre possession ne permettent pas de vérifier ces hypothèses implicites.

Sur le plan de la théorie économique, nos hypothèses ne semblent pas non plus sans reproches bien que plausibles lorsqu'elles stipulent que les courbes d'offre et de demande sont linéaires avec un déplacement parallèle. D'autres chercheurs comme Akino et Hayami (2) ont utilisé des courbes exponentielles à déplacement pivotant sur l'origine des axes. Sanders et Masters (18) pensent que l'hypothèse d'un déplacement parallèle entraîne un gain social net qui équivaut au double de celui qu'on trouverait avec un déplacement pivotant. Ces remarques laissent dire que le modèle d'analyse

de l'impact économique de l'investissement public est encore perfectible.

4. Conclusion

L'évaluation de l'impact économique de la vulgarisation du cotonnier sans glandes a montré que le gain de rendement moyen recherché au départ ne s'est pas produit. Au contraire, la production nationale a baissé en entraînant une baisse de la production de coton fibres. Cela expliquerait la suspension du programme de promotion de cette variété en Côte d'Ivoire. Le modèle ne permet pas d'apprécier la situation de l'ensemble de la filière coton. Il ne permet donc pas de dire si la commercialisation de la fibre, de l'huile et des tourteaux de coton compense la perte enregistrée au niveau de la production. Dans la mesure où le coton sans glandes était acheté au producteur au même prix que le coton avec glandes, les paysans qui ont pris le risque de l'adopter ont enregistré une baisse de leur revenu.

La recherche agronomique dispose par les résultats de cette étude d'un feed-back qui montre l'ampleur des progrès qui restent à accomplir dans ce domaine. Cependant, malgré les résultats peu satisfaisants, la recherche se poursuit en vue d'éliminer la glande seulement dans la graine, tout en maintenant un haut niveau de rusticité. Il serait intéressant qu'avant de diffuser les résultats de futures recherches en milieu paysan, que ces derniers fassent l'objet d'une évaluation économique ex-ante. Le modèle utilisé dans le cadre de cette évaluation ex-post peut tout aussi bien servir dans un contexte ex-ante en vue de privilégier les programmes de recherche qui ont une rentabilité sociale clairement prévisible.

Références bibliographiques

- Ahmed M.M., William A.S. & Sanders J.H., 1994, Returns from research in economies with policy distortions: hybrid sorghum in Sudan. *Agricultural Economics*. Vol. 12, 2, 187-211
- Akino M. & Hayami Y., 1975, Efficiency and equity in public research: rice breeding in Japan's economic development. *American Journal of Agricultural Economics*. Vol. 57, N° 1, 1-10.
- CIDT, 1970, 1975, 1977, 1980, 1984, 1986, 1990, 1995, 1996, 1997. Rapports d'activités annuelles.
- CIDT, 1977, 1980, 1987, Annexes statistiques des rapports d'activités.
- Ewell P., 1992, The prapace network CIP – NARS Collaboration for Sustainable Agricultural Production in Africa. Paper presented at the Symposium on the Impact of technologies on Agricultural Transformation in Sub-Saharan Africa, Washington, DC., 138-146.
- FAO, 1998, Statistiques agricoles de la FAO.
- Griliches Z., 1958, Research costs and social returns: hybrid corn and related innovations. *Journal of political economy*, 66, 419-431.
- Hau B., 1988, Histoire de la création du cotonnier en Côte d'Ivoire. *Cot. Fib. Trop.* Vol. 43, 3, 177-191.
- IRCT, 1966, Sélection et expérimentation variétales génétiques. C.R. Journées d'études de l'amélioration du cotonnier, Bouaké, Côte d'Ivoire 7-10 décembre, 46-55.
- IRCT, 1978, La variété HAR, L. 299-10. *Cot. Fib. Trop.*, 38, 2, 281-284.
- Kupfuma B., 1994, The payoffs to hybrid maize research in Zimbabwe: an economic and institutional analysis. M.S. Thesis, Department of Agricultural Economics, Michigan State University, East Lansing, 166 p.
- Lindner R.K. & Jarrett F.G., 1978, Supply shifts and the size of research benefits. *Amer. J. Agr. Econ.* Vol. 60, 1, 48-57.
- Makanda D.W. & Oehmke J.F., 1996, The history of and returns to Kenya weath research. Department of Agricultural Economics, Michigan State University. E. Lansing. Working paper, 47 p.
- Oehmke J.F., 1992, Technology, impact and agricultural transformation: lessons learned from impact studies. Paper presented at the Symposium on the impact of technology on agricultural transformation in Africa, October 14-16, 1992, Washington, DC. East Lansing: Department of Agricultural Economics, Michigan State University, PN-ABT-274.
- Oehmke J.F. & Crawford E., 1993, The impact of agricultural technology in Sub-Saharan Africa: a synthesis of symposium finding. MSU International Development Paper N°14. East Lansing: Department of Agricultural Economics, Michigan State University, PN-ABQ-056.
- Ouedraogo S., Illy L. & Lompo F., 1995, Evaluation de l'impact économique de la recherche et de la vulgarisation agricole: cas du maïs dans l'ouest du Burkina Faso. INERA, Ouagadougou. *Journal of African Economics*, 5, 271-292.
- Sanders J.H., 1994, Economic impact of the commodity research networks of SAFGRAD. In: John H. Sanders, Taye Bezunch and Alan C. Schroeder, *Impact Assessment of the SAFGRAD Commodity Networks*, Washington, DC: USAID, 107-114.
- Sanders J. & Masters W.A., 1996, Monitoring, evaluation and policy implication of agricultural research: lesson from purdue's Africa projects. Project Report, Purdue University, West Lafayette, Indiana, 95-112.
- Seck P.A., Sidibé M. & Beye A., 1994, Impact social de la recherche et du transfert de technologies sur le coton au Sénégal. Document de travail, 34 p.
- Zagbaï S.H., 1999, Evaluation de l'impact économique de la recherche agronomique. Cas du coton sans glandes en Côte d'Ivoire. Mémoire de DEA. Fac. Univ. Sci. Agron., Gembloux, Belgique, 57 p.
- Zagbaï S.H., 2005, Evaluation de l'impact du coton sur le développement rural. Cas de la région de Korhogo, au Nord de la Côte d'Ivoire. Thèse de Doctorat. Fac. Univ. Sci. Agron. Gembloux, Belgique, 243 p.

H. S. Zagbaï, ivoirien, Docteur en Economie et Développement rural de la Faculté universitaire des Sciences agronomiques de Gembloux, Belgique. Adresse en Belgique : s/c Professeur Ph. Lebailly, FUSAGx, 2 Passage des Déportés, 5030 Gembloux. Adresse fixe : 21 BP 1913, Abidjan 21, Côte d'Ivoire.

F. Berti, belge, Ingénieur agronome, assistant à l'Unité d'Économie et Développement rural de la FUSAGx, 2, Passage des Déportés, 5030 Gembloux, Belgique. Tél 081622366; e-mail : berti.f@fsagx.ac.be

Ph. Lebailly, belge, Professeur ordinaire, dirige l'Unité d'Économie et Développement rural de la FUSAGx, 2, Passage des Déportés, 5030 Gembloux, Belgique.

Influence de la mortalité des cacaoyers sur la stabilité de la production dans une plantation industrielle

Ph. Bastide¹, D. Paulin¹ & Ph. Lachenaud¹

Keywords: Cocoa tree- Productivity- Stand evolution- Economic sustainability- Papua- Indonesia

Résumé

Une analyse de la production d'une cacaoyère industrielle de 1.674 ha a été réalisée en Indonésie. Cette plantation, établie entre 1981 et 1990 à Ransiki (province de Papua), bénéficie de conditions édapho-climatiques favorables : une bonne répartition des pluies et des sols riches. Le matériel végétal est constitué d'hybrides de diverses origines, d'Amelonados et de sélections locales. Les mesures de densité au sein de la plantation mettent en évidence une diminution graduelle du nombre de cacaoyers, de 1.250 à l'origine à 835 pieds/ha après 21 ans. Parallèlement, la production globale durant la même période est restée stable. La mortalité des cacaoyers, responsable de la baisse progressive de la densité, n'affecte pas la production; elle n'altère pas non plus l'homogénéité de la couverture végétale des parcelles. Ce phénomène traduit un accroissement de la productivité par arbre. Les conditions d'une stabilisation de la production des cacaoyères apparaissent liées non seulement à des facteurs édapho-climatiques favorables et à une pression parasitaire limitée, mais également à la capacité d'adaptation des cacaoyers qui accroissent leur productivité face à la diminution de la densité provoquée par la mortalité naturelle des arbres.

Summary

Effect of Cocoa Tree Mortality on Production Stability in a Private Estate

Yields in a 1,674 ha cocoa estate were analysed in Indonesia. The plantation, which was set up between 1981 and 1990 at Ransiki (Papua province), benefited from suitable soil and climatic conditions: good rainfall distribution and rich soils. The planting material comprised hybrids of various origins, Amelonados and local selections. Density measurements inside the plantation revealed a gradual reduction in the number of cocoa trees, from 1,250 at the outset to 835 trees/ha after 21 years. At the same time, overall yields for the same period remained stable. Cocoa tree mortality, which was responsible for the gradual reduction in density, did not affect production; neither did it alter the uniformity of the plant cover in the plots. This situation reflected an increase in tree productivity. The conditions for stabilized cocoa yields appeared to be linked not only to suitable edapho-climatic conditions and limited parasite pressure, but also to the ability of cocoa trees to increase their yields in conditions of decreasing stand due to the natural thinning of the original plant population.

Introduction

La culture du cacao fut introduite en Papouasie indonésienne en 1953. En 1962, il n'y avait que 1.350 ha plantés par des petits agriculteurs dont 20% dans les zones de Manokwari et Ransiki (12). Initialement, le matériel végétal était constitué de Trinitario de type Java auquel s'ajoutaient des descendances d'Amelonado ouest-africain introduites à partir des Célèbes (Sulawesi). Plus tard, des semences Trinitario provenant de Keravat furent introduites de Papouasie australienne (14). La province de Papua produit actuellement 13.500 tonnes sur environ 20.000 ha répartis dans les zones de Manokwari, Jayapura, Sorong

et Ransiki (1, 2). En 1979, la Commonwealth Development Corporation (CDC) aménagea une concession de 4.064 ha à Ransiki, au nord-ouest de la province (1°28' S, 134°11' E). Cette région bénéficie d'un climat de type équatorial avec une pluviosité dépassant 1.200 mm par an, bénéficiant d'une répartition équilibrée des pluies au cours de l'année, et de vents modérés et réguliers de type alizés. De 1989 à 2001, la pluviosité a été relativement régulière, excepté en 1997 et 1998 avec le phénomène El Niño / La Niña (Figures 1 et 2) matérialisé par une sécheresse importante en 1997 et des pluies abondantes en 1998.

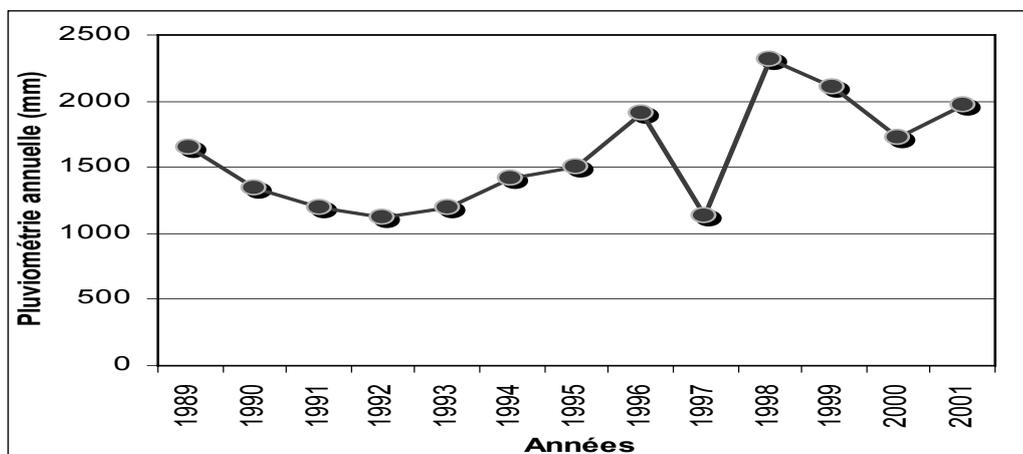


Figure 1: Pluviométrie annuelle (1989-2001). Source: PT Coklat.

¹Cirad - Département des cultures pérennes, TA 80/16, 73 Avenue J.F. Breton, 34398 Montpellier Cedex 5, France. Tél: + 33 (0) 4 67 61 59 03, Fax: + 33 (0) 4 67 61 59 96. E-mail: philippe.bastide@cirad.fr
Reçu le 17.10.05 et accepté pour publication le 11.01.07.

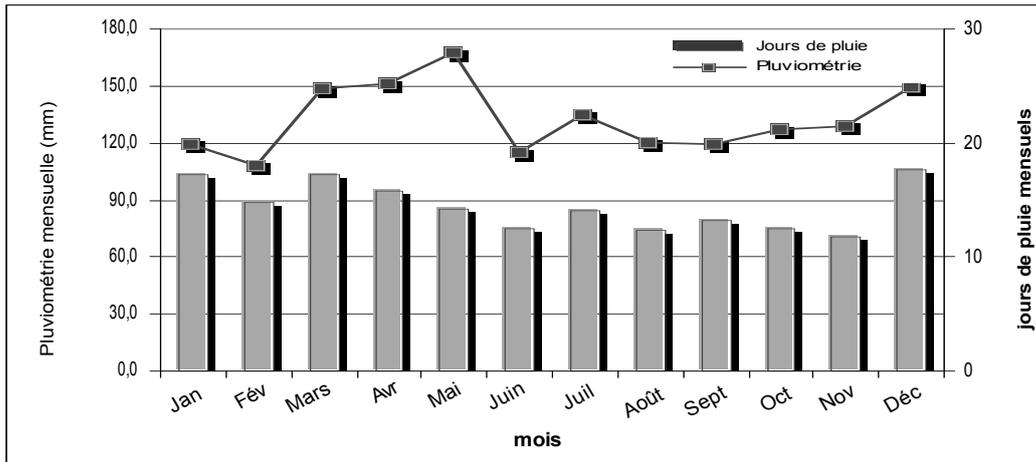


Figure 2: Pluviométrie (■-■) et nombre de jours de pluie (moyennes mensuelles 1989-2001). Source: PT Coklat.

La zone de Ransiki est caractérisée par un sous-sol formé de roches volcaniques métamorphiques (14). Traversé par de nombreux torrents et rivières aux eaux riches en carbonate de calcium, le site est formé de deux plaines orientées nord-sud. Les sols sont de type entisols (15): au sud, des sols bruns jaunes riches en éléments fins et pauvres en argile et au nord, des sols plus variés : bruns, bruns jaune et gris avec la présence d'éléments grossiers (14).

Description du verger

Les arbres actuellement âgés de 10 à 20 ans présentent généralement une bonne conformation de la couronne, signe de bonnes conditions de croissance et de développement. Il faut noter qu'aucune fertilisation n'a été appliquée depuis le début de l'exploitation. Les opérations d'entretien pour l'ensemble de la plantation, tailles et désherbages, sont effectuées mensuellement et les égourmandages sont réalisés tous les 15 jours. La pourriture des cabosses provoque peu de pertes malgré une pluviosité abondante. Cela pourrait être dû, en partie, à la fréquence élevée des récoltes (4, 8). Les dégâts les plus importants sont ceux causés par les mirides *Helopeltis antonii* et *Pseudodoniella laensis* (5, 9), dont les attaques sont aujourd'hui généralisées dans la plantation. L'accumulation de piqûres sur les fruits peut provoquer leur brunissement complet et masquer l'état de maturité du fruit. Dans certaines parcelles, le pourcentage de fruits présentant ce symptôme dépasse 30%. Les piqûres

sur branches n'ont pu être clairement mises en évidence. Bien que la présence du foreur de cabosse *Conopomorpha cramerella* ait été signalée dans cette zone (11, 14, 17), aucun dégât de foreur n'a cependant été observé.

En 2002, lors de l'évaluation agronomique de cette plantation, notre intérêt s'est porté sur le caractère stable de la production sur 21 ans en relation avec l'évolution des densités de cacaoyers. Les données collectées ont permis d'évaluer les effets de l'âge du verger et l'impact des pratiques culturales et des aléas climatiques sur les rendements des parcelles et la productivité des cacaoyers.

Matériels et méthodes

Matériel végétal

Le matériel végétal se répartit en 4 groupes:
 - BAL-HASFARM: hybrides 2 voies faisant intervenir des combinaisons entre parents hauts amazoniens (NA 32, NA 33, PA 7, PA35, SCA 6 et SCA 12) et Trinitarios (UIT 1 et UIT 2) et, plus rarement Amelonados. En général, ces hybrides ont été sélectionnés pour leur résistance au *vascular-streak dieback*, maladie fongique causée par *Oncobasidium theobromae*. Ces hybrides proviennent des plantations de BAL (Malaisie) et de HASFARM (Indonésie);
 - SYNTHETICS: hybrides produits en Indonésie, provenant de pollinisations libres de champs semenciers polyclonaux (PTP Medan) constitués de clones sélectionnés parmi des

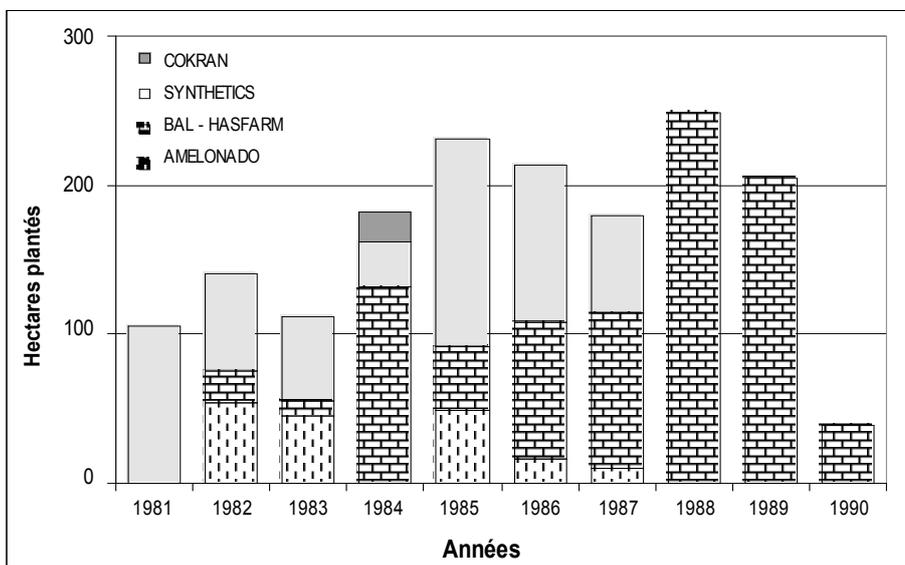


Figure 3: Déroulement chronologique des plantations. Source: PT Coklat.

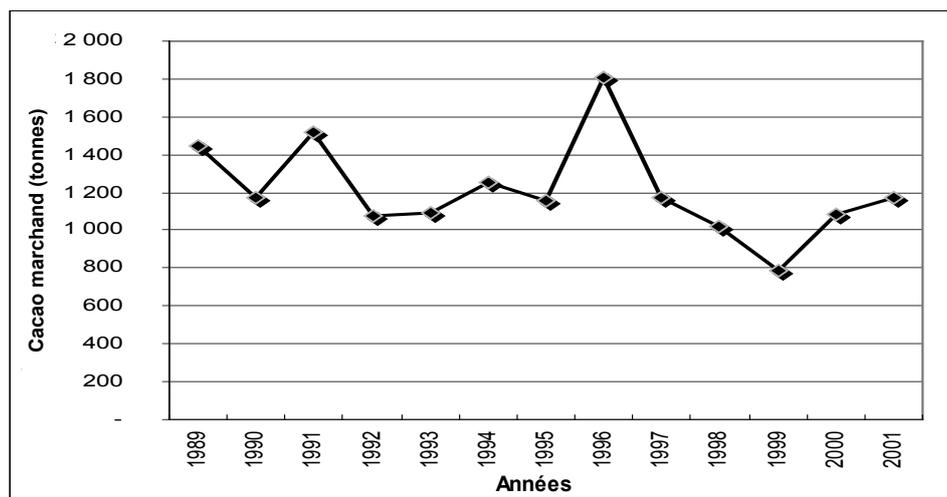


Figure 4: Production annuelle de cacao marchand (1989-2001). Source: PT Coklat.

descendances d'hybrides introduits de Malaisie en 1973. La base génétique est donc proche de celle des hybrides de BAL. Ces hybrides ont été introduits de 1981 à 1986;

- AMELONADO: descendances libres d'Amelonado introduites de Sabah (Malaisie);

- COKRAN: semences seulement utilisées en 1984, issues d'arbres sélectionnés localement dans d'anciennes cacaoyères. Ce matériel est assez hétérogène avec des individus aux caractères Criollo parfois marqués.

Les premières parcelles de cacaoyers furent plantées en 1981 (16). Les plantations se poursuivirent ensuite jusqu'en 1990. La surface totale des plantations a atteint 1.674 ha en 1990. La plantation est constituée de quarante-huit parcelles de production dans lesquelles sont répartis les différents cultivars. Ces mélanges de cultivars sont représentés en figure 3 selon l'année de plantation et le nombre total d'hectares plantés entre 1981 et 1990.

Dispositifs de plantation

Les cacaoyers ont été plantés à la densité de 1.250 pieds à l'hectare suivant un dispositif de 4 m entre les lignes et 2 m sur la ligne. L'ombrage est constitué de *Gliricidia sepium* plantés à une densité de 833 pieds à l'hectare et disposés sur les lignes de cacaoyers tous les 4 m. Les lignes sont orientées généralement selon un axe nord-sud. Les *Gliricidia* étaient destinés à l'origine à servir d'ombrage temporaire; toutefois, après 1994, ces arbres n'ont plus été taillés.

Ils se sont beaucoup développés devenant parfois trop encombrants ou subissant des mortalités importantes. En 1995, des essais de suppression d'ombrage ont été menés dans plusieurs parcelles. Si les effets ont été tout d'abord positifs avec une augmentation de production générale, ils ont été rapidement suivis d'une dégradation des branches sommitales des frondaisons des cacaoyers particulièrement marquée sur les cultivars AMELONADO. A partir de 2000, un programme de renouvellement de l'ombrage a démarré afin de reconstituer une strate homogène recouvrant les frondaisons de cacaoyers. La densité de plantation de ces arbres d'ombrage est de 156 pieds par hectare.

Analyse des rendements et des densités

Pour étudier les effets de l'âge des parcelles et des aléas climatiques sur les rendements, les méthodes de mesures et d'analyses des productions et de la densité par chaque parcelle sont les suivantes:

- les productions et les rendements ont été calculés d'après les données de production réelle depuis 1983, à partir des récoltes mensuelles de fruits par parcelle et après transformation en cacao fermenté et séché appelé aussi cacao marchand (17). L'ensemble de ces résultats a été enregistré sous forme de fichiers Microsoft Excel dans une base de données contenant également tous les éléments décrivant les parcelles (nom, emplacement, surface, date de plantation, présence ou non d'ombrage) ainsi que les

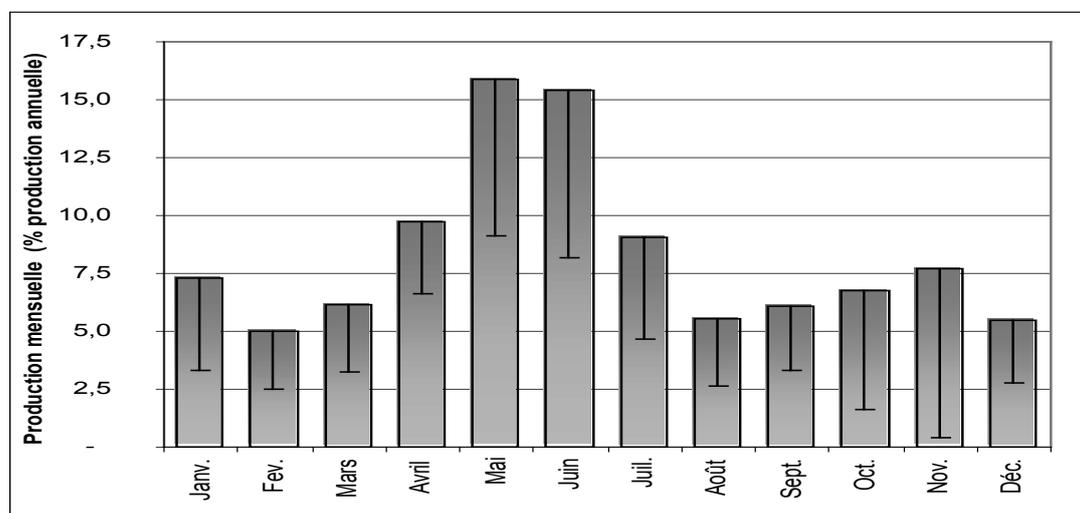


Figure 5: Répartition annuelle de la production (moyenne 1989-2001).

