PN-AAX-490

INTSORMIL·INRAN·PARA WORKSHOP

Niger Sorghum and Millet Workshop
October 13-17, 1985 • Niamey, Niger

For additional information, contact the
INTSORMIL/Niger Management Office at:

International Programs in Agriculture
Agricultural Administration Building
Purdue University
West Lafayette, IN 47906

Telephone: (317) 494-6876 Telex: 276147 PU WLAF

INTSORMIL is a Collaborative Research Support Program of the Agency for International Development (AID/DSAN/XII/G-0149). Partial funding for this workshop was provided by the Projet d'Appui à la Recherche Agricole (PARA) AID Contract 683-0225, and by the Institut National de Recherches Agronomiques du Niger (INRAN).

PN-AAX-490

Niger Sorghum and Millet Workshop

Report of Research Collaboration in Niger

Edited by

John D. Axtell

and

John W. Clark

with the editorial assistance of
Paul N. Furbacher

Acknowledgements

The editors gratefully acknowledge the technical assistance of the INRAN/NCRP staff, the INTSORMIL staff at Nebraska, and the International Programs staff at Purdue University. So many people from these organizations have contributed much to making this a successful workshop that it is impossible to mention each by name. We would be remiss, however, not to mention Director General Idrissa Soumana for his many suggestions and assistance in developing the contents of the Workshop program. In addition, we appreciate the organizational skills of Madame Christine Conte during the Workshop; the translation skills of Ms. Susan McKay during the preparation of the Proceedings; and the editorial and graphic design assistance, and software expertise, provided by Paul Furbacher during the preparation of the final text for printing. Of course, the editors assume responsibility for any errors which may have inadvertently crept into the printed version of the Proceedings.

We appreciate the participation of the Honorable Peter Bogosian and the AID Mission staff in the workshop and field tour. Finally, the editors wish to especially thank all the workshop participants for their written and oral presentations and for their excellent contributions to the discussions.

Table des Matières

Introduction

John M. Yohe x

Ouverture

Discours de Bienvenue — *Idrissa Soumana, Directeur Général de l'INRAN* xi

Activités et Recherches de l'INTSORMIL au Niger — *John D. Axtell* xv

Session I Situation Actuelle du Programme de Recherche sur le Mil et le Sorgho

Président: *M. Issaka Magah*

Importance et Amélioration du Sorgho au Niger — *M. Adamou et J. Clark* 3

Programme de Sélection du Mil au Niger — *N. Jika et B. Ouendeba* 13

Le Programme d'Amélioration Génétique du Mil du Centre Sahélien de l'ICRISAT — *A. Kumar, L.K. Fussell, et K.F. Nwanze* 21

Programme Cooperatif ICRISAT/INRAN sur l'Amélioration du Mil — *B.B. Singh et collaborateurs* 31

Session II Qualité Céréalière

Président: *John D. Axtell*

Programme Qualité Céréalière et Analyse de la Qualité Céréalière de Quatre Variétés de Sorgho pour la préparation du *Tuwo* Nigérien — *M. Oumarou, J.W. Clark, et J. McLaughlin* 39

Digestibilité des Protéines du Sorgho — *A.W. Kirleis et B. Hamaker* 51

Session III Programme de Recherche sur la Tolérance à la Sécheresse

Président: *Jada Gonda*

La Recherche de l'INTSORMIL sur la Sélection du Mil — *D.F. Andrews et W.D. Stegmeier* 61

Techniques et Concepts d'une Recherche Collaborative sur la Tolérance à la Sécheresse du Sorgho en Afrique de l'Ouest	*D.T. Rosenow et G. Ejeta*	73
Recherche Agronomique des Cultures Pluviales au Niger: le Programme en Cours et les Perspectives d'Avenir	*K.C. Reddy, J. van der Ploeg et J. Gonda*	81

Session IV Problèmes relatifs au Développement des Cultures du Sorgho et du Mil

Présidents: *Mamadou Ouattara et Ly Samba*

Contraintes Liées au Sol et à l'Eau et Adaptations à ces Contraintes par les Paysans locaux lors de la Production Céréalière en Culture Pluviale	*M. Ouattara et N. Persaud*	95
La Recherche de l'IFDC sur les Engrais Phosphatés, Azotés et Soufrés au Niger: Objectifs et Progrès	*A. Bationo, M. Goah, B.C. Christianson, et D.K. Friesen*	105
La Recherche du TROPSOIL sur la Physique des Sols et la Conservation de l'Eau au Niger	*G. Chase*	119
Situation Actuelle de la Recherche Socio-Economique de l'Institut National de Recherches Agronomiques du Niger	*L. Samba, R. Deuson et S. Swinton*	133

Session V Programme de Recherche sur la Protection des Plantes du Mil et du Sorgho

Président: *Hama Hassane*

Données Acquises sur la Mineuse de l'Epi, *Raghuva albipunctella*	*S.D. Maiga*	145
Recherche sur les Punaises de la Panicule du Sorgho et des Foreurs de la Tige du Mil au Niger	*G.L. Teetes et F.W. Gilstrap*	163
Situation Actuelle de la Recherche en Pathologie Végétale au Niger	*H. Hassane*	171
Striga et Programme de Lutte Intégrée contre le *Striga* au Niger	*D. Laycock, M. Tanko, et K. Van Elsen*	177

Session VI Session Plénière

Recommandations		187

Table of Contents

Introduction — *John M. Yohe* — ix

Inauguration

Welcoming Speech — *Idrissa Soumana, Director General of INRAN* — xii

CRSP Activities & Research in Niger — *John D. Axtell* — xiii

Session I Current Status of Research on Millet and Sorghum

Moderator: *M. Issaka Magah*

The Importance and Improvement of Sorghum in Niger — *M. Adamou and J. Clark* — 3

The Millet Breeding Program in Niger — *N. Jika and B. Ouendeba* — 13

Pearl Millet Improvement Program of ICRISAT Sahelian Center — *A. Kumar, L.K. Fussell, and K.F. Nwanze* — 21

ICRISAT/INRAN Cooperative Millet Improvement Program — *B.B. Singh and collaborators* — 31

Session II Cereal Quality

Moderator: *John D. Axtell*

Cereal Quality Program and an Analysis of Four Varieties of Sorghum for the Preparation of Nigerien *Tuwo* — *M. Oumarou, J. Clark, and J. McLaughlin* — 39

Digestibility of Sorghum Proteins — *A.W. Kirleis and B. Hamaker* — 51

Session III Drought Resistance Research

Moderator: *Mr. Jada Gonda*

INTSORMIL Pearl Millet Breeding Research — *D.F. Andrews and W.D. Stegmeier* — 61

Techniques and Concepts of Collaborative Drought Tolerance Research on Sorghum in West Africa — *D.T. Rosenow and G. Ejeta* — 73

Agronomic Research on Rainfed Crops of Niger: The Program in Progress and Future Needs — *K.C. Reddy, J. van der Ploeg and J. Gonda* — 81

Session IV Environmental Constraints Tied to the Development of Millet and Sorghum Crops

Moderators: *Mamadou Ouattara and Ly Samba*

Soil and Water Constraints and Adaptations to These Constraints by Farmers in Rainfed Cereal Production	*M. Ouattara and N. Persaud*	95
IFDC's Phosphate, Nitrogen and Sulfur Fertilizer Research in Niger: Objectives and Progress	*A. Bationo, M. Goah, B.C. Christianson, and D.K. Friesen*	105
TROPSOIL's Soil Physics and Water Conservation Research in Niger	*R.G. Chase*	119
The Current Status of Socio-economic Research at the National Institute of Agronomic Research in Niger	*L. Samba, R. Deuson, and S. Swinton*	133

Session V Plant Protection Research on Millet and Sorghum

Moderator: *Hama Hassane*

Data Acquired on the Head Borer, *Raghuva albipunctella*	*S.D. Maiga*	145
Niger Research on Head Bugs of Sorghum and Stem Borers of Millet	*G.L. Teetes and F.W. Gilstrap*	163
The Current Status of Plant Pathology Research in Niger	*H. Hassane*	171
Striga and the *Striga* Programme of the Integrated Pest Management Project in Niger	*D. Laycock, M. Tanko, and K. Van Elsen*	177

Session VI Plenary Session

Recommendations	190

Niger Sorghum and Millet Workshop

Niamey, Niger · October 13-17, 1985

From left to right: John Yohe, David Andrews, Allan Kirleis, Jeanette McLaughlin, Darrel Rosenow, Jada Gonda, Gary Stack, John Clark, Neimo Jika, Chetima Maimoussa, Ouendoba Botorou, Moussa Oumarou, Chandra Reddy, Anand Kumar, Issaka Magah, Moussa Adamou, Seyni Maiga, Amadou N'Diaye, Derek Laycock, Les Fussell.

INTSORMIL·INRAN·PARA WORKSHOP

Introduction

The Sorghum/Millet Collaborative Research Support Program (INTSORMIL) under its Global Plan collaborates with six prime-site countries in Africa, Latin America and Asia. In West Africa, INTSORMIL is pleased to be associated with Niger in an in depth multidisciplinary research and training program designed to assist in alleviating principal constraints to improved production, marketing, and the utilization of sorghum and millet. This workshop has demonstrated the quality research and collaboration that has taken place not only between INTSORMIL and leading INRAN scientists but also between INTSORMIL/INRAN and the TROPSOILS CRSP, ICRISAT Sahelian Center, the USAID/Purdue/INRAN National Cereals Research project, the International Fertilizer Development Center (IFDC), and CILSS.

Workshop presentations and discussion provided significant interaction between scientists and other workshop participants. INTSORMIL is pleased to have had the opportunity to co-sponsor this first workshop of this kind in Niger. INTSORMIL is grateful to USAID for its support both in core funding of the INTSORMIL program which makes this collaboration possible but also for the local support and cooperation from USAID/Niger which made this program possible. We trust that this volume of proceedings will be useful and serve as a model of cooperation and collaboration for research in Niger on resolving constraints to improved production and utilization of sorghum and millet.

John M. Yohe
Associate Program Director
INTSORMIL

Introduction

Dans son plan global, le programme de recherche collaborative de soutien du sorgho et du millet (INTSORMIL) met en oeuvre une collaboration avec six pays d'Afrique, d'Amerique latine et d'Asie constituant des sites de première importance. En Afrique de l'Ouest, INTSORMIL est heureux d'être associé au Niger pour un program pluridisciplinaire de recherche et de formation en profundeur, conçus pour aplanir les principales difficultés liées à l'amélioration de la production, de la commercialisation et de l'utilisation du sorgho et du millet. Cet atelier a montré la recherche de qualité de la recherche et de la collaboration qui s'est mise en place non seulement entre INTSORMIL et les principaux chercheurs de l'INRAN, mais aussi entre ces deux organismes et TROPSOILS CRSP, le centre sahélien d'ICRISAT, le projet de recherches céréalières de l'INRAN, Purdue et l'USAID, le centre de développement international d'engrais (IFDC) et le CILSS.