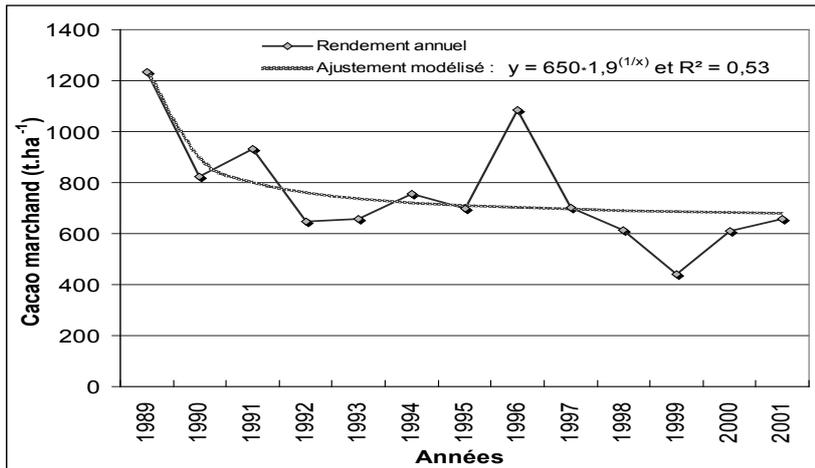


Figure 6: Evolution des rendements moyens des cacaoyers au cours de la période 1989- 2001.

données météorologiques enregistrées (pluviométrie).
 - la densité réelle a été mesurée en 2002 par comptage du nombre d'arbres vivants sur 2 unités élémentaires de 160 m² dans chaque parcelle.
 L'unité expérimentale retenue est la parcelle. Les facteurs étudiés sont l'année, l'origine génétique des hybrides, l'ombrage. Les variables mesurées sont le rendement et la densité de cacaoyers. L'effet de la densité sur le rendement est étudié par la constitution de classes de densités. Les études comparatives de moyennes et les analyses (test t, test F, ANOVA) ont été réalisées grâce aux logiciels Microsoft Excel et Statsoft Statistica édition 98.

Résultats

Analyse des productions et des rendements

Evolution de la production

Les productions de cacao marchand entre 1989 et 2001 sont présentées dans la figure 4. Les productions annuelles sont stables à l'exception de celles des années 1996 et 1999 (Figure 4).

Les productions mensuelles moyennes sont présentées en figure 5. La répartition annuelle des récoltes montre une concentration de 40% de la production entre avril et juin (Figure 5).

Evolution des rendements

L'évolution des rendements est présentée en figure 6. Les

rendements moyens sont élevés durant les premières années (1,14 ± 0,18 t/ha) et diminuent ensuite progressivement jusqu'en 1992; ils tendent à se stabiliser depuis autour de 687 ± 162 kg/ha (1993-2001).

Le tableau 1 présente les rendements moyens variétaux observés en 2000 et 2001. Les cultivars les plus productifs sont les hybrides BAL-HASFARM suivis des variétés SYNTHETICS. Il faut également noter le bon comportement des sélections locales COKRAN. Les moins productifs sont les cultivars AMELONADO. Cependant, les différences observées ne sont pas statistiquement significatives au seuil de 5%, (2000: F= 0,75; 2001: F= 1,52).

Influence de l'ombrage

Le tableau 2 montre l'effet négatif de la suppression de l'ombrage sur les rendements en 2000 et 2001 pour 2 cultivars.

Analyse de la densité

L'évolution de la densité de cacaoyers est présentée en figure 7. Pour l'ensemble des 48 parcelles de production, la mortalité moyenne est de 22% (coefficient de variation inter-parcelle: 14%). Les mesures de densité réelle de cacaoyers mettent en évidence une diminution du nombre d'arbres à l'hectare avec le vieillissement du verger. De 1.250 pieds/ha à l'origine et après une installation excellente au jeune âge, la densité varie de 1.090 pieds/ha pour les parcelles les plus jeunes plantées en 1989, à 835 pieds/ha pour les plus âgées

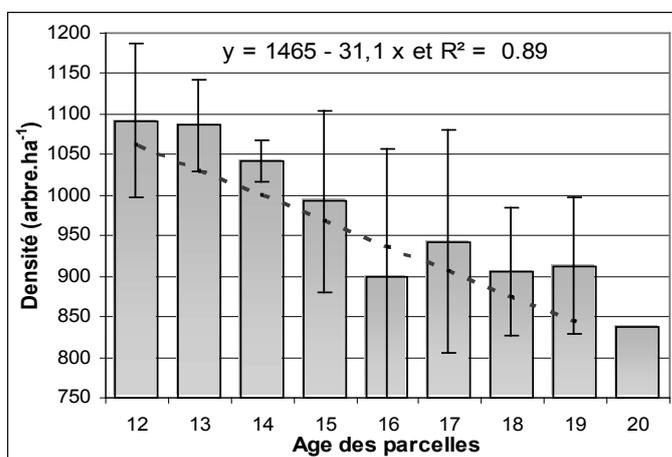


Figure 7: Evolution de la densité des cacaoyers en fonction de l'âge des parcelles.

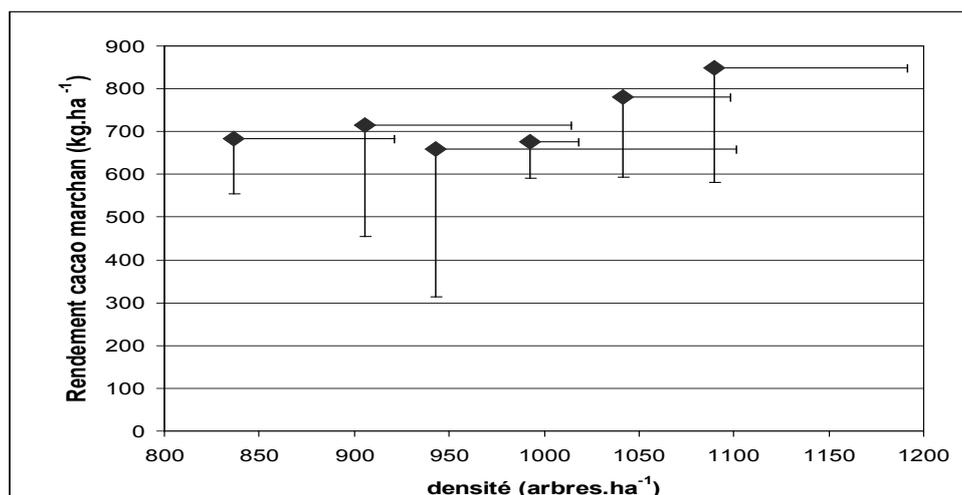


Figure 8: Evolution des rendements (moyenne 2000-2001) en fonction de la densité de cacaoyers.

Tableau 1
Rendement moyen 2000-2001 des différentes variétés

Matériel végétal	Nombre parcelles	Rendement 2000 (kg.ha ⁻¹)		Rendement 2001 (kg.ha ⁻¹)	
AMELONADO	7	544 ± 356		736 ± 279	
SYNTHETICS	21	611 ± 239	F=0,75	721 ± 289	F=1,52
BAL - HASFARM	64	754 ± 350	NS	798 ± 325	NS
COKLAT	1	856		993	

Les résultats sont présentés sous forme de moyennes ± écart type

F : valeur du test de Fisher au seuil de 5 %

Tableau 2
Influence de l'ombrage sur les rendements en 2000 et 2001 de 2 types de matériel végétal

Matériel végétal	Rendement (kg.ha ⁻¹)			
	2000		2001	
	Plein soleil	Ombrage	Plein soleil	Ombrage
Hybrides SYNTHETICS	471	589	300	714
Hybrides HASFARM	506	757	444	1020

Ces résultats montrent clairement l'intérêt d'un ombrage permanent pour maintenir une productivité élevée et stable.

plantées en 1981. Cette diminution est importante (- 33%) mais progressive (Figure 7).

Comme montré en figure 8, lorsque les densités sont comprises en 850 et 1.000 pieds/ha, il n'y a pas d'effet de la densité sur les rendements : ceux-ci sont stables, de l'ordre de 680 kg/ha. Au-delà de 1.000 pieds/ha, les rendements augmentent.

Discussion

Production et durabilité

La phase d'installation des jeunes cacaoyers dans cette grande plantation a été remarquable: dans les quatre premières années suivant la plantation et quel que soit le mélange d'hybride considéré, les rendements ont atteint des valeurs élevées dépassant une tonne de cacao marchand par hectare avant de diminuer progressivement pour atteindre les niveaux actuels de l'ordre de 680 kg/ha. Cette durée correspond également au temps de croissance et de développement des frondaisons des *Gliricidia*, jusqu'à la couverture complète des cacaoyers. Ainsi, ceci pourrait confirmer que l'effet de l'ombrage, dans un premier temps, a donc été de limiter les rendements comme cela a déjà été observé au Ghana (3, 17).

Au cours de la période 1989-2001, deux événements particuliers sont à souligner. En 1996, une augmentation

importante de la production totale est observée: 1.800 t contre environ 1.200 t en 1994 et 1995 (Figure 4). Elle est favorisée par une bonne répartition des pluies, sans saison sèche marquée: 1.906 mm avec un minimum égal à 68 mm et une moyenne mensuelle de 159 ± 77 mm. Le deuxième événement, en 1999, est une forte baisse de production (787 t). Il est lié à un manque d'entretien des parcelles et des récoltes approximatives suite à des mouvements sociaux importants. En 2001, la production remonte pour atteindre 1.177 t et les données des trois premiers mois de 2002 confirment cette tendance à la hausse.

Contrairement à ce qui peut être observé dans les principales zones productrices de cacao pour lesquelles un à deux pics annuels de production alternent généralement avec des phases de repos végétatif (17), la production s'étale tout au long de l'année.

Les rendements obtenus sont moyens à bons (17) sans aucune fertilisation. Aucune carence en oligo-éléments n'a été décelée sur feuilles ou fruits (10, 13, 14). Cette relative stabilisation des rendements est l'expression d'une durabilité de la production. Elle peut s'expliquer par l'instauration d'un équilibre entre la production et le développement végétatif des arbres, bien entretenus. Toutefois, l'évolution des rendements reste sensible aux fortes variations climatiques.

Effet de la mortalité sur la production

L'évolution du peuplement se traduit par une diminution importante et progressive de la densité consécutive à la mort des arbres. Cette diminution est linéaire (Figure 7): elle évolue de 1.250 pieds/ha à l'origine à 835 pieds/ha pour les cacaoyers les plus âgés (21 ans). Elle n'est pas liée à des problèmes sanitaires, pédoclimatiques ou bien encore à une vigueur insuffisante du matériel végétal. Elle est due à la bonne adaptation des cacaoyers aux conditions environnementales et aux phénomènes de compétition inter-arbres déjà décrits dans la littérature (7).

Le rendement des parcelles se stabilise au cours du temps (Figure 6) et avec la diminution des densités (Figure 8). Dans ces conditions, la production n'est donc pas limitée par la mortalité. Cette dernière est compensée par une augmentation progressive et proportionnelle de la productivité des arbres survivants (6, 7). Cette compensation est également visible en terme de développement végétatif puisque les frondaisons des cacaoyers restent fermées (peu de trous de lumière), tout l'espace libéré par les arbres morts et rendu disponible étant conquis. L'homogénéité des parcelles est ainsi maintenue.

Conclusion

La plantation industrielle de Ransiki présente une production durable malgré une mortalité significative des cacaoyers les plus âgés qui atteint 33%. Cette durabilité peut s'expliquer par des conditions pédoclimatiques favorables, par l'utilisation de pratiques culturales adaptées (régulation de l'ombrage, récoltes bi-hebdomadaires) et une homogénéité des parcelles (continuité des frondaisons) peu altérée par la mortalité.

La réduction de la densité de cacaoyers, due à la mortalité naturelle liée au vieillissement du verger, s'accompagne donc de la mise en place d'un phénomène de compensation qui entraîne l'augmentation progressive de la productivité des arbres survivants.

Ce phénomène mis en évidence pour la première fois à grande échelle, sur une plantation industrielle, confirme les résultats obtenus dans des conditions expérimentales en station de recherche (6, 7). Il permet d'envisager de nouvelles stratégies de plantation de cacaoyers basées sur le choix de densités adaptées aux conditions environnementales, aux variétés et à la durabilité du système de production choisie.

Références Bibliographiques

1. Agus P., 1999, Statistik Perkebunan Indonesia (Statistical Estate Crops of Indonesia) 1997-1999, KAKAO (Cocoa). Departemen Kehutanan dan Perkebunan (editors), Direktorat Jenderal Perkebunan, Jakarta, Indonesia, 63 p.
2. Benton C. & Belfied J., 1995, Cocoa. Farming Notes, Department of Agriculture and Livestock (Editors) Port Moresby, Papua New Guinea, 42 p. ISBN: 9980-82-100-0.
3. Cunningham R.K., Smith R.W. & Hurd R.G., 1961, A cocoa shade and manurial experiment at the WACRI, Ghana. Second and third years. Journal of Horticultural Science (London), 36, 151-152.
4. Erwin D.C. & Ribeiro O.K., 1996, Phytophthora diseases worldwide. American Phytopathological Society Press, St. Paul, Minnesota, USA, 562 p.
5. Kalshoven L.G.E. (revised by Van der Laan, P.A.), 1981, The pests of crops in Indonesia. P.T. Ichtar Baru-Van Hoeve (Editors), Jakarta, 1981. 701 p.
6. Lachenaud Ph. & Montagnon C., 2002, Competition effects in cocoa (*Theobroma cacao* L.) hybrid trials. Euphytica, 128, 1, 97-104.
7. Lachenaud Ph. & Oliver G., 1998, Influence d'éclaircies sur les rendements d'hybrides de cacaoyers. Plantations, recherche, développement, 5, 1, 34-40.
8. Leach A.W. & Mumford J.D., 2001, A simulation model of the cocoa pod borer and its management: an extension and policy tool. Pp. 415-423, In: 13th International Cocoa Research Conference, Kota Kinabalu, Malaysia, 9-14 october 2000, Cocoa Producer's Alliance (Editors), Lagos, Nigeria.
9. Lavabre E.M., 1977, Mirides du Sud-Est Asiatique et de la région Pacifique. Les mirides du cacaoyer. I.F.C.C. Paris, G.-P. Maisonneuve et Larose (Editors), Paris, 6, 107-119.
10. Loué A., 1961, Etude des carences et des déficiences minérales sur le cacaoyer. Bulletin de l'Institut Français du Café et du Cacao, 7, 27 p.
11. Lim G.T., 1992, Biology, ecology and control of cocoa pod borer *Conopomorpha cramerella* (Snellen). pp. 85-100, In: Cocoa Pest and Disease Management in Southeast Asia and Australasia (Eds. Keane, P.J. & Putter, C. A. J.), FAO Plant Production and Protection Paper N° 112, FAO, Rome.
12. Ruinard J., 1964, Cocoa Research in West Irian (West New Guinea). Netherlands Journal of Agricultural Science, 12, 2, 89-112.
13. Schroo H., 1959, Acute zinc deficiency observed in cacao on certain soils types in Netherlands New Guinea. Netherlands Journal of Agricultural Science, 7, 309-316.
14. Thomas P. & Varley J.A., 1981, The soils of the new and proposed areas of Ransiki Estate, Irian Jaya, Indonesia. London, Land Resources Development Centre, Overseas Development Administration (editors), Tolworth Tower, Surbiton, Surrey, England, 92 p.
15. USDA Soil Survey Staff, 1999, Soil Taxonomy. A Basic System of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Surveys. USDA Agriculture Handbook, 436, 869 p.
16. Van Paddenburg A., 1988, PT COKLAT RANSIKI MANOKWARI: Handing over notes. Ransiki & Manokwari, Irian Jaya, Indonesia, PT COKLAT Ransiki, 80 p. + annexes.
17. Wood G.A.R. & Lass R.A., 1985, Cocoa. Tropical Agriculture Series, London, Longman Group Limited. 620 p.

Ph. Bastide, Français, Docteur de l'Université des sciences et techniques du Languedoc en biologie et physiologie des organismes et des populations, agro-physiologiste, UMR Qualisud, Cirad.

D. Paulin, Français, DEA en agronomie option amélioration des plantes, sélectionneur cacaoyer, UPR maîtrise des bioagresseurs des cultures pérennes, Cirad.

Ph. Lachenaud, Français, Docteur-Ingénieur, Institut National Agronomique - Paris Grignon en biologie appliquée, amélioration du cacaoyer, UPR maîtrise des bioagresseurs des cultures pérennes, Cirad.

Hatchability of African Catfish *Clarias gariepinus* Eggs in Hapas and in Basins: a Diagnostic Study of Frequent Inhibition by Rainfall and Water Stagnation

S. Yong-Sulem^{1*}, R.E. Brummett² & J. Tchoumboué³

Keywords: On-farm- Turbidity- Stagnation- Anoxia- Hatchability- Cameroon

Summary

To diagnose inhibition of egg hatchability by rainfall and water stagnation, some incubating eggs were protected against the physical impact of raindrops, some were subjected to various turbidity levels and others, to various incubation densities (number of eggs/litre of water) in flowing vs. stagnant water. Data analyses showed that, unaffected by raindrops ($P > 0.05$), hatchability was inversely proportional to both turbidity (coefficient = -0.971) and incubation density (coefficient = -0.973). Only the properly constructed ponds (i.e., with elevated and compacted dykes) which do not receive any runoff should therefore be chosen for to hold incubation hapas, and the pond inlets should be turned off during heavy rainfall. Hatchability depression by stagnant water could be forestalled by limiting incubation density to 480 eggs / litre or by partially renewing the incubation water on a daily basis. By so doing, some Cameroon smallholders have successfully engaged in regular on-farm reproduction of *Clarias gariepinus*.

Résumé

Éclosion des œufs de poisson chat africain *Clarias gariepinus* en hapas et en bassins: étude diagnostique de l'inhibition fréquente par la pluie et la stagnation de l'eau

Pour diagnostiquer l'inhibition fréquente d'éclosion d'œufs de *Clarias gariepinus* par la pluie et par la stagnation de l'eau, le taux d'éclosion d'œufs protégés contre l'impact directe des gouttes de pluie a été comparé à celui d'œufs non protégés. Certains œufs ont été incubés dans l'eau de turbidité variable et d'autres ont été soumis à diverses densités d'incubation (nombre d'œufs / litre d'eau stagnante). L'analyse des données a montré que la protection d'œufs n'a pas d'effet significatif ($P > 0,05$) et que le taux d'éclosion est inversement proportionnel à la turbidité (coefficient = -0,971) ainsi qu'à la densité d'incubation (coefficient = -0,973). Seuls les étangs bien construits (à digues élevées et compactées) et insusceptibles d'entrée d'eau de ruissellement devraient être choisis pour installer les hapas d'incubation, et leur dispositif d'admission d'eau devraient être fermé pendant le ruissellement. La réduction du taux d'éclosion par la stagnation de l'eau pouvait être évitée en limitant la densité d'incubation à 480 œufs / litre d'eau stagnante ou en renouvelant l'eau d'incubation pour éviter l'anoxie. En faisant ainsi, quelques paysans parviennent déjà à reproduire avec succès leurs géniteurs de *Clarias gariepinus* au Cameroun.

Introduction

The technique described by Janssen (7) for artificial reproduction of *Clarias gariepinus* requires an ample flow of good quality water, a reliable supply of electricity and a stable optimal temperature. Because these requirements lie beyond the socio-economic reach of most rural smallholders, they cannot adopt the technique and continue to lack catfish fingerlings for on-growing.

As part of a participatory catfish reproduction research project in Cameroon, farmers were assisted in the development of methods by which they could reproduce *Clarias gariepinus* using only available materials, that is, without needing to buy any tools or to set up any costly systems. Some farmers chose to incubate fertilized eggs in hapas installed directly in earthen ponds while others chose to do so in household basins. It was subsequently observed that in-hapa hatchability was often reduced by heavy rainfall during incubation while in-basin hatchability was equally inhibited at high incubation densities in contained stagnant water.

These authors found no information on the effect of rainfall or turbidity on egg hatchability. On the other hand, Haylor (4) found that incubation of *C. gariepinus* eggs was not only possible, but even faster in stagnant than in flowing water, but did not report any effects of egg density on hatchability. The objective of this work was to investigate

how rainfall and water stagnation affect incubation and thus adapt Hogendoorn and Koops's (6) technique to guarantee reliable and satisfactory hatchability of *C. gariepinus* eggs under on-farm conditions.

Materials and methods

This experiment was jointly conducted with farmers who were interested in producing at least their own *Clarias gariepinus* fingerlings. Farmers learned how to extract pituitary glands, crush between table and tea spoons, suck into syringes and inject gravid females. They also practised the stripping of ovulated females and the process by which to obtain testis and fertilize as well as incubate eggs described by De Graaf and Janssen (3).

To investigate the effect of raindrops and turbidity on hatchability, 21 samples of fertilized eggs were spread directly at the bottoms of identically cut-open plastic water bottles (diameter = 8 cm, depth = 25 cm) containing different volumes (syringe-measured to ± 0.1 ml) of water. All but 3 of the samples were permanently covered with opaque white polythene bags which are locally available and which are efficient reflectors of sunrays and hence serve to moderate temperature (Yong-Sulem *et al.*, unpublished results). This triplicate was incubated in clean water (with no mud introduction, turbidity = 0 %) and served as the experimental

¹ Institute of Agricultural Research for Development (IRAD), P.O. Box 255, Foumban, Cameroon. E-mail: yongsulem@yahoo.com; Tel. (237) 753 60 11.

² WorldFish Centre, IITA-HFC, P.O. Box 2008, Yaounde, Cameroon.

³ Faculté d'Agronomie et des Sciences Agricoles, B.P 222, Dschang, Cameroun.

Received on 23.01.06 and accepted for publication on 22.01.07.

treatment for studying the effect of impacting raindrops, as it was always uncovered during rainfall. Another triplicate which was also incubated in water of 0 % turbidity served as the control, as it differed only by being permanently covered.

Varying quantities of mud were introduced into the remaining 15 samples (and carefully stirred without perturbing the already-adhered eggs) to obtain 5 triplicate treatments with mud concentrations (turbidity) of 2.5, 5.5, 7.5, 10.0 and 17.5%. For measuring the mud, a 10 ml syringe was cut open and a spatula was used for successively stuffing in desired quantities. Table 1 presents the volumes of mud and water which were used to obtain the experimental turbidities. The control triplicate of the raindrop experiment also served the turbidity experiment as a control, as it differed from the latter only by containing no mud (0% turbidity).

As for investigating the effect of water stagnation, 6 triplicate batches of 160, 320, 480, 640, 800 and 960 eggs were each incubated in 1 liter of stagnant water. The control experiment consisted of incubating another triplicate at a density of 960 eggs per litre in flow-through water. Above densities were constituted by determining the mean number of eggs (n) required to weigh 1 g and applying simple proportion to determine the weight (w) of the required number ($N = nw$) of eggs which was then weighed out, wet-fertilised and spread on 1 mm meshes disposed at the surface of 1 liter of stagnant water held in small basins (usually owned and used by farmers for hand washing).

So set up, all systems were left unperturbed for 40 hours under a shade tree at a temperature of $25 \pm 2^\circ \text{C}$ to ensure completion of the hatching process. Thereafter, the contents of each vessel were analysed into hatched and unhatched eggs, which were respectively counted. Counts enabled calculation of hatchability, here defined as

$$100 \left(\frac{\text{Number of hatched eggs}}{\text{Total number of eggs incubated}} \right)$$

The hatching rates obtained at the turbidity of 0% in the containers which were always uncovered during rainfall were compared with those which were permanently covered at the same turbidity, using the student's t test while those obtained at the various levels of turbidity and incubation densities were correlated, regressed and compared with Duncan's new multiple range test (8).

Results

Exposure of eggs to raindrops did not affect their incubation as there was no significant difference between the hatchability of eggs that were exposed to raindrops ($56.4 \pm 7.6\%$) and the hatchability of those which were not ($57.7 \pm 6.8\%$)

In treatments with turbid water, mud particles eventually settled around the eggs, virtually enveloping them and forming layers at the bottom of the bottles. The tendency for particles of more than 1 mm in grain size was to fall to the bottom rather than envelop the eggs. The thickness of each bottom layer was proportional to the turbidity of its water.

The hatching rate obtained at turbidity 0% was significantly ($P < 0.01$) higher than that obtained at 17.5%, but not than those obtained at 2.5, 5, 7.5 and 10%. At turbidity 2.5%, hatching rate was additionally significantly ($P < 0.05$) higher than at 5% but statistically equal to those obtained at all the other levels of turbidity. Those obtained at 7.5 and 10% did not differ ($P > 0.07$) from any other hatchability. In contrast, average hatching rates were inversely proportional (coefficient = -0.971) to water turbidity as shown in table 2.

Table 1
Volumes of water and mud that were mixed to obtain treatments with different turbidity levels

Treatments +	Control	I	II	III	IV	- Control
Water (ml)	100	97.5	95	92.5	90	82.5
Mud (ml)	0	2.5	5	7.5	10	17.5
Turbidity (%)	0	2.5	5	7.5	10	17.5

Table 2
Hatchabilities of *Clarias gariepinus* eggs obtained through incubation in waters of various turbidities (averages with the same superscripts are not significantly different)

Turbidity (%)	Hatched	Unhatched	% Hatchability	Average %
0	70	56	55.6	$(57.7 \pm 6.8)^a$
	59	54	52.2	
	77	41	65.3	
	44	52	45.8	
2.5	75	47	61.5	$(56.4 \pm 9.1)^a$
	42	26	61.8	
5	26	24	52.0	$(38.9 \pm 14.8)^{ab}$
	16	54	22.9	
	18	25	41.9	
7.5	21	27	43.8	$(34.4 \pm 10.1)^b$
	14	45	23.7	
	21	38	35.6	
10	23	41	35.9	$(31.5 \pm 6.9)^b$
	16	52	23.5	
	15	28	34.9	
17.5	6	84	6.7	$(14.0 \pm 7.0)^{bc}$
	10	58	14.7	
17.5	16	62	20.5	

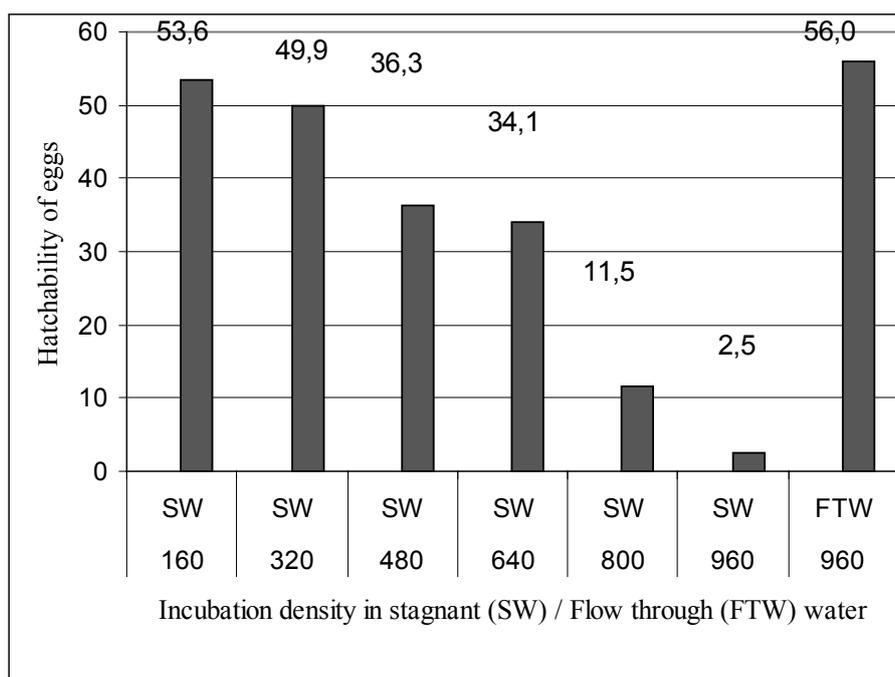


Figure 1: Decrease in hatchability (%) of *C. gariepinus* eggs with increasing incubation density (number of eggs/l of water) in stagnant water (SW) as compared with a high value (56%) obtained in flow-through water (FTW) despite high density.