Les travaux présentés le cadre de l'atelier et les discussions qui en découlèrent ont fourni des occasions d'échanges significatifs entre les scientifiques et les autres participants. INTSORMIL est heureux de l'occasion qui lui a été donnée de co-patronner le premier atelier de ce type au Niger. INTSORMIL est reconnaissant envers l'USAID à la fois pour son soutien financier du programme d'INTSORMIL, qui a rendu cette collaboration possible, mais aussi pour le soutien local et de la coopération apportés par USAID/Niger, qui ont rendu ce programme réalisable. Nous sommes convaincus que ce compte-rendu sera utile et servira de modèle à la coopération et à la collaboration pour la recherche au Niger concernant l'élimination des obstacles à l'amélioration de la production et de l'utilisation du sorgho et du millet.

John M. Yohe
Directeur associé du programme
INTSORMIL

Discours de Bienvenue du Directeur Général de l'INRAN

Idrissa Soumana

Monsieur le Directeur de l'USAID,
Monsieur le Coordonnateur d'INTSORMIL,
Honorables Invités,
Chers Participants,

Je voudrais tout d'abord vous souhaiter la bienvenue à l'occasion de la tenue de l'Atelier d'INTSORMIL sur la Recherche Collaborative en Afrique de l'Ouest. Cet Atelier qui est le premier du genre s'inscrit dans le cadre de la politique de l'INRAN de nouer des relations avec les organisations nationales et internationales de recherche, notamment les Universités Américaines par l'intermédiaire du Projet d'Appui à la Recherche Agricole financé par l'USAID et exécuté conjointement par l'Université de Purdue et l'Institut National de Recherches Agronomiques du Niger (INRAN).

C'est ainsi que des liens de coopération ont été établis avec l'Université de Texas A&M à travers le Programme TROPSOILS dans le domaine des sols, l'Université de Georgie à travers le Programme PEANUT dans le domaine de recherche sur l'arachide, le Centre International de Développement des Engrais (IFDC) en matière de recherche sur les phosphates naturels et l'Université du Nébraska à travers le Programme INTSORMIL en matière de recherche sur le sorgho et le mil.

Avant la tenue de ce premier Atelier INTSORMIL, j'aimerais souligner que, depuis la signature de l'Acte Constitutif d'Accord intervenue en Avril 1983 entre l'INRAN et INTSORMIL, un certain nombre de missions de spécialistes de l'INTSORMIL ont été effectuées au Niger en vue d'explorer les domaines de recherche susceptibles de renforcer les programmes de recherche de l'INRAN.

Cette réunion vous permettra, sans aucun doute, d'une part, d'échanger des informations et des expériences sur les travaux de recherche menés par l'INRAN en matière de mil et de sorgho, deux de nos principales cultures, et, d'autre part, de formuler, je le souhaite, de nouvelles orientations en la matière qui seront certainement profitables au Niger et à toute la région sahélienne.

En vous souhaitant un agréable séjour et plein succès dans vos travaux, je déclare ouvert l'Atelier INTSORMIL sur la Recherche Collaborative au Niger et en Afrique de l'Ouest.

Je vous remercie.

Welcoming Speech of the Director of INRAN

Idrissa Soumana

Director of USAID,
Coordinator of INTSORMIL,
Distinguished Guests and
Participants,

First of all, I would like to welcome you to the INTSORMIL Workshop on Collaborative Research in West Africa.

This Workshop, which is the first of its kind to be held in Niger, comes within the scope of INRAN's policy to establish relations with national and international research organizations, in particular with American Universities through the Niger Cereals Research Project which is financed by USAID and jointly implemented by Purdue University and the National Institute for Agronomic Research in Niger (INRAN).

It was thus that cooperative links were established with the following institutions:

——Texas A & M University, through the TROPSOILS Program, in the field of soil science,

——The University of Georgia, through the Peanut Program, in the area of research on peanuts,

——The International Fertilizer Development Center (IFDC) in the field of research on phosphate rock, and

——The University of Nebraska, through the INTSORMIL Program for millet and sorghum research.

Before this meeting begins, I am pleased to say that since the Grant Agreement between INRAN and INTSORMIL was signed in April, 1983, a certain number of missions were conducted in Niger by INTSORMIL specialists, so as to explore the different research areas which were likely to strengthen INRAN's research programs.

This meeting will, no doubt, enable you to exchange information and experiences on the research work done by INRAN on millet and sorghum, two of our main crops; it will also enable you, I hope, to set out new orientations which will be of benefit to Niger and to the Sahelian region as a whole.

I wish you the utmost success in your work, and hereby declare open the INTSORMIL Workshop on Collaborative Research in Niger and West Africa.

Thank you.

CRSP Activities and Research in Niger

John D. Axtell

Director General of INRAN,

Representative of the Ministry of Agriculture,

Director of the USAID Mission,

Chief of Party of NCRP,

Representatives of TropSoils, IFDC and CILSS,

Colleagues in Sorghum and Millet Research in INRAN, INTSORMIL and ICRISAT.

On behalf of Dr. John Yohe, Associate Director of INTSORMIL, from the University of Nebraska, I welcome you to the First INRAN/INTSORMIL/NCRP Niger Sorghum/Millet Workshop. Dr. Yohe will be joining us on Tuesday and will present his greetings to you personally at the banquet Tuesday evening.

I am serving as Coordinator for INTSORMIL Collaborative Research Programs on Sorghum and Millet in Niger and it is my pleasure at this time to welcome all of you to participate in this very important workshop. This workshop is important because sorghum and millet are vital life-sustaining crops in Niger and assembled in this room are many of the key research scientists dedicated to improving the productivity and utilization of these two important cereals through research.

The purpose of this workshop is two-fold. First, we need to assess the current status of sorghum and millet research in Niger. There are several organizations involved in research on these cereal crops and we hope that this forum will provide a useful opportunity for a mutually beneficial exchange of knowledge and ideas. Some of us are not completely familiar with the INRAN research programs, and we look forward to learning from the INRAN research scientists themselves about their programs. Likewise, we look forward to sharing information about our research programs with INRAN researchers. The discussion following each session will be especially important, and we hope that you will participate freely. We have made a special effort to record this dialogue and exchange of ideas for the Workshop Proceedings. The second purpose of the workshop is to determine how INTSORMIL can contribute to the overall INRAN cereal improvement program in Niger. Our program is a collaborative research program and we welcome the opportunity of sitting down with you and discussing how we can help in accomplishing these tasks. We have done this with many of you individually and now we welcome the opportunity of doing this as a group.

This morning I would like to spend the next few minutes discussing two topics.

First — What are the fundamentals of the CRSP (Collaborative Research Support Programs) model of collaborative research? The CRSP model is one of several possible means of bringing the agricultural research capacity of the more developed nations, particularly the United States, to bear effectively and efficiently on the key problems of agriculture in developing nations. It is not or cannot be a short-term panacea or a long-term solution, but it does hold a great deal of promise as a cost-effective, productive means of making significant contributions

to agricultural development in the developing countries as a mid-term, interim measure.

Despite all the complexities of the CRSPs, bureaucratic and otherwise, the basics are simple and straightforward. The CRSP model is based on three fundamental assumptions. One is that there exists some set of problems which are common in important ways to agriculture in the United States and in the developing nations.

The second is that collaborative research among agricultural scientists in the United States and their counterparts in the developing nations will be highly complementary. This is to say that the results of such efforts will be useful in accelerating the agricultural development process in the developing countries through contributing to the upward shifting of farm-level production functions and the relaxation of other constraints. It is also to say that it will be complementary in the sense of providing knowledge, information and technology useful to the solution of productivity and adjustment constraints faced by U.S. agriculture.

Third, the model assumes that from the fixed stock of research resources available to agriculture worldwide, the scientific output will be greater as a result of such collaborative work than would otherwise be the case. A corollary assumption of the above is that the expanded output will be mutually beneficial to the LDCs and to the more developed nations.

Second — What then is INTSORMIL and how does it function? INTSORMIL is the CRSP program for improvement of sorghum and millet production and utilization in countries where these cereals are important staple foods. The program is funded jointly by the U.S. Agency for International Development and by six U.S. universities, including Purdue, Texas A & M, Nebraska, Mississippi State, Kansas State and Kentucky. Research scientists at these universities develop collaborative research projects with counterpart scientists in National Agricultural Research Programs such as INRAN. We believe that strong national research programs (both LDC and U.S.) are the key to long-term improvements in the productivity, marketing, and utilization of these important staple cereal grains. We also believe that national research programs (both LDC and U.S.) can only function effectively with strong multi-disciplinary teams of well trained and highly motivated research scientists. Our approach to helping achieve these objectives is through development of mutually beneficial collaborative research projects between INRAN scientists and U.S. scientists. Collaboration involves exchanges of scientists, germplasm, research technology and information. Enhanced professional development of all collaborators (both LDC and U.S.) in the INTSORMIL program will lead to increased efficiency and productivity of all of our research programs. The collaborative research projects that result will enhance the lives and economic well-being of all people who depend on sorghum and millet for sustenance.

Finally, we have a good opportunity this week to discuss sorghum and millet research with the objective of determining how we can help each other collaboratively to improve sorghum and millet. We welcome this opportunity and look forward to sharing information and ideas for the mutual benefit of our research cooperation.

Thank you.

Activités et Recherche d'INTSORMIL au Niger

John D. Axtell

Monsieur le Directeur Général,

Monsieur le Représentant du Ministère de l'Agriculture,

Monsieur le Directeur de l'USAID,

Monsieur le Chef d'Equipe de Purdue/PARA,

Messieurs les Représentants de TROPSOILS, l'IFCD et le CILSS,

Chers Collègues de l'INRAN, INTSORMIL, ICRISAT,

Au nom du Dr. John Yohe, Directeur Adjoint d'INTSORMIL de l'Université du Nebraska, je vous souhaite la bienvenue au Premier Atelier sur le Sorgho et le Mil, organisé au Niger par l'INRAN, INTSORMIL et le PARA. Le Dr. John Yohe sera lui-même parmi nous mardi et vous présentera personnellement ses salutations au banquet qui se tiendra dans la soirée.

En tant que Coordinateur des Programmes Collaboratifs de Recherche d'INTSORMIL sur le mil et le sorgho au Niger, c'est un plaisir pour moi de vous remercier pour votre présence et votre participation à cet important atelier. L'importance de cet atelier réside dans le fait que le mil et le sorgho sont des cultures vitales au Niger, et dans cette salle, sont réunis plusieurs chercheurs-clés dévoués à l'amélioration de la productivité et à l'utilisation de ces deux principales céréales à travers la recherche scientifique.

Cet atelier a deux objectifs — le premier étant l'évaluation du statut actuel de la recherche sur le mil et le sorgho au Niger. Plusieurs organisations se sont intéressées à cette recherche et nous espérons avoir l'occasion d'échanger mutuellement nos connaissances et idées dans ce domaine. Certains d'entre nous ne sont pas entièrement familiers avec les programmes de recherche de l'INRAN et nous souhaitons avoir plus d'informations des chercheurs de l'INRAN eux mêmes à propos de ces programmes. En retour, c'est avec plaisir que nous partagerons les informations sur nos programmes de recherche avec les chercheurs de l'INRAN. Les discussions qui se tiendront après chaque session sont très importantes et nous espérons la libre participation de tous. Des dispositions particulières seront prises pour enregistrer ce dialogue et les échanges d'idées afin de publier les compte-rendus de l'atelier.

Le second objectif de cet atelier sera de déterminer comment INTSORMIL peut contribuer au programme d'amélioration des céréales de l'INRAN au Niger. Notre programme est un programme collaboratif de recherche et nous sommes heureux de l'opportunité qui nous est donnée de discuter avec vous des possibilités d'accomplir ces tâches. Nous avons déjà travaillé individuellement avec plusieurs d'entre vous et, maintenant nous sommes enchantés de le faire en groupe.

Je voudrais ce matin discuter brièvement deux sujets. Premièrement — Quelles sont les activités fondamentales du Programme de Recherche de Support Collaboratif (CRSP)? Le modèle CRSP est une des possibilités pour développer effectivement et efficacement la capacité de recherche sur l'agriculture des pays en voie de développement à l'instar de celles des nations développées, notamment les

Etats-Unis. Ceci n'est pas et ne pourra pas être une panacée à court-terme ou une solution à long-terme, mais cela promet d'être un moyen de production sûr en apportant provisoirement et à moyen terme des contributions significatives au développement de l'agriculture dans les pays en voie de développement. Malgré toutes les complexités de CRSP (bureaucratiques et autres) les principes de base sont simples et franc. Le modèle CRSP repose sur trois critères fondamentaux. Le premier est l'existence des problèmes qui sont communs à l'agriculture américaine et à celle des pays en voie de développement.

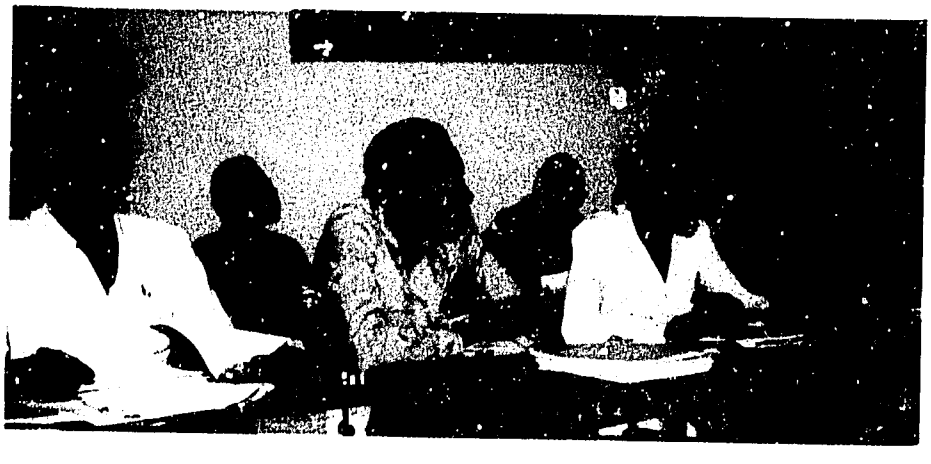
Le deuxième est que la recherche collaborative entre les chercheurs des Etats-Unis et ceux des nations en voie de développement sera significativement complémentaire. Ceci veut dire que les résultats de tels efforts seront utiles à l'accélération des procédures de développement agricole dans les pays en voie de développement en contribuant à l'augmentation de la production agricole en milieu rural, ainsi qu'au relâchement de certaines contraintes. Cette complémentarité se traduira par des échanges d'informations et de technologies utiles à l'allègement des contraintes de production et à la résolution des difficultés d'adaptation auxquelles fait face l'agriculture américaine.

En troisième point, le modèle admet que, du fait de la limitation des ressources de la recherches agronomique, on obtiendra des meilleurs résultats grâce à un tel travail collaboratif. Une supposition corollaire est que les meilleurs résultats ainsi obtenus profiteront aussi bien aux pays en voie de développement qu'aux pays développés.

Deuxièmement — Qu'est ce que l'INTSORMIL? Comment fonctionne-t-il? INTSORMIL est le programme CRSP pour l'amélioration de la production et de l'utilisation du sorgho et du mil, dans les pays où ces céréales sont des aliments de base importants. Le programme a été financé conjointement par l'Agence Americaine pour le Développement Internationale et six Universités Américaines: Purdue, Texas A & M, Nebraska, Mississippi, Kansas et Kentucky. Les chercheurs de ces Universités développent des projets de recherche collaborative avec leurs collègues du Programme National de Recherche Agricole tel que l'INRAN. Nous pensons que les programmes solides nationaux de recherche (dans les pays en voie de développement et aux Etats-Unis) constitue la clé d'améliorations à long terme de la production, du marketing et de l'utilisation de ces importantes céréales de base. Nous pensons également que les programmes nationaux de recherche (concernant à la fois les pays en voie de développement eit les Etats-Unis) ne peuvent fonctionner efficacement qu'avec des équipes multidisciplinaires solides et des chercheurs bien formés et hautement motivés. Notre approche pour faciliter la réalisation de ces objectifs passe par le développement mutuel de projets collaboratifs de recherche entre les chercheurs de l'INRAN et ceux des Etats-Unis. Cette collaboration comprend les échanges des chercheurs, les échanges de plasmes germinatif ainsi que l'échange d'informations et le transfert de technologies. L'amélioration du développement professionnel de tous les collaborateurs (des pays en voie de développement et des Etats-Unis) du programme d'INTSORMIL conduira à l'augmentation de l'efficacité de la productivité de tous nos programmes de recherche. Les projets de recherche collaborative résultants contriburont à l'amélioration du bien-être économique et sociale de tous les peuples qui dépendent du sorgho et du mil pour luer subsistance.

Finalement, nous aurons une bonne occasion cette semaine de discuter de la recherche sur le mil et le sorgho, en vue de déterminer comment nous pouvons nous entraider pour l'amélioration de ces cultures. Nous sommes heureux d'avoir cette occasion d'être ensemble et nous espérons partager des informations et des idées dans l'intérêt de nos programmes de recherche collaborative.

Je vous remercie.



Session I

Current Research Status on Millet and Sorghum

Moderator, Mr. Issaka Magah

Importance et Amélioration du Sorgho au Niger

Moussa Adamou
INRAN

et

John Clark
PARA

Résumé. Le sorgho est considéré comme l'un des aliments de base au Niger. Il occupe la seconde place après le mil, du point de vue de la superficie cultivée et de celui de la production totale de grain. L'agriculteur nigérien cultive le sorgho surtout comme céréale alimentaire, mais il l'utilise aussi comme aliment pour le bétail. Les tiges sont également utilisées dans l'alimentation du bétail, ainsi que pour la construction de cases, de clôtures et de greniers.

Environ 750 000 à 850 000 hectares de sorgho sont cultivés pour une production annuelle de 300 000 à 400 000 tonnes. La récolte moyenne d'un agriculteur varie considérablement en fonction de la région, des pratiques culturales, du type de terrain et de la variété utilisée. Le rendement peut être de l'ordre de 3 à 4 tonnes/hectare sur certains aménagements hydro-agricoles, mais seulement de 150 à 200 kg/ha sur les terres sablonneuses de certaines régions.

Les variétés locales du sorgho que l'on trouve au Niger comportent les 5 races cultivées classés selon Harlan un sorgho est dunaire ou de vallée en fonction de son rendement sur sol sablonneux ou lourd.

Les objectifs principaux du programme de sélection du sorgho au Niger, sont les suivants:

— obtention de matériel à rendement élevé et stable;
— obtention de matériel à cycle court et moyen (selon les différentes zones écologiques appropriées);
— réduction de la masse végétative au profit de la production de grain;
— amélioration de la qualité du grain tant du point de vue gustatif que nutritif;
— amélioration de la résistance ou la tolérance à la sécheresse, aux insectes, et aux maladies.

Enfin, le programme s'est donné la tâche de développer des variétés pour les différentes régions du Niger, en fonction de la préférence locale.

Les méthodes principales d'amélioration du sorgho au Niger sont, la sélection "pedigree", l'amélioration des populations, et la production d'hybrides expérimentaux utilisant des mâles américains stériles (lignées A) et des variétés locales comme restauratrices de fertilité (lignées R). Le programme coopératif de sorgho de l'INRAN consiste en l'observation des variétés et la conduite des essais de rendement des lignées et variétés en provenance des programmes d'ICRISAT en Inde (Hyderabad), au Mali, au Burkina Faso, des programmes nationaux du Nigéria et du Sénégal, et des membres d'INTSORMIL dans les universités de Purdue, de Texas A&M, de Kansas State, du Nebraska, et d'Arizona. Les matériaux de sélection de ces organisations coopérantes sont discutés brièvement.

The Importance and Improvement of Sorghum in Niger

Abstract. Sorghum in Niger is considered as one of the basic foods. It is second, after millet, in terms of area cultivated and total grain production. The Nigerien farmer cultivates sorghum as a food grain but it is also used as an animal feed. The stalks are also used as livestock feed, as well as for the construction of huts, fences and granaries.

Approximately 750 000 to 850 000 hectares of sorghum are grown, with a total annual production of between 300 000 and 400 000 metric tons. Average farmer yield may vary tremendously depending on the region, the cultural practices, the soil type or terrain and the variety used. Therefore, the yield may be on the order of 3 to 4 T/ha in certain irrigated schemes but only 150 to 200 kg/ha on sandy soils in certain regions.

Local sorghum varieties found in Niger include all 5 of Harlan's cultivated races but they are further classified as dune or valley sorghums according to their performance on sandy and heavy soils.

The principal objectives of the sorghum breeding program in Niger are the following:

— obtain material with higher and more stable yields;
— obtain material of early to mid-season maturity (for the appropriate ecological zones);
— increase the harvest index by lowering the grain to vegetation ratio;
— improve grain quality in terms of nutrition and taste;
— improve resistance or tolerance to drought, insects and diseases.

Finally, the program has the task of developing varieties for the different regions of Niger in accordance with local preference.

The principal methods of sorghum improvement in Niger are pedigree breeding, population improvement, and the production of experimental hybrids using U.S. male-steriles (A-lines) and local varieties as restorers (R-lines).