Based on averages, the turbidity levels could be classified into three groups:

- i) Group (a) comprised 0 and 2.5% with hatching rates of more than 55%.
- ii) Group (b) comprised 5, 7.5 and 10% with rates of 30 to 39% and
- iii) Group (c) comprised 17.5%, which has never yielded a hatchability of more than 15.0%; even during preliminary works.

Concerning the effect of incubation density in stagnant water, hatchability was inversely proportional to incubation density (coefficient= - 0.973) and reduced significantly when up to 480 eggs were incubated per liter (Figure 1). There was no significant hatchability difference ($P > 0.05$) under flow-through conditions, and those of densities 160 and 320. Dissolved oxygen concentration (DO) significantly dropped ($P < 0.05$) under the conditions of densities 800 and 960 with effect from 10 hours post incubation onset compared with the DO of flow through-water. That of densities 480 and 640 equally dropped 21 hours post incubation onset. At this point, average DO stood at 7.1, 6.5, 5.1, 4.5, 2.5 and 2.1 mg/l for respective densities of 160, 320, 480, 640, 800 and 960 eggs / liter of stagnant water. The water additionally turned misty in appearance, particularly under conditions of densities 800 and 960. Corresponding hatchability rates were positively correlated to the DO concentration (coefficient= + 0.991) and negatively correlated to incubation densities (coefficient= -0.973).

Discussion

Results nullified the hypothesis that the physical impact of raindrops on incubating eggs could disturb their hatchability on one hand and confirmed the one that, it is because run offs increase the turbidity of incubation water, that rainfall inhibits the hatchability of *Clarias gariepinus* eggs, on the other hand. They also implicated depletion of dissolved oxygen for inhibition of hatchability at high incubation densities in stagnant water, although other factors (such as nitrite concentration), which could not be measured due to logistic constraints, could have equally contributed.

This agrees with the synchrony between the species' season of natural reproduction and local periods of maximum rainfall (1) and indicates that as eggs can resist raindrop impact under natural conditions, so can they under on-farm conditions. It also justifies the practice of constructing relatively expensive sedimentation tanks through which hatchery water should pass prior to being used for incubation and suggests that the possibility to incubate in stagnant water (5) may not go beyond 480 eggs / liter.

Only the hatchability rates obtained at 0 and 2.5% turbidity were significantly higher than that of the negative control and while hatchability at 5% was significantly lower than that at 2.5%, it was statistically equal to that at 0%. These authors cannot attribute this to 2.5% turbidity being better for incubation than 0% - it would appear that such anomalies ensue from intra-treatment variability arising from other factors. It was however clear from correlation of average hatching rates and turbidity levels that the turbidity of incubation water jeopardises egg hatchability in *C. gariepinus*. Flatness of incubation vessels and coarseness of particles could attenuate this defect through respectively lessening the thickness of bottom layers and peri-ovular envelopes.

Reduction in fluxes across the chorions due to mud envelopes and in freedom of tail movements by mud layers could account for observed hatchability declines. This agrees with Woynarovich and Hovarth, cited by Janssen (7), who identified water absorption across the chorion as pre-required for the swelling of eggs that triggers mitotic divisions and formation of tissues. In turn, swelling of eggs causes cleavage of chorions and emergence of tails, thanks to the beatings of which abdomens and heads can also be withdrawn from the chorions (personal observation). Vigorous tail beatings were also identified as equally instrumental for the hatching of the neotropical freshwater siluriforme *Platystoma coruscans* by Cardoso *et al.* (2). It is likely that high turbidity not only disturbs water absorption but also restrains the tail beatings and hence inhibits the hatchability of affected eggs.

That the hatchability of eggs in stagnant water did not drop when incubation densities were lower than 480 eggs/l

of stagnant water implies that, like fry (4) and fingerlings (6), the eggs of *C. gariepinus*, can tolerate high densities under incubation conditions and even in stagnant water. An optimum density for maximisation of outputs should lie above 320 eggs/liter whereat hatchability was similar to that of flow-through water and below 480 eggs/liter. Although some eggs incubated at the maximum densities of 800 and 960 / liter could develop right to hatching, resulting larvae were unviable.

Conclusion

The aim of this experiment was to diagnose the roles of rainfall and water stagnation in observed inhibition of hatchability under on-farm conditions. Results implicated the turbidity of incubation water as caused by runoffs into hapas and depletion of dissolved oxygen during high-density incubation in stagnant water. These authors therefore recommend disruption of water entry into incubation ponds during rainfall, limitation of incubation density to less than 480 eggs/liter of stagnant water and transfer of incubating eggs (along with the meshes to which they are attached) into

spare basins of fresh water, kept aside for that purpose. To this end, incubation ponds should be so constructed (elevation and compaction of dykes) that water can only enter and leave through the inlet and outlet devices which operators can turn on and off at will. The spare water should be fetched beforehand and kept beside the incubating water so as to minimize sharp temperature/pH differences upon transfer. The application of these measures has consistently conferred satisfactory hatchability of *Clarias gariepinus* eggs in Cameroon. Extending the adapted technique should empower tropical smallholders with a tool for producing their own fingerlings and consequently boost regional farming of catfishes.

Acknowledgement

This work was funded by the British Department for International Development (DFID) through the project: Development of Integrated Aquaculture-Agriculture Systems for Small-scale Farmers in the Forest Margins of Cameroon. Important technical assistance was received from Foin Lambert and Awontu Gilda Giasse.

Literature

1. Bruton M.N., 1979, The breeding biology and early development of *C. gariepinus* (Pisces: Clariidae) in Lake Sibaya, S. Africa, with a review of breeding in species of the subgenus *Clarias* (*Clarias*). Trans. Zool. Soc. Lond. 35, 1-45.
2. Cardoso E.L., Alves M.S.D., Ferreire R.M.A. & Godinho H.P., 1995, Embryogenesis of the neotropical freshwater siluriforme *Pseudoplatystoma coruscans*, Aquat. Living Resour. 1995, 8, N° 4, 343-346.
3. De Graaf G. & Janssen H., 1996, Artificial reproduction and pond rearing of the African catfish *Clarias gariepinus* in sub Saharran Africa. Fisheries Technical Paper 362. Food and Agricultural Organisation of the United Nations, Rome, Italy.
4. Haylor G.S., 1992, Controlled hatchery production of *Clarias gariepinus* (Burchell): growth and survival of larvae at high stocking density. Aquaculture and fisheries management, 23, 303-314.
5. Hogendoorn H., 1979, Controlled propagation of the African catfish, *Clarias lazera* (C. & V.) 1. Reproductive biology and field experiments. Aquaculture, 17, 323-333.
6. Hogendoorn H. & Koops W.J., 1983, Growth and production of the African catfish, *Clarias lazera* (C&V). I: Effect of stocking densities, pond size and mixed culture with tilapia (*Sarotherodon niloticus* L.) under extensive field conditions. Aquaculture, 4, 227-248.
7. Janssen J., 1985, Elevage du poisson chat africain *Clarias lazera* (C&V) en République centrafricaine: I. Propagation artificielle Document Technique 20, GCD/CAF/007/NET. Food and Agricultural Organisation of the United Nations.
8. Zar J.H., 1974, Biostatistical analysis. Prentice-Hall, Engl-wood Cliffs, NJ, US.

S. Yong-Sulem, Cameroonian, M.Sc. in Marine Ecology, Research Officer of the Institute of Agricultural Research for Development, Specialized Station with Regional and International Vocation, B.P. 255, Foumban, Cameroon.

R.E. Brummett, American, Ph.D in Fisheries and Aquaculture, Senior Scientist and Officer in Charge of the WorldFish Center for West and Central Africa. Responsible for inter-center research.

J. Tchoumboué, Cameroonian, Ph.D Veterinary Medecines, Professor and Head of the Department of Animal Sciences, Faculty of Agronomy and Agric. Sciences, University of Dschang, B.P. 222, Dschang, Cameroon.

Étude comparative des coagulations du lait par actions de l'extrait des écorces de l'*Ongokea gore* et des enzymes coagulants bien connus

D.G. Libouga*

Keywords: Clotting- Enzyme- Formagraph- Milk- *Ongokea gore*- Cameroun

Résumé

L'évolution de la fermeté du caillé obtenu par l'utilisation d'extrait des écorces de l'*Ongokea gore* a été comparée à celles obtenues par l'action des enzymes coagulants bien connus: *Endothia parasitica*, pepsine bovine, pepsine porcine, présure et *Mucor pusillus*. Le lait reconstitué (substrat de Berridge) a été utilisé pour la coagulation qui a été suivie à l'aide du formagraph. Les amplitudes des formagrammes ont été déterminées en fonction du temps. Pour des temps de coagulation comparables, le caillé obtenu avec l'extrait de l'*Ongokea gore* se raffermait plus vite que celui obtenu avec de la pepsine porcine mais aussi moins vite que ceux obtenus avec *Endothia parasitica*, *Mucor pusillus*, la pepsine bovine et la présure. L'évolution de la fermeté du coagulum en fonction du pH d'une part et des quantités de poudre de lait dissoutes d'autre part montre des similitudes entre les caillés obtenus sous les actions de la présure et les extraits des écorces de l'*Ongokea gore*: effets peu marqués du pH du lait sur la vitesse de raffermissement du caillé et augmentation de cette vitesse avec l'augmentation de la quantité de poudre de lait dissoute.

Summary

Milk Clotting Using *Ongokea gore* Bark Extract Compared to those Obtained to Well Known Milk Clotting Extracts

The evolution of firmness in curd obtained using plant extract (*Ongokea gore* barks) and that using renounce coagulating enzymes (bovine pepsin, *Endothia parasitica*, porcine pepsin, *Mucor pusillus*, rennet) were compared. The study was carried out using reconstituted milk (Berridge substrate) and a formagraph was used for the analysis of curd firmness. Variations in amplitude of the formagrammes were measured with time. It was noticed that at the same coagulation time, the curd firming rate of *Ongokea gore* extracts was higher than that of porcine pepsin but lower than those of *Endothia parasitica*, *Mucor pusillus*, bovine pepsin and rennet. The evolution of curd firmness with pH on one hand and the quantity of dissolved powder milk on the other hand showed some similarities in rennet and *Ongokea gore* extract curds: the effect of the pH of the milk substrate is less remarkable on the rate of curd firmness while this rate increases with the quantity of dissolved powder milk.

Introduction

L'obtention de la chymosine à partir des micro-organismes est en train de résoudre le problème de l'approvisionnement des fromageries en présure mais, dans les pays où cet approvisionnement demeure aléatoire, la recherche des autres sources d'extrait coagulant demeure d'actualité. Les extraits coagulants sont obtenus non seulement à partir des moisissures mais aussi à partir d'une grande variété des plantes: *Albizia julibrissin* (18), *Calotropis procera* (3), *Cynara* (7, 15, 25, 27), *Ficus* (20), *Onopordum turcicum* (27), *Solanum dubium* (30) et *Wrightiana calysina* (18). Ces extraits présentent d'autant plus d'intérêt qu'ils donnent avec le lait un caillé dont le comportement rappelle celui de la présure (8, 16). L'objet de ce travail est de comparer le caillé obtenu avec les extraits des écorces de l'*Ongokea gore* avec ceux des enzymes coagulants bien connus: la présure, les pepsines bovine et porcine, *Endothia parasitica* et *Mucor pusillus*. L'*Ongokea gore* est un arbre de la forêt tropicale humide rencontrée au Cameroun, au Ghana et à l'ex-Zaïre. Son bois est jaunâtre, dur et homogène; son écorce, qui renferme 16% de tanin, est utilisée comme purgatif ou pour faciliter les accouchements (28). Les caractéristiques physico-chimiques de l'extrait des écorces de l'*Ongokea gore* (pH, densité, teneur en matières sèches organiques et azotées) sont décrites (13). Cet extrait coagule le lait avec une force de 1/50; son action protéolytique est largement supérieure à celle de la présure (11, 13). Il est constitué d'au moins quatre protéines de masse moléculaire comprise entre 14 et 95 kDa (12). Sa température optimum de protéolyse de la caséine est de 54 °C alors que sa température de dénaturation est de 87,4 °C (11, 12). Cet extrait n'est pas

toxique; son importante activité protéolytique, comme c'est le cas de plusieurs extraits coagulants d'origine végétale, pourrait conduire à l'hydrolyse de la caséine β avec apparition des peptides amers ainsi qu'à un faible rendement fromager (6, 11, 13, 14). Les fromages fabriqués avec cet extrait sont appréciés par un jury des dégustateurs camerounais (14).

Matériel et méthodes

La poudre de lait (low heat lot N° 4) provient de la station de l'Institut Nationale de la Recherche Agronomique (Poligny, France). Le substrat standard est obtenu en dissolvant 12 g de poudre dans 100 ml de $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 0,01 M. Des échantillons de lait reconstitué sont obtenus par dissolution de 6 à 40 g de poudre de lait dans 100 ml de $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (0 à 100 mM) et à différents pH (5 à 7) du substrat standard obtenu par addition de HCl (0,1 M) ou NaOH dilué (0,1 M). La reconstitution du lait a été faite à la température ambiante (≈ 20 °C), les équilibres ont été atteints sur ces échantillons de lait après 2 h environ. La présure (force 1/10.000; 99,5% d'activité due à la chymosine), les pepsines bovine et porcine, les enzymes de *Endothia parasitica*, de *Mucor pusillus* proviennent des Etablissements Boll (Arpajon, France). Les écorces fraîches de l'*Ongokea gore* ont été récoltées dans l'agglomération de Makak, (3°33' latitude nord et 11°02' longitude ouest) (10). L'extrait coagulant de l'*Ongokea gore* a été obtenu en macérant 75 g de poudre des écorces fraîches de l'*Ongokea gore* dans 100 ml de $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ à 3% (p/v), H_3BO_3 à 2% (v/v) (2) (4 °C, 12 h) et suivi d'une filtration sur papier

*Laboratoire de Biophysique et Biochimie Alimentaires, Ecole Nationale Supérieure des Sciences Agro Alimentaires, Université de N'Gaoundéré, B.P. 455, Cameroun, Afrique Centrale. Tél. / Fax +237.225.27.51 e-mail: libouga@yahoo.fr
Reçu le 01.02.06 et accepté pour publication le 23.01.07.

Whatman. Après centrifugation (10.000 g, 4 °C, 15 mn), le surnageant a été concentré par ultrafiltration dans une cellule Amicon (Amicon, Épernon, France) à l'aide d'une membrane cellulosique ayant un seuil de coupure de 10 kDa. L'ultrafiltration a été arrêtée après un temps de floculation obtenu avec le concentrat de 20 mn environ. Il a été vérifié que l'activité coagulante de l'ultrafiltrat était négligeable par rapport à celle du concentrat. Le temps de floculation est déterminé en mélangeant 0,5 ml de l'extrait coagulant avec 10 ml de lait reconstitué dans un tube à essai plongé dans un bain marie (30 °C). Le tube à essai est soumis à une lente rotation jusqu'à ce qu'il se forme un mince film à l'intérieur des parois du tube à essai (4). Le temps de floculation est celui qui s'écoule entre le moment de l'introduction de l'extrait coagulant et celui où un mince film se forme à l'intérieur des parois du tube à essai. La coagulation du lait est aussi suivie à l'aide d'un formagraph (Foss Electric, Paris, France). Cet appareil est formé d'un pendule plongeant dans un godet contenant du lait emprésuré et qui est entraîné au fur et à mesure de la coagulation par le mouvement latéral du godet. L'enregistrement de la déviation du pendule se fait sur un papier photosensible se déroulant à une vitesse de 2 mm/mn. Les godets sont remplis de 10 ml de lait et de 0,2 ml d'extrait coagulant (11). Après coagulation, le tracé sur papier enregistreur a la forme d'un diapason. La lettre «r» indique le temps de coagulation qui s'écoule entre l'emprésurage et le moment où l'écartement des deux branches du formagramme atteint 1 mm. On a mesuré les écartements des deux branches des formagrammes (amplitude) en fonction du temps en prenant comme temps initial la fin du temps de coagulation «r». Toutes les expériences ont été répétées 5 fois. L'analyse statistique a été faite avec le logiciel SAS (SAS Institute Inc., Cary USA) (24). Trois modèles mathématiques ont été utilisés.

A/ Modèle mathématique pour l'influence de la nature des extraits coagulants.

Un modèle linéaire a été utilisé pour tester l'influence de la nature des extraits coagulants sur le temps de déroulement du papier photosensible du formagraph sur la mesure de l'amplitude. Le modèle utilisé était le suivant:

$$Y_{ij} = \mu + N_i + C_j + (N^*C)_{ij} + e_{ij}$$

Où,

Y_{ij} est l'effet de la $i^{\text{ème}}$ nature des extraits coagulants, du $j^{\text{ème}}$ temps de déroulement du papier photosensible du formagraph sur la mesure de l'amplitude;

μ est la moyenne générale.

Les paramètres ci-dessous sont les effets sur la mesure de l'amplitude pour:

N_i l'effet de la $i^{\text{ème}}$ nature des extraits coagulants ($i = EP; MP; OG; PB; PP; PR$);

C_j l'effet du $j^{\text{ème}}$ temps de déroulement du papier photosensible ($j = 0, 5, 15, 30, 50$ et 70 min);

$(N^*C)_{ij}$ l'effet de l'interaction entre la $i^{\text{ème}}$ nature des extraits coagulants et le $j^{\text{ème}}$ temps de déroulement du papier photosensible;

e_{ij} l'effet de l'erreur sur la mesure de l'amplitude de la $i^{\text{ème}}$ nature des extraits coagulants ($i = EP; MP; OG; PB; PP; PR$), du $j^{\text{ème}}$ temps de déroulement du papier photosensible ($j = 0, 5, 15, 30, 50$ et 70 min), de l'interaction entre la $i^{\text{ème}}$ nature des extraits coagulants et le $j^{\text{ème}}$ temps de déroulement du papier photosensible. Avec EP *Endothia parasitica*, OG *Ongokea gore*, PB pepsine bovine, MP *Mucor pusillus*, PP pepsine porcine, PR présure.

B/ Modèle mathématique pour l'influence du pH du lait.

Un modèle linéaire a été utilisée pour tester l'influence du pH du lait; du temps de déroulement du papier photosensible du formagraph sur la mesure de l'amplitude. Le modèle utilisé était le suivant:

$$Y_{ij} = \mu + N_i + C_j + (N^*C)_{ij} + e_{ij}$$

Où,

Y_{ij} est l'effet du $i^{\text{ème}}$ pH du lait, du $j^{\text{ème}}$ temps de déroulement du papier photosensible du formagraph sur la mesure de l'amplitude;

μ est la moyenne générale.

Les paramètres ci-dessous sont les effets sur la mesure de l'amplitude pour:

N_i l'effet de la $i^{\text{ème}}$ pH du lait ($i = 5,2; 5,7; 6,1; 6,2; 6,5$);

C_j l'effet du $j^{\text{ème}}$ temps de déroulement du papier photosensible ($j = 0, 5, 10, 30$ et 60 min);

$(N^*C)_{ij}$ l'effet de l'interaction entre le $i^{\text{ème}}$ pH du lait et le $j^{\text{ème}}$ temps de déroulement du papier photosensible;

e_{ij} l'effet de l'erreur sur la mesure de l'amplitude, de le $i^{\text{ème}}$ pH du lait ($i = 5,2; 5,7; 6,1; 6,2; 6,5$), du $j^{\text{ème}}$ temps de déroulement du papier photosensible ($j = 0, 5, 10, 30$ et 60 min), de l'interaction entre le $i^{\text{ème}}$ pH du lait et le $j^{\text{ème}}$ temps de déroulement du papier photosensible.

C/ Modèle mathématique pour l'influence de la masse de poudre du lait.

Un modèle linéaire a été utilisé pour tester l'impact de la masse de poudre du lait dissoute dans 100 ml de $CaCl_2$, 0,01 M; du temps de déroulement du papier photosensible du formagraph sur la mesure de l'amplitude. Le modèle utilisé était le suivant:

$$Y_{ij} = \mu + N_i + C_j + (N^*C)_{ij} + e_{ij}$$

Où,

Y_{ij} est l'effet de la $i^{\text{ème}}$ masse de poudre du lait dissoute dans 100 ml de $CaCl_2$, 0,01 M, du $j^{\text{ème}}$ temps de déroulement du papier photosensible du formagraph sur la mesure de l'amplitude;

μ est la moyenne générale.

Les paramètres ci-dessous sont les effets sur la mesure de l'amplitude pour:

N_i l'effet de la $i^{\text{ème}}$ masse de poudre du lait dissoute ($i = 6, 12, 24, 36, 40$ g);

C_j l'effet du $j^{\text{ème}}$ temps de déroulement du papier photosensible ($j = 0, 5, 10, 20, 45$ et 75 min);

$(N^*C)_{ij}$ l'effet de l'interaction entre la $i^{\text{ème}}$ masse de poudre du lait dissoute et le $j^{\text{ème}}$ temps de déroulement du papier photosensible;

e_{ij} l'effet de l'erreur sur la mesure de l'amplitude, de la $i^{\text{ème}}$ masse de poudre du lait dissoute ($i = 6, 12, 24, 36, 40$ g), du $j^{\text{ème}}$ temps de déroulement du papier photosensible ($j = 0, 5, 10, 20, 45$ et 75 min) de l'interaction entre la $i^{\text{ème}}$ masse de poudre du lait dissoute et le $j^{\text{ème}}$ temps de déroulement du papier photosensible.

Les formagrammes ont été traités au scanner puis analysés avec le logiciel de dessin *Ungraph* (Biosoft, Cambridge, United Kingdom).

Résultats

La figure 1 montre un formagramme obtenu sous les actions de l'extrait de l'*Ongokea gore* et de la présure. La figure 2 montre les variations d'amplitude des formagrammes de différents extraits coagulants (*Endothia parasitica*, *Ongokea gore*, *Mucor pusillus*, pepsine bovine, pepsine porcine et présure) en fonction du temps. Avec l'*Ongokea gore*, on obtient une bonne corrélation positive ($R^2 = 0,95$; $p = 0,000$) particulier entre des extraits, l'amplitude des formagrammes et le temps.

Les amplitudes des formagrammes évoluent différemment selon les extraits coagulants: il y a une différence significative entre les évolutions dues aux extraits de l'*Ongokea gore* et la présure ($p = 0,000$), entre l'*Ongokea gore* et *Endothia parasitica* ($p = 0,000$), entre l'*Ongokea gore* et la pepsine bovine ($p = 0,003$), entre l'*Ongokea gore* et *Mucor pusillus* ($p = 0,004$) et entre l'*Ongokea gore* et la pepsine porcine ($p = 0,004$) (Tableau 1).

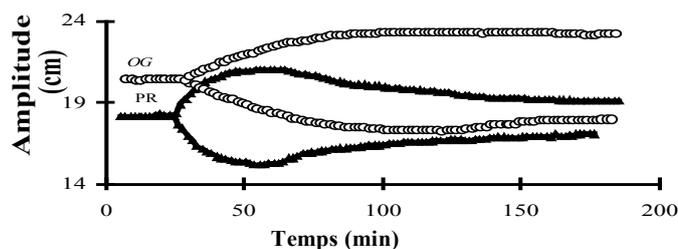


Figure 1: Formagrammes de la coagulation du lait par les extraits de l'*Ongokea gore*, la pepsine bovine et la présure. Lait en poudre (low heat, 12 g / 100 ml de $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 0,01 M) 10 ml, solution coagulante 0,20 ml; température 35 °C (OG: extrait des écorces de l'*Ongokea gore* et PR: présure ayant 99,5% d'activité due à la chymosine).

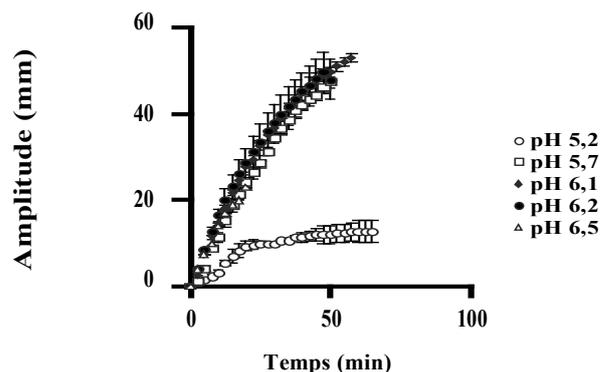


Figure 3: Variation des amplitudes des formagrammes (extrait coagulant *Ongokea gore*) en fonction des pH.

Lait en poudre (low heat) 10 ml, extrait des écorces de l'*Ongokea gore* 0,20 ml, température 35 °C; le temps t égale zéro est la fin du temps de coagulation, r . Les barres d'erreur représentent les écarts types. Les pH varient entre pH 5,2 et 6,5.