The INRAN cooperative sorghum program consists of varietal observation and yield trials and pedigree selections from the ICRISAT programs in India (Hyderabad), Mali and Burkina Faso; from the national programs in Nigeria and Senegal; and from INTSORMIL members at the universities of Purdue, Texas A & M, Kansas State, Nebraska and Arizona. The selection materials from these cooperating organizations are briefly discussed.

Au Niger le sorgho est considéré comme un des aliments de base de la population. Il occupe la deuxième place après le Mil du point de vue de la superficie cultivée et de celui de la production totale de grains. En effet le Nigérien cultive le sorgho pour son grain qui est utilisé aussi bien dans l'alimentation humaine que pour celle du bétail. Les tiges sont aussi utilisées comme aliment pour le bétail et comme matériaux de construction des cases, des clôtures et des greniers.

Le sorgho est cultivé dans presque toutes les régions du Niger sur les deux types de sol (Dune et Vallée).

La superficie consacrée à la culture du sorgho est d'environ 750.000 à 850.000 hectares pour une production totale annuelle de 300.000 à 400.000 tonnes; soit un rendement moyen de 500 kg/ha en milieu paysan. Cependant ce rendement varie énormément selon les régions, les techniques culturales, les types de sol et les variétés utilisées. C'est ainsi qu'il est de l'ordre de 3 à 4 T/ha sur certains aménagements hydro-agricoles et de 150 à 1000 kg/ha dans certaines régions sur sol dunaire.

I. Types de sorgho au Niger

Au Niger toutes les variétés de sorgho cultivées sont regroupées sous deux formes (sorgho dunaire et sorgho de vallée). Il n'existe pas de frontière définie entre ces deux types de sorgho pour la simple raison qu'il s'agit d'une répartition des variétés cultivées selon l'adaptabilité de la variété à un type de sol donné (sol dunaire ou sol de vallée). C'est ainsi qu'une variété de sorgho peut être considérée comme sorgho dunaire parce qu'elle se comporte bien en sol dunaire.

La raison principale de cette classification est que les 3/4 des sols cultivables du Niger sont dunaires (propres à la culture du Mil) et qu'il faut utiliser ces terres pour des céréales autres que le Mil uniquement.

S'agissant des variétés locales du Niger, une collection de maintenance de 485 variétés est entretenue au CNRA.

Une observation rapide de ces variétés a permis de retrouver les 5 races de sorgho cultivées dans la classification d'Harlan. "Shattercane" se rencontre surtout dans la partie Ouest du Niger, dans les vallées en bordure du fleuve.

Le sorgho en général se comporte mieux sur les sols bien structurés, riches en matière organique et sous des conditions pluviométriques assez bonnes (400 mm au moins).

Cependant certaines variétés peuvent bien végéter et arriver à mâturité sur terre dunaire avec environ 200 mm de pluies bien réparties. Il s'agit surtout du sorgho dunaire qui est cultivé seulement en hivernage sur les terres sableuses et sans irrigation complémentaire. Ce type est en général de cycle court et il est probablement résistant ou tolérant à la sécheresse et aux vents de sable.

Toute variété de sorgho peut être considérée comme sorgho de vallée parce que cette espèce est en général cultivée sur les sols structurés des vallées et des bas-fonds. Cependant dans le regroupement actuel, le sorgho de vallée est la variété qui se comporte très bien en terre lourde des vallées mais qui présente une très mauvaise adaptation en terre dunaire. Le sorgho de vallée peut être cultivé soit en hivernage, soit en saison sèche (avec irrigation) sur des sols de la Maggia, de Goulbi et de la vallée du Niger.

La culture du sorgho en terre dunaire est développée dans le seul but d'occuper au maximum, et avec le maximum d'espèces cultivées, ces terres à prédominance sableuses, qui constituent les 3/4 des terres cultivées au Niger.

II. Amélioration du Sorgho

Le sorgho étant considéré comme la deuxième céréale vivrière au Niger, son amélioration occupe une place de choix dans la lutte engagée dans ce pays pour l'autosuffisance alimentaire.

Parmi les opérations entreprises pour développer la culture de cette espèce, l'amélioration variétale occupe une place prépondérante, quant aux objectifs visés.

Les principaux objectifs de la sélection du sorgho au Niger sont les suivants:

- obtention de matériel à rendement élevé et stable;
- obtention de matériel à cycle court et moyen (selon les différentes zones écologiques);
- réduction de la masse végétative au profit de la production de grain;
- amélioration de la qualité du grain tant du point de vue gustatif que nutritif;
- résistance à la sécheresse, aux insectes et aux maladies.

Enfin le programme s'est donné la tâche de développer des variétés pour les différentes régions écologiques du Niger, en tenant compte des préférences des paysans locaux.

1. *Travaux antérieurs et résultats obtenus*

Le premier programme d'amélioration du sorgho au Niger a débuté avec la création de l'IRAT en 1961. Les premiers travaux ont consisté à épurer un certain nombre de variétés locales pour leur utilisation immédiate.

C'est ainsi qu'en 1965 les variétés Bagoba (*Durra*), Jan Jaré (*Caudatum*), Gourma (*guinéa-caudatum*), El Delé (*guinéa-caudatum*), et Babbadiah (*Durra*) ont suscité des interêts agronomiques du point de vue rendement, adaptabilité et plasticité. Ces variétés ont été améliorées par simple sélection massale et mises à la disposition des paysans.

Les introductions ont débuté en 1961 et les plus intéressantes ont été les suivantes:

—137-62 (*caudatum*), originaire du Soudan,
—CE 90 (*Kafir caudatum*), sélection du Sénégal,
—CE 99 (*Kafir caudatum*), sélection du Sénégal,
—½MSB (*caudatum*), sélection du Sénégal,
—Pickett 147 (*caudatum*), originaire des USA,
—SA 10015 (*Kafir-Durra*), originaire des USA.

Certaines de ces variétés ont été mises en vulgarisation et d'autres ont servi dans des programmes d'amélioration.

Les travaux d'hybridation ont débuté en 1964 avec l'IRAT qui à son tour a été relevé par l'INRAN (Institut National de Recherches Agronomiques du Niger) cré en 1975.

Les variétés actuellement en vulgarisation sont:

—L.30 (137-62 X Jan Jaré) proposée à la vulgarisation en 1974 pour les terres dunaires;
—½MSB (CK612 X MSB 67-17) proposée à la vulgarisation en 1977 pour les terres de vallées;
—BDF: variété locale améliorée pour les terres dunaires.

Une autre série de lignées à hautes potentialités est en voie de vulgarisation.

Il s'agit de:

—SST 731-11 (SA 10015 X Pickett 147),
—SST 722-20 et 7 (Pickett 147 X L.E.), etc.

Ces lignées suscitent un intérêt pour les terres de vallée et les aménagements.

Six variétés nigériennes ont participé aux essais régionaux de l'Institut du Sahél, il s'agit notamment des variétés a4 d4 8-2-3, ½MSB, 137-62, L.30, SST 722-20 et SST 731-11.

Les résultats des 3 années d'expérimentation à travers les pays du Sahél ont fait ressortir le bon comportement de la a4 d4 au Sénégal et peut-être en Gambie et au Burkina Faso.

Les variétés 137-62 et L.30 ont donné des rendements appréciables non seulement au Niger mais aussi en Gambie, au Burkina Faso, au Mali et au Sénégal.

Les autres variétés ont été aussi assez performantes à travers le Sahel.

2. *Programme en cours*

Depuis la création de l'INRAN, le programme d'amélioration du sorgho tracé par l'IRAT a été revisé. C'est ainsi qu'en 1978 un nouveau programme a été conçu en collaboration avec le service de la vulgarisation. Les objectifs, quant à eux, restent toujours les mêmes. Le programme actuel d'amélioration du sorgho est basé sur une utilisation effective des variétés locales qui sont les plus adaptées aux conditions du milieu. En effet, il a été constaté que les variétés introduites ont le plus souvent une mauvaise adaptation et rencontrent pour ainsi dire des difficultés à se faire accepter par les paysans.

Ce programme est défini selon les points suivants:

—étude et amélioration des variétés locales;
—étude et sélection des variétés exotiques;
—développement de nouvelles lignées;
—maintien du matériel fixé;
—création d'hybrides et étude de l'aptitude à la combinaison.

Il s'agit là d'un programme à court, moyen et long terme.

2.1 *Sélection*

La première étape consiste à épurer les

meilleures variétés de chaque région afin de tester les différents génotypes dans les différentes régions écologiques du pays. Ce travail nous permettra d'introduire des variétés locales améliorées dans les régions où celles-ci ont disparu et en même temps d'évaluer les comportements des variétés dans les différentes régions. Compte tenu de l'insuffisance des précipitations, les variétés les plus précoces occupent une place de choix.

Pour une région donnée, les différents génotypes de la meilleure variété sont séparés et évalués pour le rendement, le cycle et la qualité du grain.

Les sujets retenus peuvent être ensuite vulgarisés dans cette même région ou dans une autre région où ils se comportent bien.

La deuxième étape consiste à développer de nouvelles variétés tout en se servant des variétés locales comme matériel de base dans différents croisements. La création d'hybrides constitue un volet très important pour l'augmentation du rendement.

Pour cela les méthodes utilisées sont: la sélection généalogique et la sélection de population avec test S_1. Le backcross est utilisé seulement s'il s'avère nécessaire.

Pour les aménagements hydro-agricoles où l'irrigation est possible un programme de développement d'hybrides avec l'utilisation de la stérilité plasmique mâle est entrepris.

2.1.1 *Sélection généalogique*

Pour ce type de sélection l'INRAN dispose de plusieurs lignées de différentes générations. La plupart des croisements effectués visent à l'amélioration de la qualité du grain de certaines bonnes variétés en vulgarisation, sans perdre de vue la productivité.

La sélection tient compte non seulement de la qualité du grain mais aussi du rendement et du cycle. Les récents travaux d'amélioration de la qualité ont pris en considération la couleur jaune du grain et le caractère "Tan de la plante".

Les variétés "Safrari 63" et "Kaura" ont été utilisées pour le transfert de la couleur jaune du grain sur certaines variétés existantes dont:

L.30, 137-62, SST 722-20, SST 731-11, a4 d4 8-2-3, etc.

D'autres croisements en cours tiendront compte en plus des qualités précitées, d'autres caractères comme la forme et le degré de compacité de la panicule.

2.1.2 *Sélection de Population*

La sélection de population entreprise au Niger a utilisé comme population initiale la PP-19 qui est un composite des Etats-Unis comportant la stérilité génétique "ms 3". D'autres sources de stérilité sont aussi en vue. Les populations de base (2 au total) déjà constituées sont formées à partir des meilleures variétés existantes au Niger. Dans le choix des parents, les variétés locales ont été prioritaires. Les principaux caractères observés sont la couleur du grain (blanche ou jaune), la précocité, la forme et le volume de la panicule, l'exertion, etc.

Environ 60 à 70 variétés locales ont participé à la constitution de chacune des populations.

A la troisième génération de brassage libre de chaque population, la sélection récurrente avec test S1 sera utilisée pour isoler les sujets présentant les caractères agronomiques désirés.

2.1.3 *Production d'hybrides*

En vue de maximaliser la production de grain et de rentabiliser ainsi la production du sorgho sur les aménagements Hydro-Agricoles, un travail de recherche d'hybrides à très hauts rendements est en cours.

Les hybrides expérimentaux sont produits à partir de lignées mâle-stériles (L 7810 638A, L 390 855A, TX-622, TX-623 et TX-624) obtenues de l'ICRISAT et des USA. Les parents mâles (R) utilisés sont les bonnes variétés locales et améliorées. Les meilleurs hybrides doivent être non seulement productifs mais aussi précoces et à bonne qualité de grain. Les hybrides expérimentaux seront évalués sur les aménagements Hydro-Agricoles avec irrigation ou complément d'irrigation non seulement en hivernage, mais aussi en contre-saison.

Dans le programme actuel, des hybrides expérimentaux sont chaque année evalués dans différents aménagements, et quelques résultats encourageants ont été obtenus.

III. Conclusions et Observations

Dans le domaine de l'amélioration des plantes vivrières au Niger, les principales

difficultés émanent non seulement du sol, mais surtout des conditions climatiques. En effet, la pluviométrie dans le Sahel de plus en plus insuffisante, est aussi très mal répartie dans le temps et dans l'espace.

Le sorgho, étant considéré au Niger comme culture sèche, demande une bonne pluviométrie et un sol riche en matières fertilisantes. C'est pour cela que les travaux d'amélioration du sorgho sont orientés vers l'utilisation des variétés locales comme matériel de base.

En effet il a été constaté que les variétés locales dans leurs zones de culture dépassent le plus souvent les variétés améliorées du point de vue rendement de grain et résistance aux maladies, aux insectes et à la sécheresse. Pour cela le programme d'amélioration du sorgho à court terme doit considérer chaque variété locale pour sa région de culture. La recherche pour la développement des variétés plastiques fera l'objet d'un programme à long terme.

Octobre 1985

Programme Coopératif

Le programme coopératif de sorgho de l'INRAN consiste en une observation des variétés et des essais de rendement, ainsi qu'en sélections pedigrees. Les essais aussi bien que le matériel de sélection viennent des programmes de l'ICRISAT d'Hyderabad (Inde), du Mali, du Burkina-Faso, des Programmes Nationaux du Nigéria, du Sénégal, des membres d'INTSORMIL des Universités de Purdue, du Texas A&M, de l'Etat du Kansas, du Nebraska et de l'Arizona. Les meilleures variétés locales du Niger ont été distribuées à plusieurs de ces institutions, y compris l'Université de Texas A&M en vue de faire partie du Programme de Conversion du Sorgho, qui rendra le plasma germinatif nigérien plus accessible aux programmes de sélection à travers le monde. Vous trouverez ci-dessous un résumé sur la discussion du matériel des organisations collaboratives.

Université de Texas A&M (TAMU)

La Pépinière sur les Maladies et les Insectes avec Soixante-Dix (70) Variétés (ADIN) a été semée à Kolo en 1982, pour être évaluée. Cette collection est maintenue comme source de résistance aux insectes et maladies importants. Une lignée (VG146) a été choisie pour sa qualité de grain et son rendement potentiel en vue d'être inclue dans des essais préliminaires de rendement en tant que variété introduite. Lors d'un essai variétal, date de semis sous irrigation à Lossa en contre-saison 1984/85, la lignée VG146 a eu un rendement meilleur que chacune des trois variétés nigériennes améliorées dans cet essai. Cependant, il a été remarqué qu'elle était particulièrement sensible aux attaques d'acariens.

TAMU a été également une excellente source de sorghos mâles stériles (lignées A), que l'on utilise présentement dans le programme d'hybrides expérimentaux au Niger. L'hybride F_1 entre la variété de TAMU ATx623 et la variété locale El-Mota a produit en 1984, plus de 5 tonnes de grain par hectare dans un essai irrigué de Diffa. Un essai de rendement de 40 hybrides F_1 de TAMU, de très bonne qualité alimentaire, a été semé cet été à Kolo. Parmi les lignées élites qui ont été reçues de TAMU en 1985, la lignée SC1207 est très impressionnante en ce qui concerne la taille de sa panicule et sa performance générale à Kolo cette année.

L'INRAN a également reçu un certain nombre de descendants F_2, F_3 et F_4 des programmes de sorgho de Lubbock et College Station (TAMU). En particulier, certain des descendants F_4 de Lubbock ont donné cette année, malgré les conditions de stress hydrique, un bon rendement à Kolo.

Université de Purdue

L'Université de Purdue a fourni des lignées élites et du matériel de sélection des Etats-Unis et de leurs collaborateurs internationaux comme le Soudan et la Tanzanie. Les lignées du Soudan sont passées au crible en ce moment pour la tolérance à la sécheresse. Les croisements entre sélections à grain blanc et plante couleur "tan" de la pépinière de l'ICRISAT (SEPON) et les variétés de Tanzanie sont présentement sous sélection à Kolo et à Bengou. Ce matériel de maturité tardive à Kolo s'est bien adapté à la longue saison de Bengou et possède des caractéristiques désirables telles que la qualité céréalière et la résistance à la verse. D'autres sélections ont comme objectifs: le potentiel de rendement, la qualité alimentaire et la tolérance à la sécheresse. La population de

Purdue (PP-19) a servi comme source de gène mâle stérile (ms3) pour produire les populations du Niger des variétés locales à Tarna et à Kolo.

Des essais pour la tolérance à la sécheresse et le peuplement des petites plantes ont été dirigés à Tarna en 1984/1985. Les essais irrigués et non-irrigués comportaient des variétés de sorgho tolérantes à la sécheresse, de Purdue et du Texas, du Soudan, aussi bien que des variétés locales du Niger. Ceci n'a surpris personne, lorsqu'en 1984, deux variétés locales, N'Gabiri Kimé et Boutouri Houta, ont résulté en un meilleur rendement comparativement aux autres dans un essai non-irrigué, à cause de leur tolérance à la sécheresse. Cependant, une variété du Soudan, P1058, a démontré un niveau intermédiaire de tolérance à la sécheresse dans un essai non-irrigué, et a eu un meilleur rendement sur toutes les autres variétés dans l'essai irrigué. Dans un essai de tolérance à la sécheresse effectué en sols sablonneux à Kolo en 1985, l'hybride F_1 Hageen Durra du Soudan a démontré de façon remarquable, une adaptation en sols sablonneux infertiles et susceptibles à la sécheresse. Une étude sur l'aptitude à la combinaison est actuellement en préparation en collaboration avec Purdue, pour produire et évaluer les hybrides F_1 dans plusieurs localités du Niger. Ceci sera effectué sous des conditions pluviométriques et d'irrigation à partir du début de la contre-saison de 1985/1986. Le chercheur associé d'INTSORMIL, Monsieur Tom Tyler, un étudiant diplômé de l'Université de Purdue, évaluera ces hybrides F_1 pour servir de sujet à une partie de sa thèse de maîtrise. Cette étude a comme objectif de déterminer l'aptitude spécifique et générale de combinaison de quatre (4) (lignées A) mâles stériles avec un nombre de variétés restauratrices locales introduites (lignées R). Les hybrides sont produits par l'INRAN à Kolo et à Purdue en vue d'assurer des quantités suffisantes de semence. Cette étude fournira également une information plutôt précise sur le rendement potentiel, qui peut être utilisée avec les hybrides dans plusieurs localités du Niger. Nous pensons qu'il serait utile d'entreprendre simultanément des analyses économiques, en vue de déterminer la logique de production par les hybrides de sorgho au Niger. Une telle étude pourrait inclure le coût des entrées (semences, engrais, irrigation, labeur, etc.), les revenus économiques des paysans et la demande potentielle pour les semences d'hybrides au Niger. Nous suggérons également une étude sur la qualité alimentaire pour déterminer la qualité des essais d'hybrides pour la préparation du "Tuwo", (c'est-à-dire, une étude sur l'aptitude de combinaison pour la qualité alimentaire des lignées A et R). Nous soumettons ces propositions au DECOR et au Laboratoire de la Qualité Céréalière pour des discussions.

Universités de Nebraska, de l'Etat du Kansas et d'Arizona

Le matériel de sélection introduit dans ces programmes a souligné la tolérance à la sécheresse et/ou les températures élevées. La plupart du matériel a été criblé sous des conditions de stress hydrique en Arizona, selon un système progressif d'irrigation "line irrigation system" et a été jugé tolérant sous les conditions climatiques des Etats-Unis. Une collection de sept (7) populations brassées au hasard (une du Mali, une du Nigéria et cinq des Etats-Unis) a été semée en 1984, en sols sablonneux près de Kolo, et criblée deux semaines plus tard pour la survie des petites plantes, période à laquelle le sévère stress hydrique a frappé. Seulement 5% des petites plantes des populations américaines ont survécu, contre 35 et 40% de survie des populations du Mali et du Nigéria. Enrevanche, 80% de la variété locale Bagoba a survécu. Dix-sept (17) des lignées de l'Université du Nebraska jugées tolérantes à la sécheresse furent semées en sols sablonneux à Kolo en 1985. Les 17 lignées furent frappées sévèrement d'un rabougrissment et tardèrent à fleurir, ce qui résulta en un mauvais pourcentage de grenaison. Les lignées introduites des Etats-Unis et d'autres pays s'adaptèrent très mal aux conditions particulières en sols sablonneux. Nous avons constaté que les variétés de sorgho dunaire bien adaptées apparaissaient en moyenne deux à trois jours plus tôt et possèdaient une meilleure vigueur après la levée, comparativement aux variétés introduites. L'adaptation en sols sablonneux au Niger est probablement dûe aux combinaisons des facteurs, tels que la tolérance aux sols acides, la fertilité pauvre et les dégâts causés par les vents de sable, aussi bien que la chaleur et le stress hydrique. L'adaptation remarquable des sorghos dunaires nigériens mérite une recherche sur le mécanisme de tolérance, et ils doivent être utiles comme plasma germinatif pour les programmes de

sélection, où la tolérance d'un ou plusieurs de ces stress sont des objectifs. En vue de cribler le matériel de sélection d'une manière effective et cohérente, il sera nécessaire d'avoir une source d'eau sûre (c'est-à-dire un système d'irrigation).

Kolo, qui est la seconde station de recherche la plus importante du Niger, ne possède pas un système d'irrigation opérationnel. Sans irrigation, les essais de contre-saison sont impossibles, et les essais, le matériel de sélection important ainsi que les multiplications pendant la campagne agricole sont toujours sujets aux risques de perte. Les facilités d'irrigation seront également nécessaires pour le travail de tolérance à la sécheresse par l'agronome proposé d'INTSORMIL, qui sera affecté à Kolo. Aussi, nous incitons des discussions sur les besoins techniques pour un système d'irrigation à Kolo et des sources possibles de financement pour un tel système.