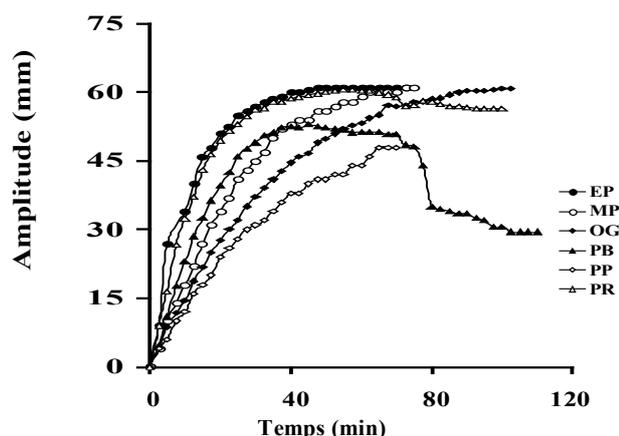


Figure 2: Variations des amplitudes des formagrammes en fonction des extraits coagulants. Lait en poudre (low heat, 12 g / 100 ml de $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 0,01 M) 10 ml, solution coagulante 0,20 ml, température 35 °C; le temps t égale zéro est la fin du temps de coagulation, r . Les barres d'erreur représentent les écarts types. (EP *Endothia parasitica*, OG *Ongokea gore*, PB pepsine bovine, MP *Mucor pisillus*; PP pepsine porcine, PR présure).

La figure 3 représente les variations des amplitudes des formagrammes obtenus sous l'action de l'extrait d'*Ongokea gore* sur des laits reconstitués à 12g/100ml de $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 0,01 M et ajustés à différents pH. L'analyse statistique montre qu'il y a une différence significative ($p=0,00$) entre le groupe de pH 5,7 à 6,5 et le pH 5,2. Par contre, il n'y pas de différence significative entre les pH 6,2 et 6,5 ($p=0,08$), entre les pH 6,1 et 6,2 ($p=0,79$), et entre les pH 6,1 et 6,5 ($p=0,12$) (Tableau 2).

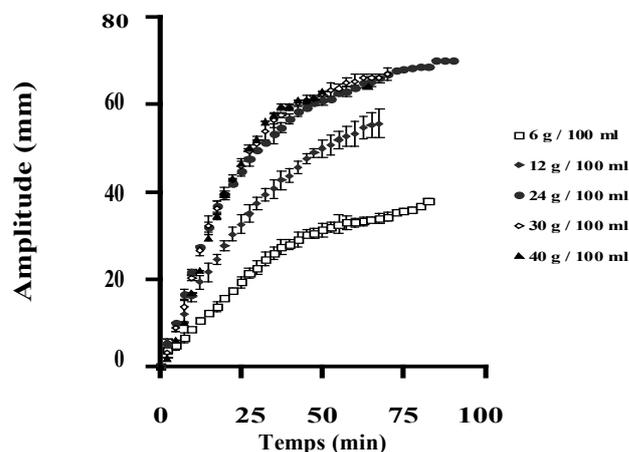


Figure 4: Variation des amplitudes des formagrammes en fonction des quantités de poudre de lait dissoute dans 100 ml de $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 0,01 M.

Lait en poudre (low heat) 10 ml, extrait des écorces de l'*Ongokea gore* 0,20 ml, température 35 °C; le temps t égale zéro est la fin du temps de coagulation, r . Les barres d'erreur représentent les écarts types. Les quantités de poudre de lait varient entre 6 et 40 g/100 ml de $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 0,01 M.

Tableau 1
Influence de la nature des extraits coagulants sur les amplitudes

Sources	Amplitude (mm)					
	0 min	5 min	15 min	30 min	50 min	70 min
EP	0 a ¹	26,66 ± 1,08 b ¹	45,66 ± 1,08 c ¹	57,00 ± 1,08 d ¹	61,00 ± 1,08 e ¹	61,00 ± 1,08 e ¹
MP	0 a ¹	10,33 ± 1,08 b ²	26,66 ± 1,08 c ²	44,66 ± 1,08 d ²	56,33 ± 1,08 e ²	60,00 ± 1,08 f ^{1,2}
OG	0 a ¹	8,00 ± 1,08 b ^{2,3}	18,00 ± 1,08 c ³	36,66 ± 1,08 d ³	49,66 ± 1,08 e ³	56,66 ± 1,08 f ³
PB	0 a ¹	11,66 ± 1,08 b ²	33,33 ± 1,08 c ⁴	49,66 ± 1,08 d ⁴	48,33 ± 1,08 d ^{e3,4}	36,00 ± 1,08 c ^{f4}
PP	0 a ¹	5,66 ± 1,08 b ³	17,33 ± 1,08 c ^{3,5}	31,33 ± 1,08 d ⁵	40,66 ± 1,08 e ⁵	47,66 ± 1,08 f ⁵
PR	0 a ¹	15,33 ± 1,08 b ⁴	41,66 ± 1,08 c ⁶	54,66 ± 1,08 d ^{1,6}	60,33 ± 1,08 e ^{1,6}	56,66 ± 1,08 d ^{f3,6}

EP *Endothia parasitica*, OG *Ongokea gore*, PB pepsine bovine, MP *Mucor pisillus*; PP pepsine porcine, PR présure.

Les valeurs dans la même colonne et ayant les mêmes chiffres en exposant ne sont pas significativement différents au seuil de 5%.

Les valeurs dans la même ligne et ayant les mêmes lettres en exposant ne sont pas significativement différents au seuil de 5%.

La figure 4 montre les variations des amplitudes obtenues sous l'action de l'extrait d'*Ongokea gore* sur des laits reconstitués avec des quantités variables de poudre de lait (6 et 40 g) dans 100 ml de CaCl_2 , $2\text{H}_2\text{O}$ 0,01 M. L'analyse statistique montre qu'il n'y a pas de différence significative entre les amplitudes obtenues avec les laits ayant 24 et 36 g/100 ml ($p=0,87$) puis entre 24 et 40 g/100 ml ($p=0,86$) et enfin entre 36 et 40 g/100 ml ($p=0,74$). Par contre, il y a une différence significative ($p<0,001$) entre les groupes 24, 36, 40 g/100 ml, 12 g/100 ml et 6 g/100 ml à partir de 20 min (Tableau 3).

Discussion

Pour des temps de coagulation voisins ($21,6 \pm 0,7$ min), le temps de raffermissement du caillé varie avec la nature des extraits: le caillé obtenu avec l'extrait de l'*Ongokea gore* se raffermi presque 2 fois moins vite que ceux obtenus avec la présure ou avec *Endothia parasitica* et au moins 1 fois et demie celui obtenu avec de la pepsine bovine; ce caillé se raffermi plus vite que celui obtenu avec de la pepsine porcine. Puisque la pepsine de porc parfois mélangée à d'autres extraits coagulants a servi à préparer des fromages (29), on peut penser que l'extrait de l'*Ongokea gore* qui donne un meilleur caillé que la pepsine porcine pourra servir à la fabrication des fromages. Les vitesses de raffermissement des caillés décroissent dans l'ordre suivant *Endothia parasitica*, présure, pepsine bovine, *Mucor pusillus*, *Ongokea gore*, pepsine de porc. La fermeté plus grande du caillé obtenue avec *Endothia parasitica* par comparaison avec la présure est connue (21) tout comme celle obtenue dans les 30 premières minutes avec de la chymosine par rapport à celle obtenue avec de la pepsine bovine (1). Trois quart d'heure après le début de la coagulation, tous les caillés,

à l'exception de celui obtenu avec l'extrait d'*Ongokea gore* atteignent le raffermissement maximal avec parfois un début de synérèse; le caillé obtenu avec l'extrait d'*Ongokea gore* n'atteindra son raffermissement maximum qu'une heure et demie après le temps de coagulation. Le raffermissement maximum du caillé obtenu par action des extraits de l'*Ongokea gore* est plus grand que ceux de tous les cas étudiés. Plus le milieu est acide plus rapide est la coagulation sous l'action de l'extrait des écorces de l'*Ongokea gore*. Ce résultat est bien connu pour la présure (9). C'est ainsi que le temps de coagulation est réduit au tiers quand on passe de pH 6,5 à 5,2. La fermeté du caillé augmente avec le pH et passe par un maximum au voisinage de pH 6,1; ce qui est semblable au comportement du caillé obtenu avec de la présure (22). La vitesse de raffermissement du caillé pour différents pH montre que, hormis pour un pH 5,2 et pour des pH compris entre pH 5,7 et 6,5 il n'y a pas de différence significative ($p>0,05$) entre les différentes courbes. La vitesse de raffermissement des caillés obtenus par action de la présure sur des laits à des pH compris entre pH 6,0 et 6,6 a été étudiée et a montré que ce pH est le facteur déterminant de différenciation (26). L'augmentation de la concentration de CaCl_2 , $2\text{H}_2\text{O}$ (2,5 à 1 000 mM) a entraîné la diminution du pH du milieu de pH 6,4 à pH 5,1. Tout comme avec la présure, on a observé une diminution du temps de coagulation suite à cette baisse du pH mais avec un seuil de 16 min à pH 6,0 correspondant à du lait reconstitué avec du CaCl_2 , $2\text{H}_2\text{O}$ 25 mM (9). Contrairement à la baisse du pH par simple action de HCl dilué, celle due à l'addition de CaCl_2 , $2\text{H}_2\text{O}$ au-delà de 25 mM et correspondant à un $\text{pH}<6,0$ n'entraîne plus une diminution mais plutôt une augmentation du temps de coagulation, suggérant un effet inhibiteur des ions Ca^{2+} . Quand la quantité de la poudre de lait augmente de 6 à 40 g pour 100 ml de CaCl_2 , $2\text{H}_2\text{O}$ 0,01 M,

Tableau 2
Influence du pH du lait sur les amplitudes

Sources	Amplitude (mm)				
	0 min	5 min	10 min	30 min	60 min
pH 5,2	0 ^{a1}	1,66 ± 0,76 ^{ab1}	3,33 ± 0,76 ^{bc1}	10,00 ± 0,76 ^{d1}	12,66 ± 0,76 ^{e1}
pH 5,7	0 ^{a1}	4,5 ± 0,76 ^{b2}	11,33 ± 0,76 ^{c2}	34,33 ± 0,76 ^{d2}	50,00 ± 0,76 ^{e2}
pH 6,1	0 ^{a1}	7,33 ± 0,76 ^{b3}	14,66 ± 0,76 ^{c3}	36,66 ± 0,76 ^{d3}	54,00 ± 0,76 ^{e3}
pH 6,2	0 ^{a1}	8,50 ± 0,76 ^{b3,4}	16,50 ± 0,76 ^{c3,4}	37,83 ± 0,76 ^{d3,4}	48,66 ± 0,76 ^{e4}
pH 6,5	0 ^{a1}	7,66 ± 0,76 ^{b3,4,5}	14,00 ± 0,76 ^{c3,4,5}	30,00 ± 0,76 ^{d5}	45,00 ± 0,76 ^{e5}

Les valeurs dans la même colonne et ayant les mêmes chiffres en exposant ne sont pas significativement différents au seuil de 5%. Les valeurs dans la même ligne et ayant les mêmes lettres en exposant ne sont pas significativement différents au seuil de 5%.

Tableau 3
Influence de la masse de poudre de lait sur les amplitudes

Sources	Amplitude (mm)					
	0 min	5 min	10 min	20 min	45 min	75 min
6 g	0 ^{a1}	5,00 ± 0,44 ^{b1}	8,66 ± 0,44 ^{c1}	15,66 ± 0,44 ^{d1}	30,33 ± 0,44 ^{e1}	35,66 ± 0,44 ^{f1}
12 g	0 ^{a1}	9,00 ± 0,44 ^{b2}	16,00 ± 0,44 ^{c2}	27,66 ± 0,44 ^{d2}	47,66 ± 0,44 ^{e2}	56,00 ± 0,44 ^{f2}
24 g	0 ^{a1}	10,00 ± 0,44 ^{b2,3}	21,66 ± 0,44 ^{c3}	39,33 ± 0,44 ^{d3}	59,33 ± 0,44 ^{e3}	68,00 ± 0,44 ^{f3}
36 g	0 ^{a1}	9,00 ± 0,44 ^{b2,3,4}	20,33 ± 0,44 ^{c3,4}	39,66 ± 0,44 ^{d3,4}	60,33 ± 0,44 ^{e3,4}	67,33 ± 0,44 ^{f3,4}
40 g	0 ^{a1}	6,00 ± 0,44 ^{b1,5}	17,00 ± 0,44 ^{c2,5}	39,33 ± 0,44 ^{d3,4,5}	61,00 ± 0,44 ^{e3,4,5}	64,00 ± 0,44 ^{f5}

Les valeurs dans la même colonne et ayant les mêmes chiffres en exposant ne sont pas significativement différents au seuil de 5%. Les valeurs dans la même ligne et ayant les mêmes lettres en exposant ne sont pas significativement différents au seuil de 5%.

le temps de coagulation augmente de 7 à 94 min. La coagulation du lait comprend une 1^{ère} phase enzymatique et une 2^{nde} réticulaire (5). Le temps de coagulation « r » augmente avec la concentration de la poudre de lait mise en solution tout comme dans le cas de la présure sur du lait plus ou moins concentré (19). Le temps de coagulation d'un lait donné (substrat) sous l'action de la présure (enzyme) augmente avec la dilution de la présure (17). La fermeté du coagulum augmente quand on passe de 6 à 24 g de poudre de lait dans 100 ml de CaCl₂, 2H₂O 0,01 M et n'augmente plus entre 24 et 40 g de la poudre de lait dans 100 ml de CaCl₂, 2H₂O 0,01 M d'où une similitude avec les coagula obtenus par action de la présure sur différents laits (23) tout comme les actions des présures diluées sur un lait de composition constante (17).

Conclusion

L'action sur le lait de l'extrait des écorces de l'*Ongokea gore* permet d'obtenir un gel dont l'évolution rappelle celle

obtenue avec des extraits coagulants classiques: *Endothia parasitica*, pepsines bovine et porcine, présure, *Mucor pusillus*. Pour toute chose égale, le raffermissement du caillé obtenu à l'aide des extraits des écorces de l'*Ongokea gore* est plus lent que celui obtenu avec *Endothia parasitica*, la pepsine bovine, présure et *Mucor pusillus* mais il est plus rapide que celui obtenu avec de la pepsine porcine. Tout comme pour la présure, l'effet du pH est peu marqué sur la vitesse du raffermissement du caillé obtenu avec les extraits des écorces de l'*Ongokea gore* et l'augmentation de la matière sèche du lait conduit à une diminution de la vitesse de raffermissement de ce caillé.

Remerciements

L'auteur remercie T. Ngo Bôm Kônde et C.G. Libouga pour la fourniture gracieuse des écorces de l'*Ongokea gore*, L. Vassal et J.C. Collin pour la mise à sa disposition du formagraph, Dr. A.L. Ebangi, R.G. Beka et V. Guima pour l'analyse statistique.

Références bibliographiques

- Andrén A. & Reedtz Von C., 1990, Effects of chromatographically pure bovine chymosin and pepsin A on curd firmness. J. Dairy Res. 57, 109-117.
- Anifantakis E. & Green M.L., 1980, Preparation and properties of rennets from lamb's and kid's abomasa. J. Dairy Res. 47, 221-230.
- Aworh O.C. & Muller H.G., 1987, Cheese making properties of vegetable rennet from Sodom apples (*Calotropis procera*). Food Chem. 26, 71-79.
- Berridge N.J., 1952, An improved method of observing the clotting of milk containing rennin. J. Dairy Res. 9, 328-329.
- Carlson A., 1985, Kinetics of gel forming in enzyme coagulated milk. Biotechnol. Prog. 1, 46-52.
- Ernstron C.A. & Wongt N.P., 1983, Milk-clotting enzymes and cheese chemistry in: Fundamentals of Dairy Chemistry, Webb B.H., Johnson A. & Alford J.A. The Avi Publishing Company, Inc. Westport, Connecticut pp. 662-718.
- Esteves C.L., Lucev J.A., Wang T. & Pires E.M., 2003, Effect of pH on the gelation properties of skim milk gels made from plant coagulants and chymosin. J. Dairy Sci. 86, 2558-2567.
- Fantuz E., Polidori F., Cheli F. & Baldi A., 2001, Plasminogen activation system in goat milk an its relation with composition and coagulation properties. J. Dairy Sci. 84, 1786-1790.
- Farah Z. & Bachmann M.R., 1987, Coagulation properties of camel milk. Milchwissenschaft, 42, 689-692.
- Letouzey R., 1968, Les botanistes au Cameroun. Laboratoire de phanérogamie. Muséum National d'Histoire Naturelle, Paris, France p. 79.
- Libouga D.G., Womeni H.M. & Bitjoka L., 2002, Extrait des écorces de l'*Ongokea gore*: protéolyse et conservation. J. Cam. Acad. Sci. 2, 96-106.
- Libouga D.G., 2003, Quelques caractéristiques physico-chimiques de l'extrait des écorces de l'*Ongokea gore*. J. Cam. Acad. Sci. 3, 177-183.
- Libouga D.G., Womeni H.M., Mbofung C.M.F., 2004, A milk clotting agent from *Ongokea gore* tree Trop. Sci. 44, 101-104.
- Libouga D.G., 2004, Edibility of cheese manufactured using *Ongokea gore* extract. Trop. Sci. 44, 180-183.
- 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.
- Mariani B.P., Summer A., Di Gregorio P.D., Randoe A., Fossa E. & Pecorari M., 2001, Effects of the CSN1(G) allele on the clotting time of cow milk and on the rheological properties of rennet-curd. J. Dairy Res. 68, 63-70.
- McMahon D.J. & Brown R.J., 1982, Evaluation of formagraph for comparing rennet solutions. J. Dairy Sci. 65, 1639-1642.
- Otani H., Matsumori M. & Hosona A., 1991, Purification and some properties of a milk clotting protease from young seeds of *Albizia julibrissin*. Anim. Sci. Technol. 62, 424-432.
- Payens T.A., 1984, The relationship between milk concentration and rennet coagulating time. J. Appl. Biochem. 6, 232-239.
- Pintado A.I., Macedo A.C., Teixeira G., Pais M.S., Clemente A. & Malcata F.X., 2001, Caseinolytic activity of fruit extract from *Opuntia ficus-indica* on bovine, caprine, and ovine sodium caseinates. Biotechnol. Prog. 17, 643-646.
- Ramet J.P., Alais C. & Weber F., 1969, Etude d'un enzyme coagulant microbien dérivé de *Endothia parasitica*. II Fabrications expérimentales des fromages à pâte molle et à pâte cuite. Lait, 49, 40-52.
- Ramet J. P., 1987, Use of bovine calf rennet to coagulate raw camel milk. World Anim. Rev. 61, 11-16.
- Robitaille G., Kwet Fane Ng-Kwai-Hang & Monardes H.G., 1993, Effect of κ-casein glycosylation on cheese yielding capacity and coagulating properties of milk. Food Res. Internat. 26, 365-369.
- SAS Institute Inc. SAS®, 1985, User's Guide: Statistics, Version- 5 Edition. Cary, NC: SAS Institute Inc.
- Sidrach L., Garcia-Canovas F., Tudela J. & Rodriguez-Lopez J.N., 2005, Purification of cynarases from artichoke (*Cynara scolymus* L.): enzymatic properties of cynarase A. Phytochemistry, 66, 41-49.
- Storry J.E. & Ford G.D., 1982, Some factors affecting the post clotting development of coagulum strength in renneted milk. J. Dairy Res. 49, 469-477.
- Vairo-Cavalli S., Claver S., Priolo N. & Natalucci C., 2005, Extraction and partial characterization of a coagulant preparation from *Silybum marianum* flowers. Its action on bovin caseinate. J. Dairy Res. 72, 271-275.
- Villiers J.F., 1973, Icacinacées, Olacacées, Pentadiplandracées, Opiliacées, Octoknémacées. Vol. 15 La flore du Cameroun. Laboratoire de Phanérogamie Muséum National d'Histoire Naturelle, France, pp.159-162.
- Yiadom-Farkye N.A., 1987, Role of chymosin and porcine pepsin in Cheddar cheese ripening. Diss. Abstr. Intern., B. (Sciences and Engineering), 47, 4367.
- Yousif Bashir H., McMahon D.J. & Shammeth Khliid M., 1996, Milk clotting enzyme from *Solanum dubium* plant. Int. Dairy J. 6, 637-644.

D.G. Libouga, Camerounais, Licence de biochimie, DESS de laiterie, DEA Diplôme d'Etudes Approfondies, Doctorat unique, Enseignant à l'Université de N'gaoundéré, Chargé de Cours à l'Ecole Nationale Supérieure des Sciences Agro Industrielles, Université de N'gaoundéré, B.P. 455 N'Gaoundéré, Cameroun.

Animal Traction: An Underused Low External Input Technology among Farming Communities in Kaduna State, Nigeria

S. Adunni Sanni¹

Keywords: Animal traction- Low input technology- Probit model- Nigeria

Summary

In spite of the slow rate of adoption of animal traction (AT) technology in West Africa, the potential benefit of the technology, in terms of increase in hectares cultivated and the reduction in drudgery has been a subject of discussion by researchers. This paper uses a linear programming and binary choice probit model to analyze the benefits and constraints to AT technologies taking into consideration socio-economic and institutional factors and perception variables. One hundred and twenty households from Maigana and Yakawada villages in Kaduna State were enumerated by a simple random sampling technique using both structured and unstructured interview procedures. The result revealed considerable under-exploitation of AT technology in the study location. The partial use of AT technology for tillage operation only increased gross margin by 32% and labor bottlenecks experienced in the peak of the season can be reduced by 43%. However, the increase in gross margin is over 78% when the full AT technology package is used. The general trend in the models showed that by adopting the complete package of the technology, the full potential could be exploited. The size of family labor force substantially influenced the adoption behavior of the household while the selected perception variables were quite useful in explaining household's perception of the technology. Conversely, the use of tractors showed a highly significant but negative relationship with the adoption of AT technology. Households' managerial know how, financial constraint and the family labor capacity limits the benefits derived from the technology. These results suggest that farm mechanization using complete AT package is a viable panacea for agricultural intensification and increased productivity among the smallholders in the northern guinea savanna ecology of Nigeria. The paper concludes with pragmatic steps of how the identified constraints can be eliminated to sustain holistic adoption of AT technology and exploit its full potential benefits.

Résumé

Traction animale: une faible technologie du matériel agricole sous - exploitée par les communautés rurales dans l'état de Kaduna au Nigeria

En dépit du faible taux d'adoption de la technologie de la Traction Animale (TA) en Afrique de l'Ouest, l'avantage potentiel de cette technologie en terme d'augmentation des superficies cultivées et de réduction de la pénibilité du travail demeure un sujet de discussion au niveau des chercheurs. Cet article utilise une programmation linéaire et un modèle 'Probit' de choix binaire pour analyser les avantages et les contraintes liés à la TA en tenant compte des facteurs socio-économiques et institutionnels ainsi que des variables de perception. Cent vingt ménages des villages de Maigana et Yakawada dans l'état de Kaduna au Nigeria ont été sélectionnés par une technique d'échantillonnage aléatoire et simple en utilisant des procédures d'interviews structurées et non structurées. Le résultat a révélé une sous-exploitation considérable de la TA dans les sites de l'étude. L'utilisation partielle de la TA pour le labour seulement, a augmenté la marge brute de 32%, et le goulot d'étranglement du travail observé pendant la période de pointe peut être réduite de 43%. Cependant, l'augmentation de la marge brute est supérieure à 78% quand l'ensemble du paquet technologique de la TA est utilisé. La tendance générale dans les modèles a montré qu'en adoptant l'ensemble du paquet technologique, tout son potentiel pourrait être exploité. La taille de la main-d'oeuvre familiale influence de façon substantielle le comportement du ménage à adopter la TA, alors que les variables de perception sélectionnées étaient utiles pour comprendre la perception de la technologie par le ménage. Inversement, l'utilisation des tracteurs a montré une forte corrélation négative avec l'adoption de la TA. Le savoir - faire en gestion des ménages, la contrainte financière et la capacité de main-d'oeuvre familiale limitent les avantages obtenus de la technologie. Ces résultats suggèrent que la mécanisation agricole utilisant l'ensemble du paquet technologique de la TA est une panacée viable pour l'intensification agricole et l'augmentation de la productivité par les petits paysans de la zone écologiques de la Savane de Guinée au Nord du Nigeria. Cet article conclut en mettant l'accent sur des étapes pragmatiques concernant la manière dont les contraintes identifiées peuvent être éliminées afin d'assurer la durabilité d'une adoption holistique de la TA et d'exploiter tous ses avantages potentiels.

Introduction

Animal traction (AT) has played and still plays an important role in meeting the power requirements of many parts of developing world, because it is an appropriate, affordable and sustainable technology requiring few external inputs and hence relatively low capital investment. AT was first introduced in the 1920s in the northern parts of Nigeria (1). Since then, its use has become wide spread in various parts of the tsetse free zones of Nigeria (8). In addition to the governments' efforts during the colonial period, some private agencies provided impetus for adoption of the technology

by establishing farm training and work bull training centers. However the vigor with which draft animal power technology was promoted declined significantly in the 1970s when campaigns for increased food production favored capital-intensive tractor mechanization - approach. This approach failed to achieve the desired increased food production partly because the socio-economic profile of small-scale farmers were neglected in the scheme and because the tractors, implement, and spare parts had to be imported with scarce foreign exchange. The failure of the approach coupled with

¹Department of Agricultural Economics and Rural Sociology, Institute for Agricultural Research, Ahmadu Bello University, Zaria, Nigeria.
Received on 09.02.06 and accepted for publication on 23.01.07.

down turn of the Nigeria economy and a compelling need to meet rising demand for food production led to strident calls for cheaper labor saving and locally sustainable technology for agricultural mechanization.