ICRISAT

Du matériel de sélection a été également reçu du siège d'Hyderabad (Inde), de l'ICRISAT/Mali et de l'ICRISAT/ Burkina-Faso. Les essais reçus d'Hyderabad comportaient la pépinière de la cécidomyie et celle des lignées A et B avec quarante cinq (45) paires différentes A et B. Les lignées B et A de l'ICRISAT, dont quelques unes sont très précoces et à tiges courtes, doivent être utiles pour la production des hybrides F_1 avec des variétés restauratrices (R) nigériennes, qui sont de tiges et cycles intermédiaires. La collection nigérienne de 369 variétés locales de la Collection Mondiale de Sorgho de l'ICRISAT a été également reçue d'Hyderabad et est maintenue à Tarna.

L'ICRISAT/Burkina-Faso a fourni la Pépinière Internationale sur la Résistance au *Striga* qui a été plantée à Bengou en 1983 et 1984. Les infestations de striga étant trop faibles et incohérentes, il a été décidé que cette pépinière ne serait pas semée en 1985. Les lignées de sélection ont été également reçues du Burkina-Faso, y compris la variété ISCV1004, qui était suffisamment prometteuse pour être inclue dans un essai de rendement variétal exotique à Tarna, Kolo, Bengou, Lossa et Konni en 1985.

Les sélections du programme d'amélioration des populations de l'ICRISAT/Mali, ont été semées en sols dunaires et en sols de vallée à Kolo, en 1984/1985. Ces introductions ont démontré une meilleure adaptation dans les conditions semi-arides au Niger, que celles des autres pays. Leurs panicules semi-ouvertes et leurs longues glumelles ont des caractéristiques particulièrement désirables, en vue de réduire la sévérité des dégâts causés par les punaises d'épis. Elles ont prouvé également une certaine adaptation aux sols sablonneux et au stress hydrique.

Discussion (Session I)

Question (pour Clark, par Gonda)

Il a été dit, lors de votre exposé, que du matériel d'irrigation sera mis en place dans la station de Kolo afin de conduire un programme d'étude sur la résistance à la sécheresse du sorgho. Est-ce que des dispositions ont été prises ou sont en voie d'être prise pour intervenir sur d'autres stations à l'interieur du pays, mais en mettant l'accent, cette fois-ci sur l'étude de la résistance à la sécheresse du mil?

Réponse

Mes remarques en ce qui concerne les besoins pour un système d'irrigation à Kolo étaient sous forme de recommandations et, je faisais allusion à tous les programmes de sélection sur la station, non seulement pour le sorgho mais aussi bien le mil, le maïs et le niébé. Ce n'est pas à moi de dire quelles stations devront avoir un système d'irrigation; l'INRAN se chargera de cela selon ses priorités. Cependant je suis d'accord que l'on effectue des criblages pour la tolérance à la sécheresse dans plusieurs locations et, en conséquence il serait utile d'avoir un système d'irrigation dans les stations de chaque département du Niger.

Question (pour Adamou, par Jepson)

Vous avez dit que le Programme de Sorgho a changé en 1978 après une consultation avec le Service de Vulgarisation. Comment est-ce que les paysans sont associés à ce programme?

Réponse

Les renseignements sur les besoins du paysan sont fournis par les cadres départementaux de l'agriculture qui sont en contact permanent avec les paysans. Les objectifs sont définis selon les besoins du paysan. Il est difficile de faire accepter par un paysan une variété nouvelle s'il est en possession de la sienne. Il serait souhaitable que toute nouvelle variété ou technique réponde aux exigences du paysan. Les besoins du paysan sont chaque année discutés en réunion.

Question (for Clark, by Gonda)

During your presentation you said that irrigation facilities would be provided to the Kolo station in order to conduct a study on the drought-resistance of sorghum. Have arrangements been made, or will arrangements be made, to take similar action at other stations within the country, but this time for the drought-resistance of millet?

Response

My remarks about the need for an irrigation system at Kolo are in the form of a recommendation and I was referring to all crop programs at the station, not only for sorghum, but for millet, maize and cowpeas as well. It's not for me to say which stations will have irrigation systems. INRAN, as an organization, will decide that according to its priorities. However, I do agree that it is desirable to do drought tolerance screening at several locations and it would therefore, be useful to have irrigation systems at stations in each department of Niger.

Question (for Adamou, by Jepson)

You said that the sorghum program was changed in 1978 following consultations with the Extension Service. How are the farmers involved in this program?

Response

Information on the farmer's needs is given by the agricultural officers in each region, as they are constantly in touch with the farmers. Objectives are defined according to the farmer's needs. It's difficult to get a farmer to accept a new variety if he has got one of his own. It would be desirable for each new variety or technique to meet the farmer's requirements. The needs of the farmers are discussed at annual meetings.

Commentaire (par Oumarou)

Je constate que le programme sorgho s'occupe principalement de la recherche de variétés de vallée. Ou, les terres de vallée sont de superficie limitée. Pour la promotion de la culture du sorgho au Niger il serait opportun que le programme mette aussi l'accent sur la recherche des variétés adaptées aux sols dunaires. Pour ce qui concerne le programme de sorgho hybride, je pense qu'il doit concentrer ses efforts pour la recherche des meilleurs hybrides de vallée pour aménagements où leur utilisation se prolifie.

Comment (by Oumarou)

I see that the sorghum program deals mainly with research on valley varieties. However, valley soils occupy a limited area. In order to promote sorghum cultivation in Niger it would be wise for the program to emphasize research on varieties which are adapted to dune soils. Concerning the hybrid sorghum program, I think that it should focus on developing the best valley hybrids for areas where their utilization is increasing.

Question (pour Adamou, par Ouattara)

La priorité doit être donnée au sorgho dunaire et de valée car le sorgho est cultivé en majorité en sols vallée, et parce que le développement de l'irrigation (en grandes et petits parcelles), nécessite l'utilisation de variétés à haut rendement.

Réponse

En général, le sorgho est une culture qui se comporte mieux en sols lourds et bien structurés (vallée, maggia, etc.). Au Niger, les sols arables sont en majorité dunaires souhaitables pour la culture du mil. Pour cette raison la recherche sur sorgho dunaire occupe une place signicative dans notre programme. La recherche sur les hybrides expérimentaux est menée dans l'objectif de développer un matériel à haut rendement en parcelles irriguées. Donc, le programme a envisagé le développement de variété et d'hybrides à haut rendement. Sur les sols dunaires on utilisera de matériel adapte à ces type de sol et qui est précoce et résistant à la sécheresse.

Question (for Adamou, by Ouattara)

Priority must be given to dune sorghum *and* valley sorghum because most of the sorghum is cultivated in valleys, and because the development of irrigation (in large and small plots) requires the use of highly productive varieties.

Response

In general, sorghum is a crop which does best on heavy, well-structured soils (valley, maggia, etc.). In Niger the arable soils are, in the main, dune soils suited to the cultivation of millet. For this reason, research on dune sorghum occupies a significant place in our program. Research on experimental hybrids is done with a view to developing material with a high yield potential for irrigated plots. Thus, the program has envisaged the development of highly productive varieties and hybrids for irrigated areas. The dune soils will use material which is adapted to such soils, early-maturing and drought-resistant.

Program de Sélection du Mil au Niger

Neino Jika et Botorou Ouendeba
INRAN

Résumé. Le mil (*Pennisetum americanum* L.) est cultivé sur près de 3,5 millions d'hectares et constitue la nourriture de base du paysan nigérien. Des prospections effectuées en fin des campagnes 1978, 1979 et 1980 ont permis de collecter un grand nombre de cultivars locaux et de circonscrire leurs zones de culture. Un travail intensif de sélection a été entrepris sur ces populations dans le but de créer des populations épurées à partir desquelles seront développées des variétés synthétiques ou des composites. Plusieurs populations épurées et leur version précoce ont ainsi été mises au point: GR-P1, HKB-P1, ZA-P, TB-P1, DG-P1, Moro-P1, BA-P1, H80-10 GR, HKPP3, etc. Bien que ces populations soient homogènes et stables, leurs rendements sont restés inférieurs à ceux des variétés déjà vulgarisées. Un travail de sélection récurrente est actuellement mené sur ce matériel épuré dans le but d'aboutir à des variétés plus productives, de bonne qualité organoleptique et présentant une tolérance aux maladies et insectes rencontrés au Niger. Parallèlement, des études sur l'aptitude spécifique à la combinaison se poursuivent.

L'introduction de matériel exotique a permis d'introduire de nouveaux gènes au sein des variétés locales. Les nouvelles variétés prometteuses sont régulièrement mises en compétition dans les différentes structures de l'INRAN (station et point d'appui) localisées dans différentes zones écologiques du Niger.

The Millet Breeding Program in Niger

Abstract. In Niger, millet (*Pennisetum americanum* L.) is cultivated on approximately 3.5 million hectares of land and constitutes the staple food of the Nigerien farmer. Germplasm expeditions completed at the end of the 1978, 1979 and 1980 agricultural seasons made it possible to collect a large number of local cultivars and to delineate their areas of cultivation. Intensive breeding work was done on these populations in order to rogue them for use in the development of new synthetic or composite varieties. Several purified populations and their early-maturing varieties were thus developed: GR-P1, HKB-P1, ZA-P, TB-P1, DG-P1, Moro-P1, BA-P1, H80-10GR, HKP-P3, etc. Although these populations are homogeneous and stable, their yields remain lower than those of the varieties already promoted. Recurrent selection is currently being done on this selected material, in order to ultimately develop more productive varieties which have good organoleptic properties and are resistant to the diseases and insects found in Niger. At the same time, specific combining-ability studies are being continued.

The introduction of exotic material made it possible to introduce new genes into the local varieties. New varieties which seem promising are regularly subjected to evaluation at the INRAN stations and substations situated in the different ecological zones of Niger.

Introduction

Le Niger, pays sahélo-saharien, couvrant une superficie de 1.267.000 km^2, est situé entre le 12ème et le 23ème degré de latitude Nord. Plus de 80% du pays se trouve en dessous de l'isohyète 105 mm. Le climat est caractérisé par une saison sèche d'octobre à mai, et une saison des pluies de durée variable. Malgré les fortes contraintes pluviométriques, l'agriculture et l'élevage demeurent les principales activités de la majorité de la population (plus de 87% de la population s'y consacrent). Les surfaces cultivables du pays ne représentent que 12% du territoire national et seulement 3% sont effectivement mises en valeur. Plus de 3.500.000 hectares sont chaque annee emblavés en mil. Il est cependant important de noter que le rendement moyen à l'hectare reste encore très bas (250 kg). Ce faible niveau de productivité est principalement lié aux conditions climatiques du Sahel. Les difficiles conditions de production et la faible pluviométrie enregistrée ces dernières années ont conduit l'INRAN (Institut National de Recherches Agronomiques du Niger), à élaborer un programme ambitieux de recherches sur les principales cultures vivrières parmi lesquelles le mil est la plus importante. En effet, un des objectifs prioritaire pour le Niger est d'assurer son autosuffisance alimentaire. La réalisation de cet objectif passe nécessairement par l'augmentation substantielle des rendements. Une meilleure connaissance des différents facteurs de production doit contribuer de façon certaine à l'accroissement de la production céréalière en général et de celle du mil en particulier.