AT technology appeared to have provided the answer in this regard, especially for small-scale farmers. According to Phillip *et al.* (9), the use of AT for agricultural practices is potentially useful and an appropriate means of improving the efficiency of traditional farming system in many developing countries. Advocates of animal-based mechanization projects generally believed that the introduction of AT in African smallholder systems would bring considerable advances in agricultural production. AT would increase crop yields through better and timely cultivation and planting. It would reduce labor requirement per unit area and allow an increase in the area under cultivation. It would also help to resolve bottlenecks in weeding, and reduce the drudgery of manual labor (3). However, most of the available literature on AT utilization indicates that farmers have not taken full advantage of using work animal for the various possible operations on the farm (2, 7, 9, 11). Despite the potentials of AT to alleviate seasonal labor shortages, which, together with capital shortages, are widely considered as the primary production constraint in sub-Saharan African farming systems, less than 10% of the total cultivated area is cropped using animals (10). This situation prevails despite considerable efforts by the World Bank sponsored Agricultural projects (ADPs) aimed at promoting increased use of AT, mainly through the provision of loans to qualified farmers. It is in the face of these and other constraints that it become necessary to look for viable alternative means of enhancing agricultural production through increased use of AT. The main objective of this paper is to identify the economic potential of AT technology among smallholders and examine the significance of institutional, socio-economic and household perception variables as influenced by the decision to adopt AT technology

Materials and methods

Study area

This study was carried out in Kaduna State of Nigeria. Kaduna State lies in the North central position of Nigeria between latitudes 9°10' and 11°30' north and longitude 6°52' and 9°10' East of Greenwich meridian, which falls mostly within the northern Guinea savannah zone of the sub humid climate of Nigeria. Soils in this zone have a sandy loam to clay loam texture. The topsoil has a pH of 5 to 7 and an organic carbon content ranging between 0.5 and 1.5%. The soil properties as described by Norman *et al.* (6) are leached ferruginous tropical soil, with reddish fine loam clay to sandy loam. Two seasons can be distinguished – the rainy season from May to September / October and a long dry season from October to May. Temperature during the rainy period is between 27.0 - 34.0 °C (maximum) and 18.0 - 21.0 °C (minimum). The zone's long growing period of 180 - 270 days accommodates the predominant crops like sorghum, millet, maize, groundnut cowpea, rice as well as cocoyam, cassava and yam.

The Kaduna State Agricultural Development Project (KADP) divided the state into three zones for administrative convenience; namely, Samaru zone, Birnin Gwari zone, Maigana zone. This study was specifically conducted in Yakawada and Maigana, both in Maigana zone.

Sampling procedure and data collection

A stratified random sampling procedure was employed to select 120 farm households in Yakawada and Maigana. Sixty households were randomly selected from each village, stratified according to their use of AT technology. Households were stratified into three groups: manual / hand hoe tillage; partial AT users and full AT users. The partial

AT users were those who use the technology for tillage purposes only while the full AT users were those who use the technology for tillage operations and other operations such as weeding, transportation and harvesting. Three forms of questionnaires were used in soliciting data from the respondents. An inventory form was used to record family size and composition, material inventory, animal inventory and plot inventory. The second form was used to collect farm input and output records. This form was used to elicit information on labor use, animal power use, material input and output for the 1999 agricultural season. Finally the last form was used to collect information on potential benefit of AT, credit needs, farm management practices, implement use, animal handling skills cultural and social issues concerning draft animal adoption.

The household head was the unit of response. This was to ensure that the various components of the farming systems in the area were effectively covered. Where necessary, some key members of the household were also interviewed.

Analytical techniques

The data collected were analyzed using probit and linear programming models. Multivariate binary choice probit approach was estimated to analyze the adoption decision regarding AT technology. Factors hypothesized as influencing adoption of AT technology were categorized into three; socio-economic and institutional and perception variables.

Six socio-economic variables: age, family labor capacity, educational level of household head, use of fertilizer, use of tractor, and farm size were hypothesized to influence adoption of AT. Institutional variables considered were the distance to the nearest point of sale of AT implements, extension contact and membership of cooperative society. Two perception variables were included in the model: perception of credit need and benefits of AT. Household's perception of the benefits of AT was measured by three different components: reducing drudgery, increase farm size and improve income. Binary probit model is a type of regression where the dependent variable is converted into a dichotomous binary variable coded 1 for households using AT and 0 for households using manual cultivation.

The probit model has the following functional form (5):

$$P_i = \text{Prob}(Y_i = 1) = \text{Prob}(\sum \beta_j X_{ij} + \epsilon_i > 0) \dots\dots\dots 1$$

$$P_i = \text{Prob}(Y_i = 1) = \text{Prob}(\epsilon_i > -\sum \beta_j X_{ij}) \dots\dots\dots 2$$

The second equation implies that the i^{th} household will use AT technology if:

$$\epsilon_i > -\sum \beta_j X_{ij}$$

Thus, the probability that a household will adopt AT technology is a function of the vector of explanatory variables X_{ij} and an unobserved error term ϵ_i .

P_i = probability that the household will use AT technology

β_j = Coefficients of the explanatory variables X_{ij}

ϵ_i = error term which is normally distributed with zero mean and variance one.

Linear programming model formulation

A single period linear programming model of a representative farm was used. Three basic models were used to capture diversity in the potential benefit from partial animal traction technology with the plough only and the complete animal traction package, which consist of plough, weeder and cart and hand hoe tillage operations. The use of linear programming makes it possible to make comparative analysis of the different modes of production. Also the efficiency of the individual factors of production and the allocative efficiency of factors of production can be captured and analyzed simultaneously. The objective is the maximization of gross margin using the two technologies.

Given the objective of maximization of gross margin, the mixed integer programming techniques were developed for the study as follows:

$$\text{Max. Gross margin } Z = \sum_{j=1}^n C_j X_j \quad (j = 1, 2, 3, \dots, n)$$

$$\text{Subject to: } b_i \geq \sum_{j=1}^m a_{ij} X_j \quad (i = 1, 2, 3, \dots, m)$$

$$\text{And: } X_j \geq 0$$

Where:

Z = objective function (Gross Return);

X_j = the quantity of the activities where there are n activities to be considered,

C_j = net prices per unit of activity with n activities. It measures the marginal contribution of each decision variable,

a_{ij} = resource requirement per unit of activity. It represents how much of a resource is required for each activity unit,

b_j = available productive resources in limited supply (constraints),

n = number of activities,

m = number of resources.

Activities in the models

The activities in the models are categorized into five major groups; production activities, selling activities, consumption activities, labor hiring activities and capital borrowing activities. Crop production activities included in the models were maize, sorghum, rice, millet, cowpea, sorghum / cowpea. The choice of these crops is based on their dominance in the cropping system of the study area. It was also assumed that crops produced are immediately transferred into selling activities after deducting the minimum requirement for home consumption. A minimum food requirement was stipulated in the models for certain staple food common in the study area; sorghum, millet and maize. Labor hiring activities were included in the model to ensure that shortage of family labor does not serious constraint the households to produce. A restriction was placed on the level of labor to be hired based on family cash availability and the estimated supply of labor in the area. Capital borrowing activities were included in the models to enable the households increase the amount of capital available for production. The loan obtained to finance the AT packages was scheduled to be repaid over a period of time, while capital borrowed for operating expenses was repaid in full at the end of the season. It is assumed that these loans should be self- liquidating in the same year.

Constraints in the models

Two types of constraints were considered based on the resource situation in the household. These are the resource and subjective constraint. The resource constraints include; land, family labor, draught power supply and capital. The subjective restriction includes the production of minimum amount of food required to sustain the family. Output allocation constraint was included to ensure that all that is produced is either consumed or transferred into selling activity.

Results and discussion

Factor influencing AT utilization

According to the log likelihood test, the probit model used to examine factors affecting the adoption of animal traction in the study area was significant at the one percent level. The variables included in the model accounted for 85% of the variations in the level of adoption of AT technology. Based on the t-values of the individual coefficients, most of the explanatory variables included in the model were significantly related with the adoption of animal traction (Table 1). The likelihood of adopting AT technology was higher for older farmers than for younger ones. The possible explanation to this could be that older farmers have greater access to institutional assistance, and could be in control of more wealth than the younger ones. This finding is consistent with those of other researchers (4, 8) whose studied were specifically on AT farm-households. The model also showed that with increasing family labor force, the probability of adopting animal traction increases. The implication of this is that larger family labor force is an important precondition to the acquisition and adoption of AT technology. This is due to the conflict in the allocation of labor between crop production and tending the animals for traction purposes. Also, the estimated coefficient of educational level of the household heads was positive but not significant. The insignificance of this factor shows that lack of formal education may not be a constraint in AT technology adoption. As expected, the use of other improved farm practices (fertilizer) showed a positive and significant (p< 0.10) relationship to the adoption of AT. This is quite important in view of the general assumption that the use of related technologies clearly promotes the adoption of others. The implication of this is that the promotion of AT will receive a boost if other supplementary inputs, such as fertilizers herbicides and improved seed are equally promoted. The probability of adopting AT technology was observed to be positively related to farm size, though the

Table 1
Socio-economic, institutional and perception variables influencing AT utilization

Variable	Coefficient	Standard error	t – values
Family labor	0.0667*	0.0422	1.5813
Educational level	0.0281	0.0380	0.7401
Age	0.0113	0.0092	1.2198
Tractor use	-1.1435***	0.3451	3.3108
Farm size	0.2701	0.3407	0.8788
Fertilizer use	0.4518*	0.2702	1.6006
Extension contact	0.2521***	0.0775	3.2536
Cooperative Membership	0.1290	0.3127	0.4153
Distance to the nearest point of sale	0.0768	0.0164	1.0878
Perception of AT benefit	0.8122***	0.2969	2.7256
Perception of credit need	1.1314***	0.3303	3.4258
Constant	-3.7458**	1.0208	-3.6695

*** p< 0.01

** p< 0.05

* p< 0.10

Likelihood ratio= 78.95

Percentage of right prediction= 0.85.

relationship was not significant. This could be attributed to scale advantage derived from using AT. Larger farms tend to make use of AT more efficiently and therefore derive higher benefit from its use.

In relation to complementary factors, the model estimated a negative relationship between adoption of animal traction technology and use of tractors. The likelihood of adopting animal traction was higher for large farms than for smaller farms, the relationship was highly significant at $p < 0.01$. Extension contact and the membership of cooperative society were found to positively influence adoption of AT technology. However, only the coefficient of extension contact was significant at $p < 0.01$.

The perception of credit availability proved to be a highly significant ($p < 0.01$) factor to farmers' adoption of animal traction. Most of the farmers were of the opinion that with increased availability of credit, the level of adoption of animal traction technology is bound to increase. The need for credit is as a result of the initial investment in the animals and draught implements. Also farmers' perception of the benefit of animal traction to reduce drudgery, increase farm size and improve farmer's income was positive and significant ($p < 0.01$) to the adoption of the technology. It means that farmers' perceived advantage of AT to reduce drudgery, increase farm size and improve farmers' income as a very important factor influencing adoption of the technology.

Farmers' perception variables and extension contact were the most important factors influencing adoption behavior of household with regards to AT utilization. Thus, structural transformation that would encourage intensification in the use of AT technology for increased farm productivity will need to take into consideration the attitude of farm household with respect to the expected economic advantage of the technology over traditional alternatives. Also the role of extension in the different stages of adoption and diffusion is equally important in ensuring adoption of AT technology.

Optimal farm plan of the basic models for the three modes of cultivation

The three basic models representing the optimum situation

of the average households that used manual / hoe cultivation, partial AT technology (plough) and full AT package (plough, weeder and the ox-drawn cart) are presented in table 2. While the total land area available in the fadama was completely used up in the manual cultivation models, there was a surplus of 0.27 hectares of upland field. The reverse was the case in the partial and complete AT models. The underutilization of the fadama land in the AT models could be attributed to inability to use AT to work the fields as a result of flooding and due to clayey nature of fadama soils. The striking point of the enterprises choice in the optimum plans of the three modes of cultivation is that it does not deviate much from the dominant existing cropping pattern in the study area. The feasible enterprise combinations in the models were mainly cereal-based as indicated in table 2. The available land in the manual cultivation models was fragmented into six plots while the AT models had fewer number of plots for ease of draught operation. The cropping pattern of the three models is similar in many ways. Sorghum/cowpea enterprise, millet and maize were dominant in all the farm models. Sorghum/cowpea enterprise and millet occurred without exception in all the three models. This seems to underline the importance of subsistence of these crops to the farmers. Rice occupies a place in all the three models but assumes less importance as the tillage methods changes from hand tillage to complete AT.

The pattern of labour use in the three models tends to validate the models representation of the farming system. Labour restriction was divided into three periods; January - April, May - August and September - December. In terms of resource use, the complete AT model allows for surplus labor in all the seasons. No labor bottleneck was experienced throughout the year for this model. Although less labor was used, the return to family labor was higher with the full AT than all the other methods. Return to labor was ₦34.65, ₦67.7 and ₦157.7 per man-hour for manual cultivation, partial AT and complete AT models respectively. Although all these figures were higher than the average wage rate of ₦20.00 per hour, which shows that labor is being efficiently utilized.

Table 2
Optimal Farm Plan of the Basic Models for the Three Modes of Cultivation

ITEM	Unit	Activity level		
		Hand hoe	Partial AT	Complete AT
Rice	Ha	0.40	0.38	0.26
So - Cp	Ha	1.04	1.97	0.77
Millet	Ha	0.98	1.09	0.71
Groundnut	Ha	0.46	-	-
Maize	Ha	0.28	-	1.43
Sorghum	Ha	0.03	-	-
So - GN	Ha	-	-	0.15
Jan - April	Man - hrs	115.0	138.7	95.0
May - August	Man - hrs	1200.0	640.50	480.9
Sept - Dec.	Man - hrs	780.8	745.0	316.5
Hired labor	Man - hrs	42.68	26.24	-
AT usage	Man - hrs	-	78	120
Rice selling	Naira	1010.8	957.74	958.74
Sorghum selling	Naira	189.67	659.18	659.18
Groundnut selling	Naira	526.27	-	58.7
Millet selling	Naira	192.38	-	-
Cowpea selling	Naira	518.7	986.52	-
So consumption	Kg	950	1450	1000.0
Millet consumption	Kg	500	550	550.0
Maize consumption	Kg	550	-	2771.63
CP consumption	Kg	-	50	50.0
Total GM	Naira	78,840.87	103,163.76	140,531.11
Land use efficiency	N / Ha	24,715.0	29,989.46	42,328.65
Labor use efficiency	N / man - hr	34.65	67.7	157.7

Gross margin was highest with the full AT technology and lowest for the hand hoe technique. The models show that gross margin can almost double with the use of the full AT compared to the hand hoe method. The partial AT models also show increases in gross margin but the farm potential is not fully exploited due to the transference of certain constraints in resource use. When the partial AT method was used, greater weeding efforts and higher costs of harvesting increased the total cost of production and reduce the gross margin. The results show that AT will be most beneficial to farmers if used fully.

Although the cost of one hectare of land is not known in the study area, the return to a unit of land used was highest for full AT, the partial AT and manual tillage in that order. Comparing the shadow price of land to its marginal value product of land estimated in the model, it shows that land is used more efficiently, particularly in the complete AT package compared to other modes of cultivation. These findings points to the fact that resources, particularly land and labor were more efficiently utilized as the households adopt the full package of AT technology.

Conclusion

The result revealed considerable under-exploitation of AT technology in the study location as only about 30 percent of the farmers using the technology actually derived substantial benefits from it. The partial use of AT technology for tillage operation only increased gross margin by 32 percent and labor bottlenecks experienced in the peak of the season can be reduced by 43 percent. However, the increase in gross margin is over 78 percent when the full AT technology package is used. The general trend in the models showed that by adopting the complete package of the technology, the full potential could be exploited. Our study also suggests that family labor capacity and fertilizer use had highly significant effect on adoption of AT technology. Perceptions variables, which were represented by farmers' subjective evaluation of the benefits of AT and credit need for investment in AT technology are the two most important ingredients affecting the adoption decision regarding AT technology. Structural transformation that would encourage intensification in the use of AT technology for increased farm productivity will need to take into consideration the attitude of farm household with respect to the expected economic advantage of the technology over traditional alternatives. The findings also indicate that, the role of extension in the different stages of adoption and diffusion is equally important in ensuring adoption of AT technology.

Literature

1. Alkali M., 1969, "Mixed farming need and potential. *In*: Livestock development in the dry and intermediate savanna zones" Institute for Agricultural Research, Ahmadu Bello University, Zaria, Nigeria.
2. Delgado C.L. & McIntire J., 1985, Constraints on oxen cultivation in the Sahel. *Am. J. Agric. Econ.* **67**, 3, 686 -687.
3. Hans G.P. Jansen, 1993, Ex-ante profitability of animal traction in semi-arid Sub-Saharan Africa: Evidence from Niger and Nigeria. *Agricultural Systems*, 43, 323 - 349.
4. Hailu Z., 1990, "The adoption of modern farm practices in African agriculture: empirical evidence about impacts of household characteristics and input supply systems in the Northern Region of Ghana" Nyankpala Agricultural Research Report (7) GTZ. W, Germany.
5. Kennedy P., 1998, A guide to econometrics, Fourth edition. Blackwell publishers Ltd. Malden, Massachusetts, USA. Pp. 237 - 242.
6. Norman D.W., Simmons E.B. & Hays H.M., 1982, Farming Systems in the Nigerian Savannas. West View press Boulder.
7. Olukosi J.O. & Ogungbile A.O., 1992, Improving the profitability of technology in maize and sorghum production in northern Nigeria. *In*: Starkey P.H., Mwenya E. & Stores J. (eds). *Improving Animal Traction Technology*. Proc. 1st Workshop of the animal traction network for eastern and southern Africa, 18 - 23 January, 1992, Lusaka, Zambia.
8. Omotayo A.M., 1996, Analysis of the utilization and impact of animal traction in Katsina State, Nigeria. An unpublished Ph. D dissertation, Department of Agricultural Economics and rural Sociology, Ahmadu Bello University, Zaria, Nigeria.
9. Phillip D.O.A., Abalu G.O.I., Aganga A.A. & Aduku A.O., 1990, Animal traction in northern Nigeria. A survey of constraint and a model of prospects. *In*: P Starkey & A. Faye (eds). *Animal Traction for Agricultural Development*. Proc. 3rd Workshop of the West Animal Traction Network, 7 - 12 July, 1988, Saly, Senegal.
10. Phillip D.O.A., Abalu G.O.I. & Ingawa S.A., 1988, Economic implications of animal power at the small-scale level in the savanna zone of northern Nigeria: a linear programming simulation of farmer circumstances. *In*: P. Starkey & F. Ndiame (eds.). *Power in Farming Systems*. Proc. 2nd West African Animal Traction Network workshop. 17 - 26 September, 1986, Freetown, Sierra Leone.
11. Starkey P., 1990, Animal traction for agricultural development in West Africa: production, impact, profitability and constraints. *In*: P Starkey & A. Faye (eds). *Animal Traction for Agricultural Development*. Proc. 3rd Workshop of the West Animal Traction Network, 7 - 12 July, 1988, Saly, Senegal.

S. Adunni Sanni (PhD), Nigerian, Senior Research fellow (Agricultural Economist), Department of Agricultural Economics and Rural Sociology, Institute for Agricultural Research, Ahmadu Bello University, Zaria - Nigeria.

Efficacité biopesticide de *Hyptis spicigera* Lam., *Azadirachta indica* A. Juss. et *Euphorbia balsamifera* Ait. sur le niébé *Vigna unguiculata* L. Walp.

D. Bambara¹ & J. Tiemtoré²

Keywords: Biopesticide- Cowpea- Burkina Faso

Résumé

Le test biopesticide de trois espèces végétales (*Hyptis spicigera* Lam., *Azadirachta indica* A. Juss. et *Euphorbia balsamifera* Ait.) a révélé que l'efficacité de ces produits sur les parasites du niébé n'était pas meilleure à la deltaméthrine. Les parcelles traitées avec ces extraits botaniques ont produit plus de fanes que de grains. Des recherches plus approfondies sont nécessaires pour caractériser ces substances et éventuellement améliorer leur efficacité pesticide.

Summary

Biopesticide Efficacy of *Hyptis spicigera* Lam., *Azadirachta indica* A. Juss. and *Euphorbia balsamifera* Ait. on Cowpea Insect Pests Controlling

Hyptis spicigera Lam., *Azadirachta indica* A. Juss. and *Euphorbia balsamifera* Ait. biopesticide trial showed that their efficacy on cowpea insect pests controlling was lesser than deltamethrine. Plots treated with these plants extracts yielded more haulm than grain. Deep research undertaking is necessary to characterize these plants products and may be to enhance their biopesticide virtue.

1. Introduction

L'intensification de la production agricole n'est pas envisageable sans l'adoption de technologies appropriées dont la lutte contre les ravageurs des cultures (7). Depuis longtemps, la lutte contre ces ennemis des cultures et en particulier ceux du niébé est basée sur l'utilisation des pesticides de synthèse. L'usage de ces pesticides chimiques a souvent causé beaucoup plus de problèmes qu'il n'en a résolu (2). Selon Ouédraogo (6), cette utilisation des pesticides de synthèse pose les problèmes majeurs suivants: (i) l'accroissement de la résistance des insectes, (ii) la disparition des populations d'insectes, (iii) la pollution des eaux de surface et des nappes phréatiques, (iv) la neutralisation de la vie du sol, (v) l'Afrique utilise moins de 10% de la production mondiale de pesticides mais totalise 75% des cas mortels dus aux pesticides, etc.

En outre, les technologies proposées n'ont pas toujours eu le succès escompté pour plusieurs raisons dont leur inadéquation (4), les risques associés à leur adoption (5), la pauvreté (3) etc. C'est pourquoi, aujourd'hui, pour des raisons écologiques et économiques, il y a nécessité de développer des méthodes de substitution aux pesticides de synthèse dans la protection des cultures. Parmi ces méthodes, les biopesticides occupent une place de choix (6). Cet article rapporte les résultats d'un test d'efficacité d'extraits aqueux de trois espèces végétales locales sur les prédateurs du niébé *Vigna unguiculata* L. Walp. dans le terroir de Ziga en zone soudano-sahélienne du Burkina Faso. Il s'agit d'évaluer et de comparer l'efficacité des extraits par rapport à la deltaméthrine (décis) qui est le pesticide de choix dans le milieu.

2. Matériel et méthodes

2.1 Choix du terroir de Ziga comme site expérimental

Le test a été conduit en 2004 sur initiative des producteurs dans le site de Ziga en zone soudano-sahélienne du Burkina Faso. Dans ce terroir, le niébé est bien intégré mais sa production est confrontée au problème des prédateurs.

2.2 Le matériel végétal utilisé

La variété de niébé KVx 61-1 à cycle court et sensible aux thrips, pucerons et punaises a été utilisée. De même les

extraits aqueux de l'*Azadirachta indica* (neem), de *Hyptis spicigera* et de *Euphorbia balsamifera* ont été utilisés. Il s'agit d'espèces bien représentées dans la région où elles sont spontanées ou subspontanées. Les feuilles de neem ont un goût amer. *Hyptis* dégage un parfum et *Euphorbia* produit un latex.

2.3 Préparation des extraits aqueux

Les extraits aqueux ont été préparés collectivement par les producteurs sous la supervision de technicien de recherche.

Le Hyptis spicigera et l'*Euphorbia balsamifera*

Trois kg de broyat d'*Hyptis* (plantes) et deux kg de broyat d'*Euphorbia* (rameaux) sont apprêtés séparément. Le broyage se fait avec un mortier. Chaque produit est ramené dans un récipient contenant 6 litres d'eau pendant 3 jours. L'on y rajoute ensuite 1 litre d'eau. On malaxe et on filtre. Les filtrats ainsi obtenus sont utilisés pour traiter le niébé. La superficie traitable est de 200 m² par produit. Les résidus sont ensuite jetés à la volée sur le niébé

L'*Azadirachta indica*

Les feuilles de neem sont prélevées et pilées finement au mortier. Les producteurs estiment que 1 kg de feuilles pour 6 litres d'eau constitue une dose suffisante. Le broyat est trempé dans l'eau pendant 12 heures (18 heures à 6 heures le lendemain) et filtré. Le filtrat obtenu est utilisé immédiatement comme pesticide sur 200 m². Le dispositif était un bloc complet dispersé à cinq traitements: T0= témoin absolu sans traitement; T1= deltaméthrine (décis) à la dose de 1.ha⁻¹; T2= extrait feuille de *Azadirachta indica*; T3= extrait de *Hyptis spicigera*; T4= extrait de *Euphorbia balsamifera*. Quatre producteurs ont conduit le test et chaque producteur constituait une répétition. La parcelle élémentaire mesurait 8 x 4,8 m= 38,4 m². Les paquets technologiques qui accompagnent la production du niébé ont été appliqués. Deux applications phytosanitaires ont été faites à l'aide de balai, une première à 30 jours après semis et une deuxième à 55 jours après semis. Les paramètres mesurés ont été le nombre de prédateurs par traitements

¹Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles (INERA). Station de Recherche de Di/Tougan, BP. 49 Tougan, Province du Sourou, Burkina Faso. e-mail: das.bambara@coraf.org ou bambara_dasmane@yahoo.fr

² Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles (INERA). Site de Ziga, BP. 49, Tougan, Burkina Faso.

Reçu le 28.12.06 et accepté pour publication le 13.02.07.

Tableau 1
Nombre moyen d'insectes par espèces

*Nombre d'insectes et coefficients de variation par traitement							
traitements	thrips	cantharides	CV(%)	punaises	CV(%)	pucerons	CV(%)
témoin	¹ nombreux	21	57,48	29	28,24	151	30,22
decis	³ très peu	7	45,18	02	83,27	12	39,09
neem	² peu	14	31,50	18	44,45	75	32,92
hyptis	nombreux	8	53,07	10	49,99	69	47,42
euphorbia	peu	10	62,32	12	37,02	27	41,88

*Nombre moyen d'insectes dénombrés sur cinq pieds de niébé (moyenne de quatre répétitions)

**Les thrips n'ont pas été dénombrés à cause de leur petite taille

nombreux= nombreux ¹ supérieur à 150 ² compris entre 100 et 150 ³ inférieur à 100.

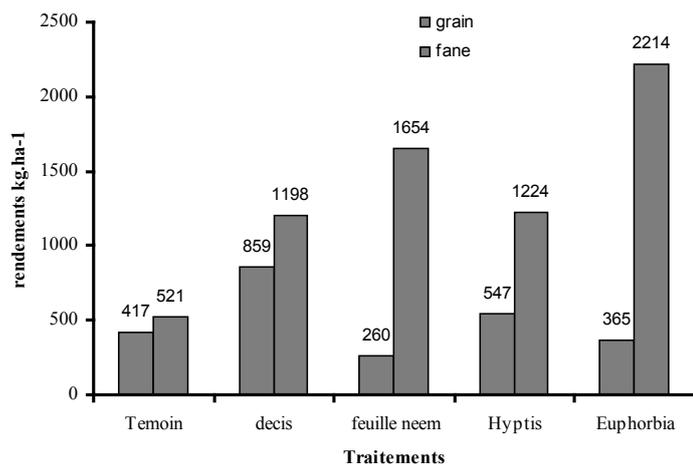


Figure 1: Rendements moyens (kg/ha⁻¹) de grain et de fane du niébé selon les traitements.

et les rendements grains et fanes du niébé. Pour cela: (i) un comptage des insectes ennemis présents sur les plants de niébé a été effectué au stade floraison-formation de gousses (période où pullulent les prédateurs), à quatre jours après la deuxième application. Le choix des plants a été fait dès le stade de levée par démarrage du poquet à un seul plant (les autres poquets ayant trois plants). Le comptage a été fait manuellement sur ces plants (cinq par traitement); (ii) toutes les parcelles ont été récoltées et les poids moyens grains et fanes ont été mesurés et une extrapolation a été faite pour estimer les rendements à l'hectare.

3. Résultats

Les différents extraits aqueux ont eu des effets différentiels sur les populations des insectes ennemis du niébé (Tableau 1). Les parcelles traitées avec les extraits aqueux de *Euphorbia balsamifera* et de *Azadirachta indica* ont produit plus de fanes que de grains (Figure 1).

4. Discussion

Le témoin indique qu'il avait une forte attaque de pucerons et de thrips. Le decis est demeuré le meilleur pesticide. L'extrait à base d'Euphorbia a été efficace sauf sur les thrips. Il est suivi de l'extrait à base de Hyptis; toutefois cet

extrait a montré une efficacité moindre sur les pucerons et les thrips. L'extrait à base de feuille de neem a été le moins performant sur les ennemis du niébé. Les feuilles de neem sont pourtant reconnues comme possédant des substances actives insecticides comme l'azadirachtin (C₃₅H₄₄O₁₆), le salanin (C₃₅H₄₄O₉) et le nimbin (C₃₀H₃₀O₉) (1). Cet auteur précise que les produits du neem sont efficaces sur les insectes des stocks et sur *Spodoptera litura*. C'est ce qui expliquerait sa non performance dans notre cas.

A l'exception du decis il n'y a pas de corrélation apparente entre nombre de parasites et rendements. Les autres facteurs étant homogènes sur tous les traitements, cette situation serait liée à l'action des thrips qui n'attaquent que les fleurs du niébé entraînant une baisse de la production de grains. C'est ce que l'on a observé pour les traitements «neem et Euphorbia» où la pullulation des thrips n'a pas permis d'obtenir de bon rendement en grain mais un rendement élevé en fane. Les coefficients de variation relativement élevés (Tableau 1) indiquent qu'il y avait une grande variabilité du nombre de parasites d'un bloc à l'autre pour le même traitement. La dispersion des blocs expérimentaux dans l'espace pourrait être à l'origine de cette variabilité; les parasites n'étant pas obligatoirement répartis de façon uniforme dans l'espace.

Cette étude rapporte pour la première fois les résultats d'un test d'efficacité d'extraits aqueux de *Euphorbia balsamifera* et de *Hyptis spicigera* comme pesticide en milieu réel.

Il serait intéressant de procéder à des mélanges de produits, de varier les doses des extraits afin d'identifier la meilleure formule comme l'ont montré d'autres travaux (8).

Les données rapportées dans cet article ne peuvent être irréfutables compte tenu du fait que l'expérimentation est limitée dans l'espace et le temps et qu'elle a été conduite en milieu paysan. Par ailleurs, les techniques de pulvérisation et de comptage utilisées ne prétendent pas être irréprochables mais traduisent les difficultés liées aux tests en milieu paysan et notre souci d'être dans les conditions du milieu paysan.

5. Conclusion

Malgré les limites de la démarche, les résultats suggèrent que les vertus pesticides de *Euphorbia balsamifera* et de *Hyptis spicigera* sont avérées vu que le nombre d'insectes présents sur les parcelles traitées avec ces substances est moins élevé par rapport au témoin. En perspective, il serait indiqué d'identifier les principes actifs de *Euphorbia balsamifera* et de *Hyptis spicigera*.

Références bibliographiques

- Behl H.M., 2000, Collection, Processing and commercial utilization of neem. Published by the Fragrance & Flavour Development Centre, Ministry of Industries, Govt. of India, 271 p.
- Chandrashekar K. & Srinivasa N., 2003, Residual toxicity of selected pesticides, against two spotted spider mites *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae) infesting French bean. J. Ent. Res. **27**, 3, 197-201.
- Deuson R. & Day J.C., 1990, Transfer of sustainable technology in dryland agriculture: lessons from the Sahel in the 1980's. In: Agricultural Economics 4, pp. 255-266.

4. Eicher C.K. & Backer C.D., 1984, Etude critique de la Recherche sur le développement agricole en Afrique subsaharienne, IDRC – MR, 100 p.
5. Ibro G., Lowenberg-Deboer J., Reddy K.C., Kadi M. & Maiga S., 1991, Comparaison des méthodes de traitement phytosanitaire de niébé, INRAN, Niamey, 23 p.
6. Ouédraogo E., 2004, L'utilisation des insecticides naturels dans la protection des cultures au Burkina Faso. *Communication faite au CTR de l'INERA Di.* 20-22 déc. 2004 Ouagadougou CEAS, 56 p.
7. Ouédraogo S., 2005, Intensification de l'agriculture dans le plateau central du Burkina Faso: une analyse des possibilités à partir des nouvelles technologies. Thèse de Doctorat, Groningen Rijksuniversiteit, 317 p.
8. http://www.nbri-ko.org/randdarea/biomassbiology/MRBEHL_Biopesticide.htm

D. Bambara, Burkinabè, Maîtrise des Sciences et Techniques du Développement Rural: Option Agronomie. Diplôme d'Ingénieur du Développement Rural: Option Agronomie (mention bien). Ingénieur de Recherche en Gestion des Ressources Naturelles et des Systèmes de Production (GRN/SP) de l'Environnement et de Recherches Agricoles (INERA), 04 BP. 8645, Ouagadougou 04, Burkina Faso.

T.J. Tiemtoré, Burkinabè, CEPE, Technicien de recherche en Gestion des Ressources Naturelles et des Systèmes de Production (GRN/SP), Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles (INERA), 04 BP. 8645, Ouagadougou 04, Burkina Faso.



Second Symposium be-troplive on ***“Integrating livestock in farming systems: A guarantee for sustainable agricultural development”***

The Belgian Platform on Tropical Animal Health and Production would like to invite you for its second Symposium which will take place on Thursday 13th November 2008 at the Gembloux Agricultural University, Belgium. A poster session will allow everybody to elaborate on different aspects of animal health and livestock production in the tropics. For more information, please consult our website:

www.be-troplive.be.

La Plateforme belge pour la santé et la production animale sous les tropiques a l'honneur de vous inviter à participer à son deuxième Symposium avec comme thème ***«Intégration de l'élevage dans les systèmes agricoles: une garantie pour un développement durable»*** qui aura lieu le jeudi 13 novembre 2008 à la Faculté Universitaire des Sciences Agronomiques de Gembloux, Belgique. Une présentation de posters permettra de montrer les différents aspects de la production et de la santé animale sous les tropiques. Pour plus d'information, veuillez consulter notre site web:

www.be-troplive.be.

Influence du feu et du pâturage sur l'évolution de la phytomasse d'une savane à *Heteropogon contortus* de la région de Sakaraha (sud-ouest de Madagascar)

V. Rakotoarimanana¹, M. Grouzis² & E. Le Floc'h³

Keywords: Savanna-Fire- Pasture- Production- South-West Madagascar

Résumé

Une expérimentation factorielle sur le rôle du feu et du pâturage a été conduite dans la région de Sakaraha, au sud-ouest de Madagascar. L'objectif a été d'évaluer les effets conjugués ou séparés du feu appliqué selon trois modalités (sans feu, feu précoce, feu tardif) et du pâturage (protégé, non protégé) sur l'évolution de la biomasse, de la nécromasse et de la phytomasse herbacée d'une savane à *Heteropogon contortus* et *Poupartia caffra*. Cette étude diachronique a permis de montrer (1) l'influence du feu sur l'évolution de la production (retard de la phase de croissance, tendance à l'augmentation de la phytomasse en fin de cycle, phytomasse plus élevée sous feu tardif que sous feu précoce), (2) le rôle du pâturage sur la production (diminution significative de la phytomasse dans les parcelles pâturées, diminution de la contribution des Poaceae au profit de celle des autres familles).

Summary

Effects of Fire and Grazing on Grass Phytomass Evolution in a *Heteropogon contortus* Savanna (Sakaraha Region, South West Madagascar)

An experimental study of the effects of fire and grazing was carried out in the Sakaraha area (S. W. Madagascar). The objectives were to evaluate the combined or separate effects of fire and grazing on the green biomass and total phytomass of a *Heteropogon contortus*-*Poupartia caffra* dominated savanna. Three burning treatments (no burning, early burning and late burning) and two grazing treatments (grazed, ungrazed) were compared. A three-year study showed that (1) both burning treatments led to a delayed vegetation phenophase but a higher standing phytomass at the end of the growth cycle, (2) grazing treatment led to a significant decrease of the standing phytomass and of the contribution of Poaceae.

Introduction

Les savanes sont largement représentées à Madagascar puisqu'elles couvrent 70% du territoire (39). Bien que stationnellement assez riches, elles sont globalement pauvres sur le plan floristique (moins de 5% de la biodiversité) et d'une grande homogénéité physiologique (27, 39). Les savanes jouent néanmoins un rôle économique majeur car elles assurent l'essentiel de l'alimentation des troupeaux dans les systèmes d'élevage extensif.

Malgré que la dynamique de la végétation soit de toute évidence marquée par le passage annuel du feu, qui constitue une pratique courante de gestion de l'espace pastoral, il n'existe que relativement peu de connaissances sur les effets du feu sur la dynamique des savanes à Madagascar, contrairement à la dynamique des systèmes forestiers de l'est (2, 43, 46) et du sud-ouest (25). Les effets du feu sur la dynamique des savanes sont aussi bien abordés en Afrique Sahélo-soudanienne (5, 12, 13, 23, 30, 36, 37, 38).

Ces considérations nous ont conduits à mettre en place une étude expérimentale sur l'influence du feu et du pâturage sur l'évolution de la phytomasse herbacée épigée d'une savane à *Heteropogon contortus* (L.) P. Beauv. ex Roem. & Shult. (4), plus précisément d'une variante sèche de cette savane (39). Celle-ci couvre une surface équivalente aux 2/3 de la région sud-ouest et constitue un ensemble physiologiquement varié mais possédant en commun certaines analogies floristiques dont la principale est une strate graminéenne à base de *Heteropogon contortus*. La strate ligneuse est principalement constituée par *Poupartia caffra* H. Perrier, *Gymnosporia linearis* (L.f.) Loes, *Stereospermum euphorioides* DC.

Par ailleurs, l'établissement d'une gestion rationnelle (préservation de la production en fonction de l'année, allongement de la disponibilité fourragère) des savanes constitue le souci majeur de tous les gestionnaires des systèmes d'élevage qu'elles occupent. Cela nécessite une connaissance approfondie de leur production. Nous avons tenté d'apporter quelques éléments de réponse à ces questions.

Les hypothèses que nous cherchons à vérifier sont les suivantes: la modification de la production n'est pas seulement due au feu mais aussi à l'interaction avec la pression de pâturage; le feu affecte la composition de la végétation et la production de la phytomasse herbacée épigée; le pâturage, par le prélèvement par les animaux, diminue la production de phytomasse herbacée épigée.

Les résultats présentés dans ce travail portent plus particulièrement sur l'évolution de la phytomasse, de la biomasse et de la nécromasse au cours d'une étude diachronique de trois ans.

Méthodes

1. Site d'étude

Le site d'étude se trouve dans la partie méridionale de la plaine sédimentaire du sud-ouest de Madagascar, au sud du village de Beba Manamboay (S 22°49'30" et E 44°35'35") et à une dizaine de kilomètres au nord de Sakaraha, dans la province de Toliara (Figure 1).

Les précipitations annuelles moyennes à Sakaraha, la station météorologique la plus proche de notre site d'étude, s'élèvent à 854 mm et se répartissent sur une moyenne annuelle de 64 jours de pluies pour la période 1935-1999 (42) et d'après

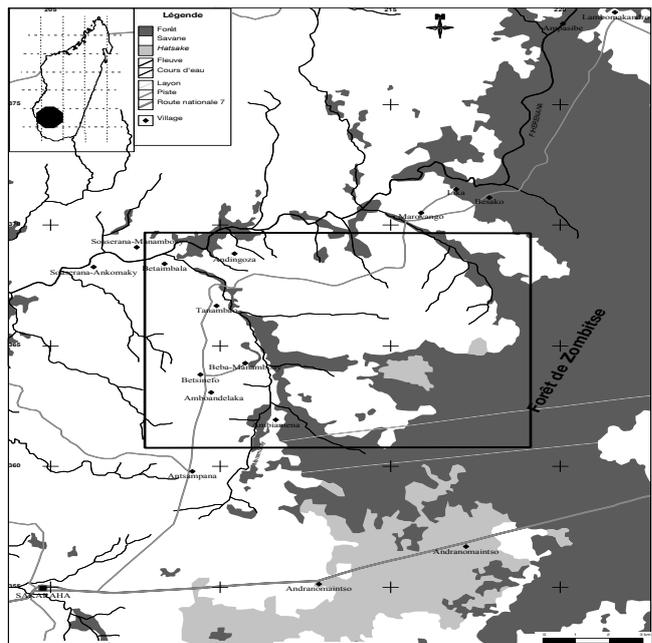


Figure 1: Localisation de la zone d'étude.

¹CNRE/IRD, BP.1739, 101 Antananarivo, Madagascar. ²IRD, BP. 434, 101 Antananarivo, Madagascar. ³CNRS/CEFE, F-34293 Montpellier, Cedex 5, France. Reçu le 08.02.06 et accepté pour publication le 14.02.07.

la Météorologie Nationale. Le cycle pluviométrique est caractérisé par une saison pluvieuse (novembre à mars) qui reçoit près de 90% des précipitations et une longue saison sèche (avril-octobre) pendant laquelle les précipitations mensuelles sont inférieures à 50 mm. Le déficit hydrique climatique cumulé annuel atteint 476 mm (7).

Les données du tableau 1 illustrent les variations mensuelles des précipitations des trois années d'expérimentation et de la moyenne mensuelle sur la série 1935-1999.

Il apparaît tout d'abord que les précipitations des 3 années d'expérimentation sont largement excédentaires par rapport à la moyenne de la série 1935-1999 (en moyenne plus de 60%). Le mois le plus pluvieux est le mois de janvier sauf en 1998 où c'est le mois de février.

L'année à saison pluvieuse la plus précoce est l'année 1998. En effet dès septembre, les précipitations sont supérieures à 50 mm puis elles restent moyennes à faibles jusqu'au mois de janvier.

L'année 1999 est celle qui présente la saison pluvieuse la plus tardive: la station ayant reçu 170 mm au mois de mars contre moins de 14 à 70 mm pour les autres années. C'est l'année pour laquelle la répartition est la plus conforme à la moyenne (répartition normale) avec cependant des précipitations mensuelles supérieures.

Les précipitations sont en 2000 semblables à celles de 1999 avec cependant un déficit en décembre. L'année 1999 est donc la meilleure année du point de vue pluviométrique (répartition et la quantité des pluies).

La température moyenne du mois le plus froid (juillet) est de 18 °C et celle du mois le plus chaud (janvier) de 26,5 °C, pour une moyenne annuelle des températures moyennes est de 23 °C (41).

L'ensemble de ces données caractérise un climat de type sub-aride (7, 16).

La région appartient au paysage des «dômes sableux» dans le domaine de l'Isalo (48). Les sols sont du type ferrugineux tropicaux peu ou pas lessivés (32). Ils sont généralement à texture sablo-argileuse à limoneuse et à structure massive à débit polyédrique anguleux. La teneur en carbone du sol diminue de 5 à 2 mg/g de la surface jusqu'à 150 cm de profondeur et celle de l'azote de 0,4 à 0,2 mg/g. Le pH moyen du sol est de 6,5. L'enracinement est faible mais par contre l'activité biologique du sol est considérée comme élevée du fait de la présence de nombreuses termites.

2. Dispositif

Le dispositif expérimental (Figure 2) a été mis en place en juillet 1997. Il consiste en une expérience factorielle organisée en blocs aléatoires complets avec parcelles divisées. Les facteurs étudiés et leurs modalités sont:

- le feu à trois modalités: sans feu, feu précoce effectué en début de saison sèche (juillet) et feu tardif provoqué en fin de saison sèche (octobre),
- le pâturage à deux modalités: pâturé et non pâturé.

Tableau 1
Variations mensuelles des précipitations (P: Précipitations; nj: nombre de jours) des trois années d'expérimentation et de la moyenne interannuelle sur la série 1935-1999

Mois	1998		1999		2000		Moyenne (1935-1999)	nj
	P (mm)	nj	P (mm)	nj	P (mm)	nj		
J	0	0	0	0	0	0	4,9	1
A	0	0	0	0	5,3	1	7,7	1
S	82	5	0	0	0	0	9,4	1
O	93	4	18,5	3	17,5	2	32,9	3
N	122	7	201,1	7	197,3	7	79,1	6
D	110	8	381,2	15	161	9	167,7	11
J	334,3	20	727,6	19	762,8	21	219,4	13
F	585,8	22	238,3	9	307,2	14	164,8	11
M	65,7	4	170,2	6	69,3	8	115,9	9
A	87,1	4	10,2	2	7,7	1	27,1	3
M	0	0	0	0	3,2	2	16,2	3
J	2,5	1	1,5	1	0	0	8,9	2
Total	1482,4	75	1748,6	62	1531,3	65	854,2	64

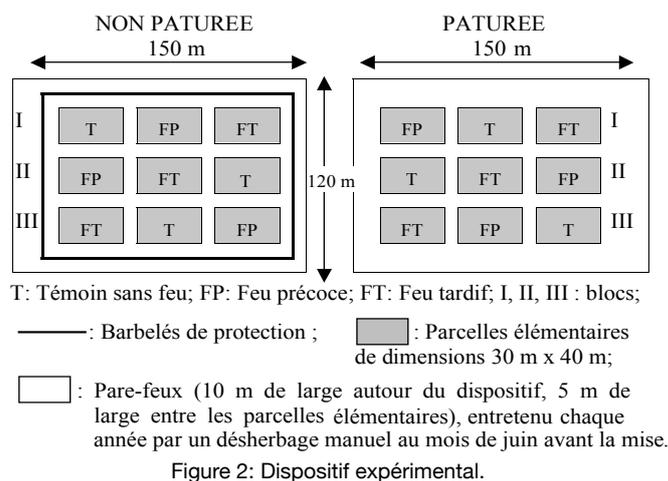


Figure 2: Dispositif expérimental.

Deux essais sont menés suivant les niveaux du facteur pâturage. Chaque essai est subdivisé en trois blocs. Chacun de ces blocs étant eux-mêmes subdivisés en trois parcelles élémentaires de 30 m x 40 m chacune, auxquelles ont été affectés de façon aléatoire (randomisation complète) les trois niveaux du facteur feu. L'essai non pâturé est clôturé pour une protection intégrale contre l'influence des animaux. Un élevage extensif de zébus caractérise l'essai pâturé. La charge est évaluée à 2.180 UBT entre juin et fin octobre et 1.720 UBT entre novembre et fin mai, ce qui correspond respectivement à une capacité de charge de 4 ha.UBT⁻¹ et 3 ha.UBT⁻¹. Les troupeaux sont constitués de 66% d'adultes, 20% de jeunes de 1 à 3 ans et de 14% de veaux de moins de un an (45).

L'homogénéité de cette zone a été testée au début de l'expérimentation aussi bien sur les paramètres biotiques (densité des ligneux) que sur les paramètres abiotiques (perméabilité, compacité) (44). Les observations ont été menées pendant trois années consécutives.

3. Paramètres

Recouvrement global (Rg)

Le recouvrement global a été évalué par la méthode des relevés linéaires (1) le long de deux lignes de 10 m, parallèles situées au milieu de la parcelle (observations tous les 20 cm, soit un échantillonnage de 100 points par parcelle et de 300 points par traitement).

Phytomasse épigée herbacée

Nous appelons phytomasse épigée totale le poids, exprimé en matière sèche, de la matière vivante (biomasse) et de la matière morte sur pied (nécromasse) (8).

La production correspond à la quantité de matière végétale par unité de surface et la productivité à la quantité de matière végétale par unité de surface et par unité de temps.

Une estimation de la production annuelle a été faite au moment du maximum de végétation. Elle est en fait une valeur par défaut (3, 20).

La détermination de la phytomasse épigée totale, est faite par la méthode de la récolte intégrale (33: 10 répétitions de 0,25 m² par parcelle soit 30 échantillons par traitement).

En 1999, année exceptionnellement pluvieuse, une forte hétérogénéité de la répartition spatiale de la phytomasse herbacée a été observée en relation avec une forte production sous couvert ligneux et une faible production des plages de végétation dominées par des espèces telles que *Euphorbia hirta* L., *Tridax procumbens* L. Afin de prendre en compte cette hétérogénéité, un échantillonnage stratifié a été utilisé. Ainsi, 10 échantillons ont été répartis dans chacune des strates observées: hors couvert ligneux, sous couvert ligneux et zone de faible production. La proportion de chaque strate a ensuite été estimée pour établir le bilan global.

Les résultats sont exprimés en poids de matière sèche (séchage à 85 °C jusqu'à poids constant). Les données ont été soumises à une analyse de variance et les moyennes comparées à l'aide du test de Newman-Keuls (11).

Afin de déterminer la contribution de quelques catégories de végétaux à la production, nous avons procédé à un tri portant sur les *Poaceae*, les *Fabaceae* ainsi que des autres familles et ce pour 15 échantillons par traitement.

La mesure de la production herbacée a été effectuée pendant 3 années consécutives au pic de végétation (mois d'avril). Le

Tableau 2
Evolution du recouvrement, de la phytomasse et de la biomasse herbacée d'une savane à *Heteropogon contortus* au cours des trois années d'expérimentation dans la région de Beba-Manamboay

	Recouvrement (%)			Phytomasse totale (t.ha ⁻¹)			Biomasse (t.ha ⁻¹)		
	1998	1999	2000	1998	1999	2000	1998	1999	2000
Protégé									
Témoin	80 ^a	83 ^a	67,33 ^a	2,55 ^a	2,27 ^a	1,64 ^c	-	1,40 ^{ab}	1,37 ^c
Feu précoce		51 ^b	76,67 ^a		1,07 ^{cd}	2,98 ^c		1,01 ^{bc}	2,61 ^a
Feu tardif	73 ^a	65 ^{ab}	73,33 ^a	1,83 ^{ab}	1,80 ^{ab}	2,39 ^b		1,73 ^a	2,11 ^b
Non protégé									
Témoin	80 ^a	77 ^{ab}	79,33 ^a	1,54 ^{ab}	0,68 ^d	1,47 ^c	-	0,56 ^{cd}	1,33 ^c
Feu précoce		61 ^{ab}	69,67 ^a		0,42 ^d	1,35 ^c		0,40 ^d	1,27 ^c
Feu tardif	72 ^a	56 ^b	58,33 ^a	0,87 ^b	1,42 ^{bc}	1,71 ^c		1,37 ^{ab}	1,54 ^c
Probabilité									
Théorique	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	-	0,05	0,05
Feu	0,17 NS	0,00 HS	0,23 NS	0,00 HS	0,00 HS	0,00 HS	-	0,00 HS	0,00 HS
Pâturage	0,89 NS	0,69 NS	0,41 NS	0,00 HS	0,00 HS	0,00 HS	-	0,00 HS	0,00 HS
Interaction	0,89 NS	0,26 NS	0,04 S	0,83 NS	0,01 S	0,00 HS	-	0,34 NS	0,00 HS

Les traitements suivis d'une (ou des) même(s) lettre(s) en colonne constituent un groupe statistiquement homogène, au seuil de probabilité 0,05, selon le test de Newman-Keuls.

Les significations statistiques de l'analyse de variance sont NS: non significatif, S: significatif et HS: hautement significatif (p= 0,01).

maximum de la biomasse coïncide habituellement avec la floraison et le début de la fructification des *Poaceae*.

Les variations saisonnières de la phytomasse ont été suivies pendant le cycle 1999 avec un pas de temps décadaire. Cette étude permet de compléter l'information obtenue au moment du maximum de végétation et de comparer les variations simultanées de la biomasse, de la nécromasse et de la phytomasse au cours d'un cycle de végétation.

Résultats

1. Evolution interannuelle du recouvrement global et de la phytomasse herbacée épigée

Les résultats de l'analyse de variance relative au recouvrement et à la phytomasse épigée de la strate herbacée, au maximum de végétation au cours des trois années d'expérimentation, sont présentés dans le tableau 2.

Des variations interannuelles du recouvrement et de la phytomasse ont pu être notées. Le recouvrement et la phytomasse les plus faibles ont été mesurés au cours de la deuxième année. Cette caractéristique peut être reliée au niveau de la répartition des précipitations au cours de cette année.