Le mil (*Pennisetum americanum* (L.) K. Schum. [*P. thyphoïdes* (Burm.) Stapf et C.E. Hubb.] est une espèce annuelle originaire des zones semi-arides d'Afrique. L'espèce est subdivisée en trois espèces morphologiquement différentes:

—sous-espèce *P. américanum* comportant tous les mils cultivés;
—sous-espèce *P. monodii* corespondant au type sauvage;
—sous-espèce *P. stenostachynum* qui renferme tous les types intermédiaires.

Le mil cultivé est une céréale qui a un potentiel de rendement énorme; il est agronomiquement intéressant à cause de sa capacité de production sur sol pauvre bénéficiant de faible pluviométrie (200 à 250 mm).

Au Niger, les variétés locales sont généralement de grande taille et peuvent être réparties en trois grands groupes selon la longueur de leur cycle:

—*Les semi-tardifs* (Somno ou Maïwa) atteignent la maturation entre 120 et 150 jours après le semis. Ils sont cultivés dans les zones où la longueur de la saison des pluies leur permet de boucler leur cycle de développement.

—*Les mils hâtifs* localement appelés Heinikiré ou Guéro. Leur cycle semis-maturité varie entre 80 et 100 jours. C'est le groupe le plus cultivé au Niger.

—*Les mils hâtifs* arrivent à maturité 65 à 75 jours après le semis. Leurs épis sont

Tableau 1. Récapitulation des rendements (kg/ha) à Tarna en 1980, 1981 et 1982.

	1980	1981	1982	Moyenne
Composite Nain Tarna	2252	2407	1715	2124
3/4 HK	2170	2252	1830	2084
3/4 Séno	2263	2115	1210	1862
CIVT	2288	2333	1915	2178
HKP	2245	2274	2230	2249
Composite Zongo	2071	1907	1300	1759
Zongo local	1693	2085	1055	1611

généralement très courts (20 à 30cm); au Niger, ces types de mil sont cultivés principalement dans les zones à faible pluviométrie.

Les principales orientations et objectifs de recherches sur le mil

La recherche sur le mil vise essentiellement la création et le maintien de variétés plus performantes que les locales, avec des rendements stables et une certaine résistance aux insectes et aux maladies communément connues au Niger. Les mils locaux nigériens généralement de grande taille présentent une grande variabilité inter et intra population pour plusieurs caractères agronomiques:

—cycle semis-floraison (50%);
—forme, compacité et longueur de l'épi;
—hauteur et diamètre de la tige;
—poids de 1.000 grains et nombre de grains par épi, etc.

Partant de cette variabilité, les objectifs de recherche ci-dessous sont retenus:

I. Mise en collection systématique des populations locales du Niger

A la demande des services de l'agriculture, l'amélioration du mil a été principalement orientée sur une meilleure connaissance des différentes caractéristiques agronomiques des principales populations locales et l'évaluation exhaustive de leurs potentialités en rendement grain. Les prospections effectuées en 1977, 1978, 1979, et 1980, ont conduit à la collecte de plusieurs cultivars largement utilisés au Niger.

II. Amélioration des populations locales

L'orientation principale en matière de recherche sur le mil reste la mise au point de nouvelles variétés synthétiques et/ou composites à haut rendement à partir des populations locales les plus performantes. Les semences de telles variétés peuvent facilement être renouvelées par les paysans contrairement aux variétés hybrides où des dispositions particulières sont nécessaires pour une production continue des semences F_1.

Les pertes de rendement occasionnées par la verse sur les cultivars locaux de grande taille exige une étude des différentes sources de nanisme actuellement disponibles en vue de leur utilisation dans la création de variétés nouvelles à hauteur réduite.

1) *Épuration des populations locales*

La méthodologie retenue se résume comme suit:

—Evaluation des caractères agronomiques de la population concernée; autofécondation de plusieurs centaines d'épis (500 à 800).

Tableau 2. Essai comparatif de populations améliorées, 1984 (kg/ha).

Variétés	Localité				
	Tarna	Magaria	Kolo	Bengou	Kala Paté
GR-P1	018	658	241	702	666
HKP	083	766	227	761	699
DG-P1	069	695	207	776	744
CIVT	139	722	392	602	656
HKP3	410	731	250	847	831
T18L	23	650	282	673	888
HKB-P1	399	649	187	758	739
H.80.10GR.	128	686	301	986	618
Pluviometrie (mm)	220	291	305,2	555,2	216,8

—Test des S_1 et identification des lignées homogènes, conformes au cultivar originel et à rendement acceptable.
—Brassage ou recombinaison des meilleures lignées pour aboutir à la population épurée P_1 (2 à 3 recombinaisons).
—Essais comparatifs des populations épurées, en présence des populations originelles.

Cette méthode a permis d'obtenir plusieurs populations dont: GR-P_1, ZA-P_1, TB-P_1, DG-P_1, BA-P_1, Auk-P_1, Moro-P_1. En plus de l'élimination totale du chibra, l'épuration a permis une augmentation sensible du poids des 1.000 grains et du poids des épis de ces populations (*cf* tableaux annexes).

2) *Sélection pour la précocité*

Il s'agit de mettre au point des versions précoces des populations locales soumises à l'épuration. Au cours de l'épuration, les lignées les plus précoces sont utilisées pour l'obtention de la version précoce du cultivar soumis à l'épuration. Ce cheminement a permis de mettre au point les cultivars suivants: H80.10GR et HKP3, etc.

III. Introduction et étude du matériel exotique

Les introductions ont pour but essentiel:

—d'identifier du matériel possédant des caractères agronomiques intéressants (nanisme, résistance aux maladies ou aux insectes, précocité etc.) pouvant être transférés sur les variétés locales.

—de faciliter l'obtention de variétés intéressantes mises au point par d'autres institutions et qui pourraient surclasser en rendement les populations actuellement cultivées au Niger.

Mise en place d'une collection de matériel exotique

L'introduction et le maintien des génotypes

Tableau 3. Essai préliminaire sur des synthétiques, 1984 (moyenne de deux sites: Maradi et Sadoré).

Entrée	Nombre de jours semis-floraison (50%)	Hauteur de la plante cm	Longueur de l'épi cm	Rendement en grain kg/ha	% par rapport à CIVT
SYN-2	66	220	47	559	116
SYN-3	63	190	33	618	128
SYN-5	68	208	45	517	107
SYN-6	66	207	51	487	101
SYN-10	61	204	34	509	106
SYN-9	63	201	46	664	138
SYN-8	61	188	42	756	157
SYN-4	66	199	40	552	114
SYN-7	59	200	37	426	88
CIVT	67	206	58	482	100
SYN-11	64	198	36	400	83
Moyenne	64	202	43	543	-
Ppds	4,2	20,5	11,5	178	-
CV (%)	6,8	8,6	13,4	22,4	-

africains et particulièrement ceux des pays du Sahel se poursuivent. Parallèlement, des mils cultivés dans d'autres pays non africains sont introduits et l'étude de leur comportement dans nos conditions climatiques est poursuivie. Les variétés ou lignées présentant des caractères intéressants sont régulièrement retenus pour être utilisés pour l'amélioration de la productivité des variétés nigériennes.

IV. Étude génétique du matériel local épuré

1) *Étude de l'aptitude générale à la combinaison (A.G.C.)*

Cette étude est déterminante pour la mise au point de synthétique ou de composite à bonne potentialité en rendement. Elle permet de déceler avec certitude, des lignées ou des variétés présentant une bonne aptitude à se combiner entre elles.

2) *Étude de l'aptitude spécifique à la combinaison (A.S.C.)*

Cette étude permet d'obtenir des informations précises sur l'aptitude à la combinaison des populations épurées vis-à-vis d'un ou de plusieurs imbreds à base génétique étroite. L'étude de l'A.S.C. permet d'identifier les lignées dont la combinaison présente une bonne vigueur hybride.

V. Sélection récurrente sur les populations épurées

Les populations épurées obtenues au cours du programme 1979-1983 sont soumises à un travail de sélection récurrente dans le but non seulement de rehausser leur productivité, mais également pour mettre au point de nouveaux composites et/ou synthétiques inter-populations à bonne productivité.

VI. Développement et conservation des pools de gènes

Des pools de gènes doivent être constitués à partir de plusieurs populations présentant des caractéristiques identiques (cycle, aristation, couleur des glumes ou des grains etc.)

— mils précoces (75 à 85 jours);
— mils à cycle intermédiaire (90 à 95 jours);
— mils semi-tardifs (120 à 140 jours);
— mils à épis aristés;
— mils à glumes et grains pourpres, etc.

VII. Expérimentation

Des essais variétaux sont conduits dans les structures de l'INRAN (stations et point d'appui) et des projets de développement. Deux types d'essais sont identifiés:

— essais comparatifs des variétés améliorées (tableau 1);
— essais de comportement des populations améliorées (tableau 2).

Discussion

Question (pour Ouendeba, par Andrews)

Quels sont les pourcentages bruts de la production nationale attribués aux trois (3) types principaux de mil décrits ici? Pensez-vous que ces pourcentages ont changé avec la prolongation de la sécheresse ces dernières années?

Réponse

Les mils cultivés au Niger se répartissent en trois groupes:

1) les mils semi-tardifs = 120 à 150 jours du semis à la récolte (10%)
2) les mils hâtifs = 80 à 100 jours (70%);
3) les mils très hâtifs = 65 à 75 jours (20%).

Les prospections faites en 1984 (novembre) dans les départements de Dosso et Niamey nous ont permis de constater une nette descente vers le sud (plus pluvieux) de la culture du Maiwa ou Somno. Cette tendance est due essentiellement aux faibles pluviométries enrégistrées ces dernières années.

Question (pour Ouendeba, par Persaud)

Dans vos essais multilocaux sur le terrain des variétés céréalières, effectuez-vous régulièrement des observations agro-météorologiques durant la croissance de la céréale? Si ceci est le cas, quelles observations faites-vous?

Réponse

L'idéal serait d'avoir une station météorologique dans les différentes localités. En effet les stations et les points d'appui de l'Institut National de Recherche Agronomique du Niger ne possèdent pas les infrastructures nécessaires pour effectuer toutes les observations agro-météorologiques.