Des variations interannuelles des effets du feu et du pâturage sur le recouvrement et la phytomasse ont également été mises en évidence. C'est ainsi que le feu n'a pas d'effet significatif sur le recouvrement en 1998 et 2000, mais le diminue de manière hautement significative en 1999 [de 83% à respectivement 51% (feu précoce) et 65% (feu tardif) en conditions protégées et de 77% à respectivement 61% (feu précoce) et 56% (feu tardif) en conditions non protégées].

Contrairement aux résultats de 1998, le feu augmente de façon hautement significative la phytomasse et la biomasse en 1999 (notamment le feu tardif) et en 2000 (feux tardif et précoce). Pour ce qui concerne le pâturage, il apparaît qu'il n'a pas d'effet sur le recouvrement quelle que soit l'année d'expérimentation. Il réduit significativement la phytomasse (1998) et diminue de manière hautement significative la phytomasse et la biomasse en 1999 et 2000.

Notons enfin que l'interaction de l'effet entre les facteurs feu et pâturage sur le recouvrement et la phytomasse n'apparaît qu'au cours du cycle 2000.

2. Evolution saisonnière de la phytomasse herbacée en 1999

L'examen des variations des différents paramètres de production au cours du cycle de végétation de l'année 1999 (Figure 3) permet de compléter l'information obtenue au moment du maximum de végétation.

En ce qui concerne la biomasse herbacée épigée, la figure 3(A) montre que:

- dans les conditions protégées, les feux retardent le démarrage de la végétation: la croissance dans les parcelles soumises aux feux précoce et tardif ne s'établit réellement qu'à compter de la mi-février, c'est-à-dire en plein cœur de la saison des pluies. En fin de saison de végétation, la biomasse des parcelles soumises au feu tardif tend à être

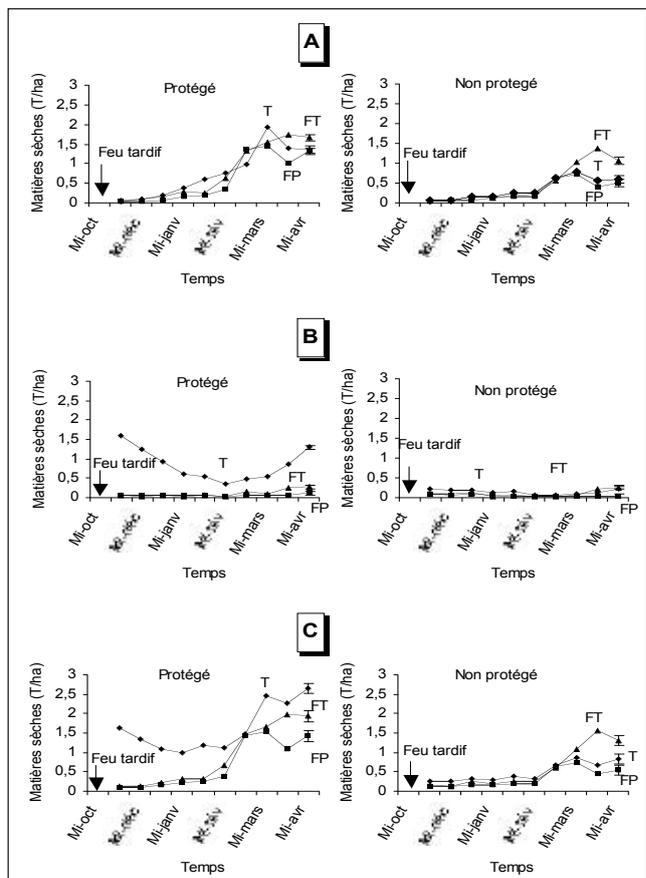


Figure 3: Evolution saisonnière de la biomasse (A), de la nécromasse (B) et de la phytomasse totale aérienne (C), exprimées en t_{MS}.ha⁻¹ au cours de l'année 1999, pour les différents traitements.

T: témoin; FP: feu précoce appliqué à la mi-juillet 1998; FT: feu tardif appliqué à la mi-octobre 1998.

supérieure à ce qu'elle est dans les autres traitements. En conditions non protégées, les variations de biomasse sont comparables dans le témoin et dans le feu précoce. Celle correspondant au feu tardif commence à être plus élevée dès la mi-mars. Cette situation devient encore plus évidente en fin de saison.

- les résultats relatifs aux parcelles soumises au feu précoce sont dans l'ensemble inférieurs à ceux obtenus sous feu tardif.

En conditions protégées, l'accumulation de nécromasse dans le témoin est largement supérieure à celles des feux précoce et tardif (Figure 3B). Elevée à la fin de la saison sèche (1,5 t.ha⁻¹ en octobre), elle diminue de 67% au cours de la saison

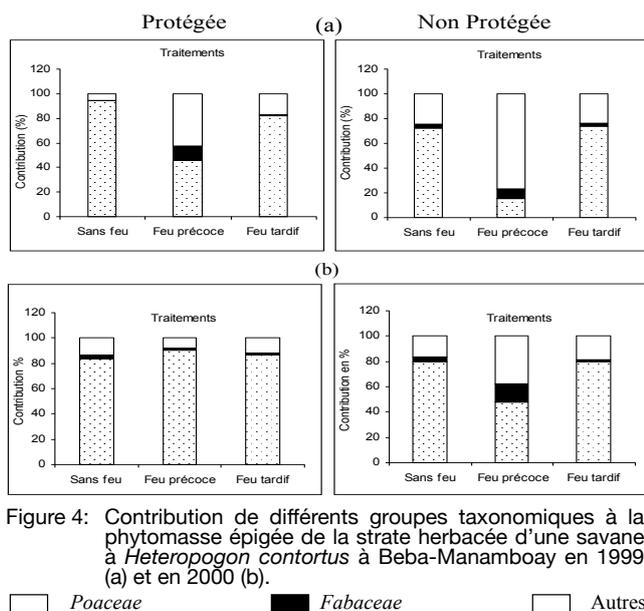


Figure 4: Contribution de différents groupes taxonomiques à la phytomasse épigée de la strate herbacée d'une savane à *Heteropogon contortus* à Beba-Manamboay en 1999 (a) et en 2000 (b).

□ Poaceae ■ Fabaceae □ Autres

des pluies jusqu'en mars pour croître ensuite au début de la saison sèche (avril). Aucune différence n'est décelable dans les variations de la nécromasse des différents traitements feux en conditions non protégées.

La phytomasse épigée du témoin en zone protégée (Figure 3C) est supérieure à celles des parcelles soumises au feu, en raison essentiellement de l'accumulation de la nécromasse. Par contre, en conditions non protégées, l'évolution de la phytomasse épigée suit celle de la biomasse épigée.

3. Contribution de quelques groupes taxonomiques à la phytomasse herbacée épigée

La figure 4 représente en fonction du feu et du pâturage les variations de la contribution de différents groupes taxonomiques à la phytomasse en 1999 et 2000.

Quelles que soient les conditions de pâturage, la contribution des *Poaceae* est plus élevée (90 à 95%) dans les traitements sans feu et feu tardif que celle des *Fabaceae* et des autres familles. Les *Poaceae*, presque exclusivement constituées de *Heteropogon contortus*, présente une qualité fourragère excellente au cours de la phase de croissance (MAD/UF ~109) de décembre à fin février. Cette qualité se dégrade rapidement dès le stade floraison fructification (MAD/UF: 46 à 2 de mars à octobre) (44, 45).

Le feu précoce diminue généralement la contribution des *Poaceae* au profit des autres familles dont les *Fabaceae* exception faite pour l'année 2000 en conditions protégées.

Le pâturage diminue la contribution des *Poaceae* quel que soit le type de feu appliqué. C'est dans le cas de feu précoce que cette diminution est la plus forte au profit des *Fabaceae* et des autres familles (*Euphorbia hirta* L., *Tridax procumbens* L., *Anthospermum thymoides* Baker).

Cette augmentation de la proportion des *Fabaceae* peut être considérée comme favorable en raison de la plus grande richesse en azote de ces espèces. Il nous faut cependant modérer cet effet dans la mesure où la biomasse totale des herbages soumis à un feu précoce est inférieure à celles obtenues dans le témoin et le feu tardif.

En ce qui concerne la variation interannuelle, la contribution à la phytomasse sur pied de chaque groupe végétal n'évolue pas beaucoup entre 1999 et 2000 (Figure 3) dans le cas du témoin sans feu et du feu tardif quelles que soient les conditions de pâturages. Dans ces mêmes conditions, le feu précoce détermine par contre une augmentation de la contribution des *Poaceae*.

Discussion

L'analyse des variations de la phytomasse au cours du cycle de végétation a permis de mettre en exergue certaines tendances, notamment:

- les feux précoce et tardif retardent la croissance qui ne s'établit qu'au milieu de la saison des pluies dans nos

conditions d'observation (évaluation faite au cours de la saison de végétation). En fait, le feu précoce provoque des repousses qui n'ont pas été comptabilisées dans notre étude.

- le feu tardif augmente la phytomasse et la biomasse de la strate herbacée épigée en fin de saison de végétation, à l'exception évidemment de la parcelle protégée où la phytomasse du témoin est largement supérieure en raison de l'accumulation de la nécromasse.

De nombreux auteurs ont tenté de cerner l'influence du feu sur la production herbacée. La production est plus importante dans les savanes non soumises au feu (35, 49). Des résultats similaires ont été obtenus par d'autres auteurs (13). Par contre, pour différentes zones écologiques du monde, le passage du feu stimule la production (14, 21, 26, 28, 31).

Lorsqu'il est démontré que le feu favorise la croissance, les avis sont de nouveau contradictoires quand il s'agit de déterminer l'effet de la date de la mise à feu. Ainsi, c'est le feu tardif qui induit une meilleure production (1, 17, 40, 47), car il est en général suivi par l'établissement de la période des pluies régulières (6), qui autorise une croissance rapide des repousses. Pour d'autres auteurs, c'est le feu précoce qui est plus favorable car il accroît la durée de la phase de croissance active de la végétation (35). Cette proposition ne nous semble acceptable que dans la mesure où le feu précoce ne soit pas trop éloigné du début des pluies efficaces car les rares pluies d'hiver et les précipitations occultes sont insuffisantes pour assurer une croissance normale. Dans nos conditions d'observation, c'est le feu tardif qui semble être le plus favorable.

L'effet du pâturage sur la phytomasse de la strate herbacée est moins complexe. La phytomasse herbacée totale sur pied au pic de végétation est significativement plus importante en conditions non pâturées qu'en conditions pâturées. Nous vérifions ainsi un résultat largement obtenu au Burkina Faso (18, 24), au Mali (13), en Nouvelle Zélande (34), au Cameroun (15). Les résultats qui portent sur la production (quantité de matières sèches sur pied) sont attendus, car une partie de la phytomasse consommée par les animaux domestiques et une autre partie piétinée, enfouie et décomposée, ne sont pas prises en compte dans les mesures. En terme de productivité, les résultats correspondant aux deux situations auraient pu différer en raison notamment de la stimulation de la croissance des espèces pérennes par le broutage (9).

Globalement, le feu diminue le recouvrement de la végétation. Des résultats comparables ont été rapportés sur les savanes des hauts plateaux malgaches (22) et sur une savane préforestière de Côte-d'Ivoire (37).

De même, le pâturage tend à réduire globalement le recouvrement végétal. Ces résultats corroborent ceux trouvés dans le milieu pâturé nord ivoirien (9). Cependant, ces mêmes auteurs rapportent que le pâturage peut avoir un effet stimulant sur les plantes. Les différentes espèces réagissent en effet de façon particulière au pâturage. Certaines espèces réagissent à la pâture en augmentant le diamètre de leurs touffes, de sorte que le couvert végétal augmente et peut se maintenir à un niveau relativement élevé si le surpâturage peut être évité.

Quelles que soient les conditions de pâturages, nous avons aussi relaté que le feu tardif, comparativement au feu précoce, détermine une forte contribution des *Poaceae* et une faible contribution des *Fabaceae* et des autres familles. Ceci peut s'expliquer d'une part, par le fait que le feu tardif stimule la levée et la repousse des Monocotylédones et d'autre part par le fait que le feu agit sur la composition floristique en modifiant la valeur sélective des espèces en faveur des pyrotolérantes (notamment *Heteropogon contortus*) au détriment des pyrosensibles, ce qui conduit à l'élimination de certaines espèces et au développement des autres (19, 29).

Conclusion

Cette étude qui a porté sur les effets du feu et du pâturage sur la strate herbacée d'une savane à *Heteropogon contortus* dans la région de Sakaraha (sud-ouest de Madagascar) a permis de mettre en évidence les faits suivants:

- les feux diminuent le recouvrement herbacé et provoquent un retard de la phase de croissance notamment dans les conditions non pâturées.
- les phytomasses obtenues en fin de cycle dans les parcelles soumises à un feu tardif ont tendance à être plus élevées que

celles des parcelles soumises à un feu précoce et à celles des témoins.

- ce sont les *Poaceae* qui contribuent le plus à la phytomasse épigée. Cette contribution baisse avec les feux au profit des autres familles surtout les *Fabaceae* dans le cas d'un feu précoce.
- le pâturage tend à réduire le recouvrement végétal dans le témoin et sous feu tardif, et le faire croître sous feu précoce, réduit la quantité de matières végétales produites aussi bien en terme de biomasse que de phytomasse épigée et diminue la contribution des *Poaceae* au profit des autres familles.

La production des savanes à *Heteropogon contortus* est donc influencée par les différentes pratiques de feu et de pâturage. La phytomasse en conditions protégées est toujours plus élevée qu'en conditions pâturées quel que soit le traitement (en moyenne 2 fois tous traitements confondus). Il en est de même de la biomasse. Le rapport de même ordre de grandeur est toutefois moins élevé (1.80). A noter qu'il s'agit de production en fin de saison de végétation et non de productivité ne prenant pas en compte le prélèvement par les animaux. L'intérêt d'un repos temporaire du parcours (rotation mise en défens / exploitation) réside sur son effet de régénération sur le long terme: protection contre l'érosion éolienne pendant la saison sèche, protection

contre l'érosion hydrique et augmentation de l'infiltration au cours des premières averses; relèvement du niveau de fertilité du sol et augmentation de la richesse floristique des pâturages. Cependant ce sont les systèmes non protégés qui sont les plus pratiques et d'ailleurs mis en œuvre par les populations locales.

Un feu tardif engendrera la meilleure production en fin de cycle de végétation et autorisera donc l'alimentation d'un plus grand nombre de bétail pendant la saison sèche.

Un feu précoce favorisera plus la qualité des herbages d'une part par les repousses qu'il provoque au cours de la saison sèche (riches en azote) et d'autre part par la modification du rapport *Poaceae* / *Fabaceae* en faveur de ces dernières. Cependant la production en fin de saison de végétation d'un pâturage soumis à un feu précoce ne représente globalement qu'environ 70% de celle d'un pâturage soumis à un feu tardif. C'est le feu précoce améliore la qualité des herbages et la charge n'est pas limitante dans le secteur d'étude parcourus sans feu qui est le moins performant en conditions non protégées (phytomasse en fin de saison similaire à celle d'un feu précoce, mais de moindre qualité).

Compte-tenu du fait que, l'éleveur pratiquera ce type de feu.

Références bibliographiques

1. Afolayan T.A., 1978, Grass biomass production in a northern Guinea savanna ecosystem. *Oecol. Plant.*, **13**, 4, 375-386.
2. Anonyme, 1997, Un système agro-écologique dominé par le Tavy: la région de Beforona, falaise est de Madagascar. Cahier «Terre-Tany», 6, 153 p.
3. Bille J.-C., 1977, Etude de la production primaire nette d'un écosystème sahélien. Travaux et documents de l'ORSTOM, Paris, 65, 81 p.
4. Bosser J., 1969, Graminées des pâturages et des cultures à Madagascar. Mémoire ORSTOM, 35, Paris, 440 p.
5. Breman H. & Cissé A.M., 1977, Dynamic of sahelian pastures in relation to drought and grazing. *Ecologia*, **28**, 301-315.
6. Cissé A., 1986, Dynamique de la strate herbacée des pâturages de la zone sud sahélienne. PPS, C.A.B.O., 211 p.
7. Cornet A., 1974, Essai cartographique bioclimatique à Madagascar. Notice explicative, 55, ORSTOM, Paris.
8. Cornet A., 1981, Mesure de la biomasse et détermination de la production nette aérienne de la strate herbacée dans trois groupements végétaux de la zone sahélienne au Sénégal. *Acta Oecologica*, *Oecol. Plant.* **16**, 3, 231-266.
9. Daget P. & Godron M., 1995, Pastoralisme. Troupeaux, espaces et sociétés. HATIER-AUPELF/UREF, 510 p.
10. Daget Ph. & Poissonet J., 1971, Une méthode d'analyse phytologique des prairies, critères d'application. *Ann. Agron.* **22**, 1, 5-41.
11. Dagnelle P., 1980, Les transformations des variables. Théories et méthodes statistiques, Applications agronomiques. Presses Agronomiques de Gembloux, 2, 463 p.
12. Dauget J.M. & Menaut J.-C., 1992, Evolution sur 20 ans d'une parcelle de savane boisée non protégée du feu dans la Réserve de Lamto (Côte d'Ivoire). *Candollea*, **47**, 621-630.
13. Dembélé F., 1996, Influence du feu et du pâturage sur la végétation et la biodiversité dans les jachères en zone soudanienne-nord. Cas des jeunes jachères du terroir de Missira (Cercle de Kolokani), Mali. Institut d'Economie Rurale, Bamako, Mali. CEE/CNRS, France, 179 p.
14. Dhillon S.S. & Anderson R.C., 1993, Production on burned and unburned sand prairies during drought and non-drought years. *Vegetation*, **115**, 51-59.
15. Donfack P., 1998, Végétation des jachères du nord Cameroun. Typologie, diversité, dynamique, production. Thèse de Doctorat des Sciences, Université de Yaoundé 1, 225 p.
16. FOFIFA / ANAE / CIRAD, 1997, Bilan et évaluation des travaux et réalisation en matière de conservation des sols à Madagascar. Atlas des cartes. Projet de conservation des sols.
17. Fournier A., 1987, Cycle saisonnier de la phytomasse et de la production herbacée dans les savanes soudanaises de Nazinga (Burkina Faso). Comparaison avec d'autres savanes ouest-africaines. *Bull. Ecol.* **18**, 4, 409-430.
18. Fournier A., 1994, Cycle saisonnier et production nette de la matière végétale herbacée en savanes soudanaises pâturées. Les jachères de la région de Bondoukuy (Burkina Faso). *Ecologie*, **25**, 3, 173-188.
19. Fournier A., Floret C. & Gnahoua G.-M., 1999, Végétation des jachères et succession post-culturelle en Afrique tropicale. Pp. 123-168 in: Floret, Ch. & Pontanier, R. (Editors). «La jachère en Afrique tropicale. De la jachère naturelle à la jachère améliorée. Le point des connaissances», John Libbey Eurotext, Paris.
20. Fournier A. & Lamotte M., 1983, Estimation de la production primaire des milieux herbacés tropicaux. *Ann. Univ. Abidjan, Série E (Ecologie)*, **16**, 7-38.
21. Frost P.G.H. & Robertson F., 1987, Determinants of tropical savannas. Pp. 93-140 in: Walker B.H. (editor.), IUBS., Monograph series n° 3 IRL Press Ltd.
22. Granier P., 1967, Le rôle écologique de l'élevage dans la dynamique des savanes à Madagascar. Mémoire de Diplôme d'Etudes Supérieures, Université de Tananarive, 78 p.
23. Granier P. & Cabanis Y., 1976, Les feux courants et l'élevage en savane soudanienne. *Rev. Elev. Méd. Vét. Pay. Trop.* **29**, 3, 267-275.
24. Grouzis M., 1988, Structure, productivité et dynamique des systèmes écologiques sahéliens (Mare d'Oursi, Burkina Faso), Coll. Etudes et Thèses, ORSTOM, Paris, 336 p.
25. Grouzis M. & Milleville P., 2001, Modèle d'analyse de la dynamique des systèmes agro-écologiques. Pp. 229-238 in: Razanaka S., Grouzis M., Milleville P., Moizo B. & Aubry C. (Editors), «Sociétés paysannes, transitions agraires et dynamiques écologiques dans le sud-ouest de Madagascar». CNRE/IRD, Antananarivo.
26. Guevara J.C., Stasi C.R., Wuilloud C.F. & Estevez O.R., 1999, Effects of fire on rangeland vegetation in south-western Mendoza plains (Argentina): composition, frequency, biomass, productivity and carrying capacity. *Journal of Arid Environments*, **41**, 27-35.
27. Koechlin J., Guillaumet J.-L. & Morat P., 1974, Flore et végétation de Madagascar. Cramer, Vaduz, 687 p.
28. Koffi V.A., 1982, Etude de quelques facteurs de production d'herbe en savane guinéenne. Deux ans d'observation. Bouaké, CRZ, Note Technique Pât. **10**, 26 p.
29. Lacey C.J., Walker J. & Noble J.R., 1982, Ecology of tropical savannas. Pp. 246-272 in: Huntley B.J. & Walker B.H. (Editors.), *Ecological studies*, **42**, New York.
30. Le Floc'h E., Dembélé F. & Yossi H., 2000, Succession et diversité floristique des jeunes jachères. Influence du feu et du pâturage (zone soudanienne-nord du Mali). Pp. 415-421 in: Floret Ch. & Pontanier R. (Editors.), «La jachère en Afrique tropicale: rôles, aménagement, alternatives». Actes du Séminaire international, Dakar. John Libbey Eurotext, Paris.
31. Le Houérou H.N., 1995, Informe de las Visitas a la Argentina: Octubre-Noviembre 1992 y Setiembre-Noviembre 1995. Mendoza, IADIZA, 26 p.
32. Leprun J.-C., 2000, Compte-rendu de mission à Madagascar. Projet GEREM, 8 p. + annexe.
33. Levang P. & Grouzis M., 1981, Méthodes d'étude de la biomasse herbacée de formations sahéliennes: application à la Mare d'Oursi, Haute-Volta. *Acta Oecologica*, *Oecol. Plant.* **15**, 3, 231-244.
34. McIntosh Peter D., Ralph Allen B. & Neal Scott, 1997, Effects of enclosure and management on biomass and soil nutrient pools in seasonally dry high country, New Zealand. *Journal of Environmental Management*, **51**, 169-186.
35. Menaut J.-C., 1993, Effets des feux de savanes sur le stockage et l'émission du carbone et des éléments-trace. *Sécheresse*, **4**, 4, 251-263.
36. Mitja D., 1992, Influence de la culture itinérante sur la végétation d'une savane humide de Côte d'Ivoire (Booro-Borotow-Touba). Collection Etudes et thèses, ORSTOM, Paris, 270 p.
37. Monnier Y., 1968, Les effets des feux de brousse sur une savane préforestière de Côte-d'Ivoire. Etudes éburnéennes n°9, Abidjan, 260 p.
38. Monnier Y., 1990, La poussière et la cendre: paysage, dynamique des formations végétales et stratégies des sociétés en Afrique de l'Ouest, 2^{ème} éd., Ministère de la coopération et du développement, Paris, 264 p.
39. Morat P., 1973, Les savanes de sud-ouest de Madagascar. Mémoires ORSTOM n° 68, Paris, 235 p.
40. Ola-Adams B.A. & Adegbola P.O., 1982, Effects of burning crop and litter accumulation of derived savanna in the Olokemeji forest reserve pp. 151-159 in: Sanford W.W., Yefusu H. & Ayeni J. (Editors), *Nigerian savannas*, New Bussea, Kainji Lake Research Institute, Nigeria.
41. Oldeman L.R., 1991, An agroclimatic characterization of Madagascar. Technical Paper 21, ISRIC-FOFIFA-IRRI. Annexe I. Agroclimatic database of Madagascar, ISRIC, Wageningen, 64 p.
42. ORSTOM / DMH / CNRE, 1995, Banque de données pluviométriques de Madagascar. Antananarivo, Madagascar.
43. Pfund J.-L., Brand J., Ravoavy L. & Razafintsalama V., 1997, Culture sur brûlis: bilan de nutriments et successions écologiques. Cahier «Terre-Tany», 6, 68-88.
44. Rakotoarimanana V., 2002, Feu, pâturage et dynamique des savanes à *Heteropogon contortus* (L.) P. Beauv. Ex Roem. & Shult. Dans le sud-ouest de Madagascar (Région de Sakaraha). Thèse de 3^{ème} cycle, Université d'Antananarivo, 177 p.
45. Ranaivoarivelo N., 2002, Elevage bovin et exploitation d'un espace agropastoral dans le sud ouest de Madagascar (région de Sakaraha). Thèse, Université de Strasbourg, 259 p.
46. Ravaoarivelo N.H., 1998, Impacts des feux de végétation sur les faciès forestiers dans la région de Beparasy. D.E.A., Faculté des Sciences, Université de Tananarive, 62 p.
47. Sanford W.W., 1982, The effects of seasonal burning: a review. Pp. 160-188 in: Sanford W.W., Yefusu H., Ayeni J. (editors), *New Bussea, Kainji Lake Research Institute, Nigeria*.
48. Sourdât M., 1977, Le sud-ouest de Madagascar. Morphogenèse et pédogenèse. ORSTOM, Paris, 212 p.
49. West O., 1965, Fire in vegetation and its use in pasture management with special reference to tropical and subtropical Africa. *Commonwealth Bur Past Field Crops Report*, **1**, 1-53.

V. Rakotoarimanana, Malgache, Docteur en Ecologie, Chercheur. M. Grouzis, Français, Docteur es Sciences, Chercheur IRD.
E. Le Floc'h, Français, Ingénieur de Recherche, Chercheur CNRS.

LES ACTIONS DE LA DGCD
DGDC'S ACTIVITIES

DE ACTIVITEITEN VAN DE DGOS
LAS ACTIVIDADES DEL DGCD

ROYAL ACADEMY FOR OVERSEAS SCIENCES

Yearly Competitions

Yearly competitions are organized by the three Sections — Moral and Political Sciences, Natural and Medical Sciences and Applied Sciences — of the Academy. Each of these Sections puts two questions forward on specific subjects, which makes a total of six topics open for competition.

All scientists worldwide, without any age restriction, are allowed to take part in the competitions, except for members of the Academy. Any study submitted for the yearly competitions should be an original, recent and unpublished scientific work, reaching at least the level of a PhD thesis.

Each award-winning work will be granted a prize of 1,000 EUR.

Two abstracts regarding the accomplishment of laureates from Kenya and sub-Sahara awarded in 2007 are presented below.

Summary of the raos award work *“Ecological Recovery of Reforested Mangrove Forests in Kenya”*

Jared Bosire*

Mangrove forests support the livelihoods of about 70% of the local population living along the coast by providing wood for construction/fuelwood and support rich fisheries. However, these forests have been overexploited for many years leaving vast areas bare leading to a shortage of wood for construction for the local people, coastal erosion and reduced fisheries productivity. Dr Bosire who is the Program Coordinator, Marine Ecology and Environment Program at KMFRI Mombasa, has been working with a team of colleagues at KMFRI and foreign scientists from Sweden, Belgium and the United Kingdom to determine whether replanted mangroves can grow to function as natural mangroves by providing goods and services available in natural forests

Results obtained from this multidisciplinary work which has been internationally recognised indicate that mangrove reforestation has led to conservation of biodiversity which at the local level has led to increased fisheries productivity, while at the global level contributing to the realisation of the tenets of the Convention on Biological Diversity (CBD). Fisheries form an important natural resource to the local people both for subsistence and revenue generation. Reforestation has also reduced soil erosion thus protecting farmlands and reducing sediment loads, which could otherwise threaten critical habitats namely corals and seagrass beds. Organic material production in these replanted stands has increased nutrient generation leading to high productivity.

From the results obtained, various recommendations for the improved management of mangrove plantations in the country have been given. Increased acreage of mangrove forests will create more employment in the wood industry and enhance fisheries production thus supporting local economies. Many mangrove plantations are normally monospecific making them highly sensitive to environmental perturbations especially to pest attack. The team has recommended establishment of multispecies mangrove stands where ecological conditions allow and currently experimental multispecies trials are going on in Kenya funded by Earthwatch Institute. They have also recommended active community involvement in mangrove reforestation through formation of community based conservation groups as provided for by the current Forest Act 2005. Integration of socio-economic alternatives (e.g. bee-keeping and ecotourism) with mangrove management will not only sustain community interest in mangrove conservation and management, but also improve their livelihoods.

The findings of this work have been published in international journals, and presented in many local and international stakeholder meetings. The work was done within the framework of a Vrije Universiteit Brussel (VUB), Belgium scholarship with research funding from the Western Indian Ocean Marine Science Association (WIOMSA), and the International Foundation for Science (IFS).

* Kenyan, Thesis Vrije Universiteit Brussel, 2006, 135 p.

Epidémiologie moléculaire et contrôle intégré de la trypanosomose bovine en Afrique sub-Saharienne

Molecular epidemiology and integrated control of bovine trypanosomiasis in sub-Saharan Africa

Justin Masumu Mulumbu*

En Afrique sub-saharienne, la trypanosomose demeure une des contraintes qui empêche le développement de l'élevage, particulièrement celui des bovins. Actuellement, beaucoup de stratégies ont été développées pour contrôler cette maladie. Elles concernent notamment la lutte contre la mouche tsé-tsé qui en est le principal vecteur ainsi que l'usage des trypanocides. Cependant, beaucoup de cas de résistance aux trypanocides sont signalés dans plusieurs pays. En plus, la lutte antivectorielle est souvent suivie de la réinvasion des mouches provenant des zones environnantes.

Suite à ces difficultés, un contrôle ciblé de la maladie dans des zones prioritaires a été envisagé. Cette approche a été rendue possible par le fait que, sur le terrain, la maladie se présente sous différentes formes. Dans certaines zones, la maladie prend une forme plutôt endémique où malgré une forte prévalence, l'impact de la maladie sur la production animale est faible. Dans d'autres zones cependant, la maladie est plutôt épidémique et donc plus sévère avec un impact très important sur la production animale. Cependant, les facteurs qui sont à la base de toutes ces différences ne sont pas très bien connus.

En effet, les résultats antérieurs ont pu démontrer que les facteurs relatifs à la glossine (e.g. la densité, le taux d'infection et même l'espèce) ainsi que ceux liés aux bovins (race, état immunitaire, gestion pastorale...) sont susceptibles d'influencer surtout la distribution mais aussi l'expression de la maladie dans différents endroits. Cependant, même dans des endroits où ces différents facteurs sont les mêmes, l'expression de la maladie chez les animaux diffère d'un endroit à un autre. Ceci montre qu'un facteur autre que ceux susmentionnés joue aussi un rôle non négligeable dans l'épidémiologie de cette maladie. C'est pourquoi, dans cette étude, nous avons envisagé d'investiguer le rôle joué par le facteur parasite dans l'épidémiologie de cette maladie.

Pour ce faire, nous avons analysé des isolats de trypanosomes, notamment *Trypanosoma congolense*, que nous avons collecté chez les bovins dans une zone endémique où la maladie avait un faible impact sur la production. Ces isolats ont été caractérisés quant à leur variation génétique dans divers endroits, leur pathogénicité, leur transmissibilité ainsi que l'existence d'interaction entre les différentes souches. Toutes ces études ont été conduites chez la souris.

Les résultats de notre étude ont pu démontrer que non seulement différentes souches de trypanosomes circulaient chez les animaux dans différents endroits, mais en plus ces souches avaient des profils différents de virulence. Dans cette zone, la majorité des souches avaient une faible virulence et une faible transmissibilité. Quant à l'interaction entre ces souches, nous avons constaté que lorsque les souris étaient infectées avec une souche moins virulente, elles bénéficiaient d'une certaine protection contre les effets néfastes des souches virulentes.

Tous ces résultats ont pu mettre en exergue l'implication du facteur trypanosome, notamment la variabilité des souches de trypanosomes circulant chez les animaux à divers endroits, sur l'épidémiologie de la trypanosomose bovine. De ce fait, l'endémicité de la maladie doit être liée à une faible proportion des souches virulentes mais en même temps une forte interaction entre les différentes souches. D'autre part, la sévérité de la maladie telle qu'observée dans des zones épidémiques doit notamment être associée à une forte proportion des souches virulentes couplée avec une faible interaction avec les souches moins virulentes. Ainsi, dans le cadre de la détermination des zones prioritaires pour le contrôle stratégique de la maladie, ces deux paramètres méritent d'être pris en compte. D'autre part, la protection conférée par les souches moins virulentes vis-à-vis des souches virulentes suggère qu'un traitement sélectif d'animaux malades devra être préféré au traitement de masse. Ceci aura par ailleurs pour avantage de réduire le risque lié au développement de la résistance aux trypanocides qui, entre autres raisons, est dû à une fréquence élevée d'utilisation de ces médicaments chez les animaux.

*Justin Masumu Mulumbu, 2006, 64 p., non publié.

PROJET PIC

Envahissement des cuvettes par apports éoliens: processus, impacts et moyens de lutte***

Pays le plus pauvre du monde à l'environnement fragile, le Niger se trouve au cœur de la problématique de la désertification. Un projet PIC s'intéresse de près au phénomène de l'ensablement des cuvettes, des zones de bas-fonds qui représentent pour les populations la source principale de production et de diversification agricole.

Contexte géo-politique

Le Niger vit dans un contexte environnemental très précaire. Les conditions climatiques arides et semi-arides et la pauvreté généralisée des sols préoccupent la population et les instances politiques car elles sont à la base de risques de famine et de dégradation du milieu très importants.

La croissance démographique ne fait qu'accroître ces risques. La population nigérienne était estimée en 2001 à 10.800.000 habitants dont 82% de ruraux. Elle se concentre sur la frange sud du territoire constituant des poches à forte densité, dangereuse pour le milieu. Avec un taux élevé de 3,3%, la croissance démographique moyenne entre 1990 et 2001 dépasse très largement le taux de croissance agricole du pays, estimé à 2,2% durant les dernières années, ce qui signifie un exode rural important.

Sans ressource minière, avec des ressources agricoles limitées en raison du contexte de production très défavorable, le Niger est le pays le plus pauvre du monde.

Ce pays pauvre a certainement besoin de soutiens techniques et scientifiques pour la gestion de son environnement très fragile et très vulnérable. Qui plus est, les moyens financiers dont dispose le pays ne lui permettent pas de proposer des approches coûteuses de remédiation. Toute sa stratégie de maintien de son environnement doit se baser sur un suivi très précis de la dégradation du milieu et un système d'alerte rapide destinés à le prévenir avant qu'il ne soit trop tard.

Problématique

Depuis le début de la « Grande Sécheresse » démarrée à la fin des années soixante, la région sahélienne est devenue progressivement une zone productrice de poussières éoliennes (lithométéores). Les zones dunaires du sud-est nigérien, jusqu'alors fixées par la végétation, se sont progressivement dégradées suite aux effets conjugués des sécheresses et aux actions anthropiques. Ce processus de désertification amplifié par les activités humaines (déboisement, surpâturage, augmentation des surfaces cultivées) a conduit à la remise en mouvement des dunes.

Cela a eu pour conséquence un ensablement des cuvettes, ces zones de bas-fonds, sources principales de production et de diversification agricole dans ces régions à potentialités agricoles très réduites.

Zone d'étude: géographie et climat

La zone d'étude du projet se trouve sur un vaste plateau sableux dont l'altitude varie de 300 à 400 mètres et situé dans la région de Gouré, à environ 1 200 km à l'est de Niamey, capitale du Niger. Ce plateau est constellé de petites dépressions assez profondes et plus ou moins circulaires – les cuvettes – et de bas-fonds allongés.

Sur le plan climatique cette région se caractérise par un climat de type sahélien *sensu stricto* avec une pluviosité annuelle comprise entre 200 et 400 mm. Le climat s'y caractérise par une longue saison sèche (9 à 10 mois/an), suivie d'une saison des pluies aux précipitations courtes mais violentes et typiquement mal réparties dans le temps.

L'imminence d'une catastrophe écologique

Dans l'arrondissement de Gouré, on recensait près de 900 cuvettes en 1977. Aujourd'hui il en reste encore 318 en activités. Ces pertes en terre agricole sont d'autant plus graves que leur productivité était élevée par comparaison avec les terres alentour. Ces pertes de moyens de production ont conduit à une baisse des revenus agricoles. La pauvreté n'a cessé de s'accroître, menant à l'inévitable exode rural. L'arrondissement de Gouré est actuellement proche d'une catastrophe écologique et sa population ne cesse de s'appauvrir.

Objectifs généraux et méthodologie générale

Si, aujourd'hui, l'abandon des cuvettes est lié davantage à une baisse du niveau des nappes phréatiques – à la suite de la réduction des précipitations dans la région – qu'à un problème d'ensablement, il convient de s'attarder très sérieusement sur ce dernier aspect car il pourrait condamner définitivement des zones susceptibles de redevenir productives lors d'une prochaine phase plus humide que connaîtra la région sahélienne.

Mieux comprendre l'ensablement

Ce projet vise à mieux comprendre les processus qui sont à la base des apports éoliens responsables de l'ensablement des cuvettes. L'approche combine les relevés de terrain, les informations météorologiques et les données spatiales fournies par photos aériennes et images satellites. L'étude vise également à comprendre l'impact des processus éoliens dans les changements de fertilité des sols. Enfin le projet étudie l'efficacité des techniques de fixation des dunes et contribue à l'amélioration des méthodes de fixation biologique. Ces différentes recherches, effectuées à différentes échelles d'espace et de temps et de façon interdisciplinaire, fournissent à l'ensemble des partenaires des informations précieuses et de nouvelles connaissances pour leur permettre de renforcer leur lutte contre ce fléau.

Renforcer l'université partenaire

L'objectif à terme est aussi de faire de l'Université Abdou Moumouni de Niamey un centre d'excellence dans le domaine de la lutte contre la désertification et en particulier dans la maîtrise des processus éoliens intervenant dans le problème plus vaste de la désertification.

Résultats

Le projet, démarré le 30 juin 2003 est aujourd'hui dans sa dernière année d'exécution. À ce stade, deux étudiants de DEA et neuf étudiants ingénieurs ou « maîtrisants » ont défendu leur mémoire de fin d'études. Les deux étudiants doctorants poursuivent leurs travaux de recherche selon le programme établi dans un contexte très favorable en termes de moyens matériels et d'encadrement mis en œuvre dans le cadre du projet.

D'un point de vue scientifique, la zone a été décrite très précisément au niveau de sa climatologie, plusieurs espèces d'arbustes ont été identifiées comme pouvant potentiellement convenir aux techniques de fixation biologique des dunes dans cette région; l'efficacité des techniques de fixation mécanique des dunes dans la réduction des flux de sédiments par transport éolien a été mesurée et modélisée.

L'hydrologie de la zone, en particulier le suivi de la hauteur des nappes, a permis de mieux comprendre l'impact des activités anthropiques sur leur fluctuation et l'apport de la télédétection dans le suivi de la dynamique environnementale a été précisé.

Un certain nombre de tâches doivent encore être terminées notamment celles qui concernent l'évolution de la fertilité des sols suite à l'érosion éolienne, l'impact de la rhizosphère associée aux plantations et l'analyse socio-économique de la problématique étudiée.

Retombées locales...**... sur les populations**

Le thème du projet est hautement prioritaire pour le Niger et même pour l'ensemble de la région sahélienne. Le contexte physique extrêmement défavorable conjuguant climat aride et sols très peu fertiles allié aux difficultés économiques du pays et à sa croissance démographique galopante imposent la protection des rares zones à haute potentialité de production agricole. C'est le cas des cuvettes situées en zone aride qui permettent de garantir des revenus stables dans des régions très défavorisées et qui, de la sorte, maintiennent les populations rurales dans leurs villages.

... sur l'université partenaire

À l'issue du projet, quatre personnes pourront venir renforcer le potentiel scientifique de l'Université Abdou Moumouni de Niamey. Du matériel de terrain (stations météo, capteur de particules éoliennes, matériel en physiologie végétale,...) et de traitement d'information (ordinateurs et logiciels de traitement) acheté dans le cadre du projet leur servira également à poursuivre leurs travaux au-delà du terme de ce projet.

Les acquis scientifiques vont également pouvoir être valorisés dans les différents enseignements des facultés impliquées. Enfin, il appartiendra à l'Université de Niamey, forte de sa nouvelle expertise, de répondre à des appels d'offres nationaux et internationaux, seule ou en réseau avec les partenaires de ce projet et/ou avec d'autres partenaires étrangers, dans le domaine de l'érosion éolienne, afin de garder et de renforcer son statut de centre d'excellence.

Bernard Tychon

Professeur à l'ULg,
Département des Sciences et Gestion de l'Environnement
bernard.tychon@ulg.ac.be

Le projet en bref**Institution partenaire**

Université Abdou Moumouni de Niamey, Niger

Promoteur local

Dr Karimou Ambouta, UAM,
Faculté d'Agronomie, Niamey, Niger

Coordonnateur belge

Dr Bernard Tychon, ULg

Partenaires belges

Prof. Charles Biolders, UCL
Prof. André Ozer, ULg
Prof. Roger Paul, FUSAGx
Dr Pierre Ozer, ULg

***Cette étude a été publiée dans l'Echosud⁽⁴⁾, Bulletin trimestriel de la Commission Universitaire pour le Développement (CUD), mars 2007, projet PIC, pp. 6-7.

ORGANISATION

Nature de l'entité responsable de la publication et objet de la revue TROPICULTURA

Agri-Overseas a.s.b.l. est une association créée dans le but d'établir des relations professionnelles d'intérêts communs entre tous ceux qui oeuvrent pour le développement rural outre-mer. Elle publie la revue scientifique et d'information «Tropicultura» consacrée aux problèmes ruraux dans les pays en développement. Cette revue est éditée trimestriellement avec le soutien financier de la Direction Générale de la Coopération au Développement (D.G.C.D.), Service public Fédéral Affaires étrangères, Commerce extérieur et Coopération au Développement, et celui de la région Bruxelles-Capitale. Elle bénéficie du patronage scientifique de l'Académie Royale des Sciences d'Outre-mer de Belgique (ARSOM).

Agri-Overseas a.s.b.l. se compose de membres individuels et des institutions belges suivantes: l'Académie Royale des Sciences d'Outre-mer de Belgique (ARSOM), les quatre Facultés en Sciences agronomiques de Belgique, (Gembloux, Gent, Leuven et Louvain-La-Neuve), les deux Facultés en Médecine vétérinaire (Gent et Liège), le Département de Santé animale de l'Institut de Médecine Tropicale d'Anvers (Antwerpen), la Section Interfacultaire d'Agronomie de l'Université Libre de Bruxelles, les Facultés Universitaires de Notre Dame de la Paix (Namur), le Département des Sciences et gestion de l'environnement de l'Université de Liège (Arlon), et la Direction Générale de la Coopération Internationale.

Conseil d'administration

Le conseil d'administration d'Agri-Overseas a.s.b.l. est composé du Professeur Dr J. Vercruysse, Président; du Professeur Dr Ir G. Mergeai, Administrateur Délégué; du Dr E. Thys, Secrétaire; du Professeur Dr B. Losson, Trésorier; du Dr S. Geerts, membre; et du Professeur Honoraire Dr Ir J. Hardouin, membre.

Comité de rédaction

Le comité de rédaction de Tropicultura est constitué du Professeur Dr Ir G. Mergeai, Rédacteur en Chef, et des Rédacteurs délégués suivants: le Professeur Dr J.-P. Dehoux pour «la Production animale et le Gibier», le Dr D. de Lame pour la Sociologie, le Professeur Honoraire Dr Ir F. Malaisse pour la «Foresterie et l'Écologie», le Professeur Emerite Dr J.-C. Micha pour «les Pêches et la Pisciculture», le Professeur Dr E. Tollens pour «l'Économie rurale», le Professeur Dr Ir P. Van Damme pour «l'Agronomie», le Professeur Dr Ir E. Van Ranst pour les «Sciences du sol», le Professeur Dr J. Vercruysse et le Dr E. Thys pour «la Santé Animale» et l'lr F. Maes, Collaborateur scientifique. Le secrétariat traite directement les autres sujets relevant de la compétence de la revue (Agro-industrie, systèmes de production, etc...).

Secrétariat de rédaction

11, Rue d'Egmont, B- 1000 Bruxelles – Belgique
Téléphones: ++32.02.540 88 60/ 61; Fax.: ++32.02.540 88 59
Email: ghare.tropicultura@belgacom.net / mjdesmet.tropicultura@belgacom.net /
Website: <http://www.bib.fsagx.ac.be/tropicultura/>

INSTRUCTIONS AUX AUTEURS

Les thèmes des articles publiés dans Tropicultura concernent tout ce qui touche au développement rural et à la gestion durable de l'environnement des régions chaudes de la planète. La priorité est donnée aux articles présentant des sujets originaux, ayant une portée la plus large possible, c'est-à-dire dont le contenu concerne surtout des aspects méthodologiques transposables dans une large gamme d'environnements et de régions du monde. Un accent tout particulier est également mis sur la fiabilité des informations publiées, c'est-à-dire, quand il s'agit de résultats expérimentaux, sur le nombre de répétitions des essais, dans le temps et dans l'espace, qui sont à l'origine des données obtenues.

Les manuscrits seront inédits et n'auront pas été soumis pour publication antérieurement ou simultanément. Ils peuvent être rédigés en une des quatre langues suivantes: anglais, espagnol, français et néerlandais. Les manuscrits sont à adresser au rédacteur en chef par la poste, en trois exemplaires, sous forme de document papier, ou, directement à l'adresse électronique du Secrétariat de rédaction, sous forme de fichiers attachés. Ils seront rédigés en simple face, en double interligne (27 lignes de 60 caractères par page de format DIN A4), avec une marge de 3,5 cm minimum autour de la plage imprimée. Ils comporteront au maximum dix pages de texte (page de couverture, résumés et références bibliographiques non compris).

La page de couverture portera: le titre, le titre abrégé (maximum 55 caractères), les noms et prénoms complets des auteurs, l'adresse professionnelle complète de chacun, les remerciements éventuels. Le nom de l'auteur - correspondant sera marqué d'un «*» et son adresse complétée de ses numéros de téléphone et télécopie, et de son adresse électronique.

Les pages suivant la page de couverture présenteront: (i) les résumés (max. 200 mots) dans la langue du manuscrit et en anglais, précédés du titre traduit et suivis de maximum six mots-clés dans chacune des deux langues; (ii) le corps du texte; (iii) la bibliographie; (iv) seuls trois tableaux numérotés au moyen de chiffres arabes seront admis, (v) les illustrations identifiées sans ambiguïté par un numéro au verso, (vi) les légendes des tableaux et des illustrations. Toutes les pages seront numérotées en continu. Seules trois figures, dessinées de façon professionnelle, seront acceptées. Les photographies seront fournies non montées, bien contrastées sur papier brillant.

Seuls, les coauteurs ayant manifesté par écrit leur accord pour que leur nom figure dans un manuscrit apparaîtront dans la version finale de l'article publié dans Tropicultura. Les accords écrits des coauteurs concernant ce point pourront être transmis au Comité de rédaction sous forme de courrier postal ou électronique. L'agrément de l'organisme de tutelle des auteurs est supposé acquis pour toute publication paraissant dans Tropicultura. Agri-Overseas décline toute responsabilité en cette matière.

La première soumission d'un article à la rédaction pourra se faire sous forme imprimée ou sous forme électronique.

Dans la mesure du possible, après acceptation de l'article pour publication, l'auteur fournira sa dernière version, revue et corrigée, sur disquette (ou sous forme de fichier attaché). Le logiciel Word est recommandé mais une version ASCII ou RTF des fichiers est acceptée.

Le texte sera généralement divisé en introduction, matériel et méthodes, résultats, discussion, conclusions. La subdivision du texte ne dépassera pas deux niveaux. Les sous-titres, très concis, seront composés en minuscules et ne seront jamais soulignés.

Les références seront citées dans le texte au moyen de numéros placés entre parenthèses. En cas de citation de plusieurs références, leurs numéros se succéderont par ordre croissant.

Les références bibliographiques seront données par ordre alphabétique des noms d'auteurs et par ordre chronologique pour un auteur donné. Elles seront numérotées en continu en commençant par le chiffre 1.

Pour les articles de revues, les références comprendront: les noms des auteurs suivis des initiales des prénoms, l'année de publication, le titre complet de l'article dans la langue d'origine, le nom de la revue, le numéro du volume souligné, les numéros de la première et de la dernière page séparés par un tiret.

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

Pour les monographies, les éléments suivants sont essentiels: les noms des auteurs suivis des initiales des prénoms, l'année de publication, le titre complet de l'ouvrage, le nom de l'éditeur, le lieu d'édition, la première et la dernière page du chapitre cité, le nombre total de pages de l'ouvrage. Les comptes rendus de conférences sont traités comme des monographies; de plus, ils mentionneront si possible le lieu, la date de la réunion et le(s) éditeur(s) scientifique(s).

Exemple: 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.

Le comité de rédaction se réserve le droit de refuser tout article non conforme aux prescriptions ci-dessus.

Les articles sont soumis à un ou plusieurs lecteurs choisis par la rédaction et ces lecteurs restent anonymes pour les auteurs.

En cas d'acceptation de l'article, la rédaction exigera un engagement des différents auteurs à céder leurs droits de publication à Tropicultura.

TROPICULTURA

2008 Vol. 26 N° 1

Four issues a year (January- February- March)

CONTENTS

EDITORIAL

Jatropha curcas: what sustainability? (in English)

G. Mergeai 1

ORIGINAL ARTICLES

Edaphological Classification and Evaluation of Three Experimental Sites in the Altiplano Central of Mexico (in Spanish)

B. Govaerts, Martha Gabriela Barrera-Franco, A. Limón-Ortega, P. Muñoz-Jiménez, K.D. Sayre & J. Deckers 2

In vitro Regeneration and Physiological Characterization of Gladiolus (*Gladiolus grandiflorus* Hort.) Somaclonal Variants Tolerant to Low Temperatures (in French)

T. Bettaieb, M. Denden & M. Mhamdi 10

Environnemental Control of Shrimps Communities Structure along a Small West African Basin- Boubo River- Ivory Coast (in French)

G.K. N'Zi, B.G. Gooré, E.P. Kouamélan, T. Koné, V. N'Douba & F. Ollevier 17

Effect of *Eucalyptus citriodora*, *Cupressus lucitanica* and *Tagetes minitiflora* Powders in the Conservation of Maize (*Zea mays*) and Bean (*Phaseolus vulgaris*) in Conditions of Rethy (Democratic Republic of the Congo) (in French)

A. Kaloma, K. Kitambala, N.L. Ndjango, U. Sinzahera & T. Paluku 24

Assessment of the Economic Impact of Glandless Cotton in Ivory Coast (in French)

H.S. Zagbaï, F. Berti & P. Lebailly 28

Effect of Cocoa Tree Mortality on Production Stability in a Private Estate (in French)

Ph. Bastide, D. Paulin & Ph. Lachenaud 33

Hatchability of African Catfish *Clarias gariepinus* Eggs in Hapas and in Basins: a Diagnostic Study of Frequent Inhibition by Rainfall and Water Stagnation (in English)

S. Yong-Sulem, R.E. Brummett & J. Tchoumboué 39

Milk Clotting Using *Ongokea gore* Bark Extract Compared to those Obtained to Well Known Milk Clotting Extracts (in French)

D.G. Libouga 43

Animal Traction: an Underused Low External Input Technology among Farming Communities in Kaduna State, Nigeria (in English)

S. Adunni Sanni 48

Biopesticide Efficacy of *Hyptis spicigera* Lam., *Azadirachta indica* A. Juss. and *Euphorbia balsamifera* Ait. on Cowpea Insect Pests Controlling (in French)

D. Bambara & J. Tiemtoré 53

Effects of Fire and Grazing on Grass Phytomass Evolution in a *Heteropogon contortus* Savanna (Sakaraha Region, South West Madagascar) (in French)

V. Rakotoarimanana, M. Grouzis & E. Le Floc'h 56

DGDC'S ACTIVITIES 61

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

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