Dans chaque localité on fait d'abord toutes les observations phénologiques puis on mesure les rendements par parcelle élémentaire et on précise également les quantités de pluie tombées pendant la campagne et le nombre de jours de pluie.

Question (for Ouendeba, by Andrews)

What are the gross percentages of the national production attributed to the three main types of pearl millet described. Do you think these percentages have changed because of the prolonged drought in the past several years?

Response

The millets cultivated in Niger can be divided into three groups:

1) semi-early millets—120 to 150 days from planting to maturity (10%).
2) early millets—80 to 100 days (70%).
3) very early millets—65 to 75 days (20%).

Germplasm collections completed in 1984 (November) in the districts of Dosso and Niamey enabled us to observe a distinct movement in the cultivation of Maiwa and Somno millets toward the south (where there is higher rainfall). This trend is mainly due to the low levels of rainfall recorded over the past few years.

Question (for Ouendeba, by Persaud)

In your multilocational field testing of cereal varieties do you routinely take agrometerological observations during the growth of the crop and, if so, what observations do you take?

Response

The ideal situation would be for us to have meteorological stations in the different districts. However, the stations and substations of the National Agronomic Research Institute do not have the necessary infrastructure to make all the agrometeorological observations.

In each district all the phenological observations are made. The yields per unit plot are measured and a record is made of the amount of rainfall accumulated during the season and the number of days it rained.

Commentaire (for Ouendeba, par Reddy)

Le rendement des variétés varie selon les stations. Cela ne doit pas être mis attribué à la variété uniquement mais aussi doit être analysé en relation avec les données pluviométriques et les dates de semis. Certaines stratifications sur les pluies et facteurs variétaux sont nécessaires, pour pouvoir savoir quelle est la meilleure variété pour une pluviométrie ou date de semis donnée. On pourrait établir une moyenne sur les résultats à travers les stations, mais ce genre de stratifications aiderait dans la séparation de variétés pour des situations spécifiques.

Réponse

Ceci est un bon commentaire mais mon intention est de montrer uniquement les faibles rendements obtenus au cours de la campagne 1984 qui a été particulièrement sèche (par exemple, 220 mm à Tarna alors que la moyenne annuelle est de 600 mm). Le tableau nous montre aussi que les variétés testées ne se comportent pas de la même façon dans les différentes localités.

Commentaire (par Axtell)

Tout récemment, un témoignage sur les rendements de la variété Hageen Dura-1 au Soudan, a démontré que l'avantage des hybrides sur les variétés locales est beaucoup plus grand sous des conditions de culture pluviale que sous irrigation. (Aux Etats-Unis l'hybride du maïs a probablement beaucoup plus d'avantage sur les superficies marginales de la "zone du maïs" de la zone centrale.) On devrait également tenir compte des hybrides du sorgho en ce qui concerne les zones de stress (sols sablonneux) du Niger, car les données démontrent qu'une partie de l'avantage de l'hybride est la tolérance au stress.

Comment (for Ouendeba, by Reddy)

Varietial yield response from different stations varies widely. It should be interpreted not only as a varietal response but also in relation to the rainfall pattern and planting dates, etc. Some kind of stratification of the rainfall and varietal factors is needed to understand which variety responds to which kind of rainfall or planting dates. Making averages across the stations might help some but this kind of stratification would help to tailor varieties for specific situations.

Response

That's a very good comment, but my intention is to show only the low yields obtained during the 1984 agricultural year which was particularly dry (eg., 220 mm in Tarna, while the annual average is 600 mm). The table also shows that the varieties tested did not behave in the same way in the different regions.

Comment (by Axtell)

Current evidence on the yields of Hageen Dura-1 in Sudan show that the advantage of hybrids over local varieties is greater under rainfed conditions than under irrigation. (In the U.S.A. hybrid corn probably had a greater advantage in marginal areas of the corn belt in the central belt.) Sorghum hybrids should also be considered for stress areas (sandy soil types) of Niger because data shows that a part of the heterosis advantage is in stress tolerance.

Pearl Millet Improvement Program of the ICRISAT Sahélian Center

Anand Kumar, L.K. Fussell, and K.F. Nwanze
ICRISAT

Abstract. This paper gives an overview of the ICRISAT Sahelian Center's (ISC) Pearl Millet Improvement Program. A brief summary of research results and cooperative activities is also included.

West Africa is the most important region of pearl millet production in Africa. Between West Africa and Sudan it is grown on an estimated 14.4 x 10^6 ha but the average grain yields are low. Both abiotic and biotic stresses are constraints to production.

ICRISAT initiated research on pearl millet improvement in four countries in West Africa, in 1976, in collaboration with the national programs. Breeding efforts in these programs have led to the development of several varieties that have been released in individual countries, or are at various stages of advanced testing in national and regional programs.

The program objective is to provide a service to assist in breeding superior genetic material, the development of stress-screening techniques, germplasm supply, training, and information dissemination.

Research priorities include genetic resources assessment, development of screening techniques for abiotic and biotic stresses, identification and use of stress resistances, breeding for yield, and millet production systems. A brief summary of progress in regional and international cooperative activities include working directly with national programs and two regional organizations, Comité Permanent Interétats de Lutte Contre La Sécheresse dans Le Sahél (CILSS) and Semi-Arid Food Grain Research and Development (SAFGRAD). ISC works closely with scientists from Institut National de Recherches Agronomiques du Niger (INRAN) in several areas of millet improvement. ICRISAT has conducted two regional workshops on pearl millet improvement, and one on intercropping in collaboration with CILSS and the International Development Research Center (IDRC). These annual workshops have strengthened the linkages between ICRISAT and national and regional programs.

Le Programme d'Amélioration Génétique du Mil du Centre Sahélien de l'ICRISAT

Résumé. Cet article donne une vue générale du programme de l'amélioration génétique du mil du Centre Sahélien de l'ICRISAT (ISC). Un bref résumé des résultats de la recherche et des activités de la coopération est aussi présenté.

L'Afrique de l'Ouest est la région la plus importante dans la production du mil. Il occupe environ $14,4 \times 10^6$ ha dans la région comprise entre l'Afrique Occidentale et le Soudan, cependant le rendement moyen reste toujours faible. Les contraintes de production sont à la fois les conséquences des stress biotiques et abiotiques.

L'ICRISAT, en 1976, a lancé des recherche sur l'amélioration génétique du mil dans quatre pays de l'Afrique de l'Ouest, avec la collaboration des programmes nationaux. Les efforts de sélection ont permis de développer des variétés disponibles aux agriculteurs dans ces pays individuellement, ou bien qui sont à différents stades dans les tests avancés des programmes nationaux et régionaux.

L'objectif du programme est de mettre en oeuvre un service qui aidera à la sélection d'un matériel génétique supérieur, au développement des techniques de sélection en présence du stress, à la fourniture du plasma germinatif, à la formation des cadres et à la vulgarisation.

Les priorités de la recherche comprennent l'évaluation des ressources génétiques, le développement des techniques de sélection en présence des stress abiotiques et biotiques, l'identification et l'utilisation de la résistance à ces stress, la sélection pour le rendement et les systèmes de production du mil. Un bref résumé des progrès dans les activités de coopération régionale et internationale inclut le travail direct avec les programmes nationaux et avec deux organisations régionales; le Comité permanent Interétat de Lutte contre la Sécheresse dans le Sahel (CILSS) et Recherche et Développement des graines alimentaires dans le Semi-Arid (SAFGRAD). L'ISC a des liens de travail étroits avec les chercheurs de l'Institut de Recherches Agronomiques du Niger (INRAN) dans plusieures régions d'amélioration du mil. L'ICRISAT a conduit deux conférences-ateliers régionales sur l'amélioration du mil, et une autre sur les cultures et association en collaboration avec le CILSS et le Centre International de Recherche et Développement (IDRC). Ces ateliers annuels ont renforcé les liens entre l'ICRISAT et les programmes nationaux et régionaux.

Introduction

Pearl millet is a staple cereal best suited to the harsh climate of the seasonally hot, frequently drought prone semi-arid regions of Africa and the Indian subcontinent. It is grown on an estimated 27 x 10^6 ha in these two regions. ICRISAT, in its revised Ten Year Plan, has divided the millet growing areas of the world into three zones (Table 1). ICRISAT has identified West Africa and Sudan as having a relatively high priority for pearl millet improvement, based on the current area the crop occupies, production practices, past improvement efforts, and potential impact that research will bring about in terms of increased production at the farmer's level. As indicated in Table 1, average grain yields are low in farmer's fields, though some of these figures may be influenced by intercropping of millet with cowpeas, sorghum and maize.

West Africa is the most important region in Africa in terms of area cropped, and production of pearl millet, and the most important regions for pearl millet are in the Sahelian (300-600 mm annual rainfall) and in the Sudanian (600-900 mm) bioclimatic zones (Table 2). In these zones, the rainy period varies from 68-102 days in the Sahelian zone, and 102-140 days in the Sudanian zone, hence the crop growth period also varies across the bioclimatic zones. Variations in crop growth period, soil types in relation to moisture-holding capacity, and human and natural selection have led to the existence and cultivation of several landraces by the farmers. At the ICRISAT Sahelian Center (ISC), we have delineated the distribution of early (75-90 days from planting to maturity), mid-late (90-110), and late (110-150) pearl millet landraces in West Africa. There are numerous landraces that are differentiated by the farmers. The broad groups include the Souna (Mali, Senegal), Gero (Nigeria), Nara (Ghana), Iniari (Burkina Faso), Misse (Togo and

Table 1. Geographic zones of pearl millet production.

Zone	Countries	Priority	Area (10^6 ha)	Average Yield	Major collaborators
I	Sahelian and sub-Sahelian Africa (Burkina Faso, Cameroon, Chad, Ghana, Mali, Mauritania, Niger, Nigeria, Senegal, Sudan, Togo)	1	14.36	521	SAFGRAD, CILSS, and national programs
II	India and Pakistan	1	11.81	555	ICAR, PARC, and universities
III	Southern and eastern Africa (Angola, Botswana, Kenya, Malawi, Mozambique, Tanzania, Uganda, Zambia, Zimbabwe)	2	0.72	500	SACCAR and national programs

Source: FAO Production Year Book, 1983; Agriculture Situation in India, August 1984 and 1985; ICRISAT (International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics). 1980. Report of the ICRISAT Mission to Southern Africa (8 Nov - 3 Dec, 1980). 2 pts. Patancheru, A.P. 502 324, India: ICRISAT. (Limited distribution).

Table 2. Area grown to pearl millet in Africa, 1981-1983.

Country	Area (ha x 10^6)
Burkina Faso	0.90
Cameroon	0.50
Chad	1.15
Egypt	0.16
Ghana	0.14
Mali	1.36
Mauritania	0.13
Niger	3.08
Nigeria	4.72
Senegal	1.00
Sudan	1.06
Tanzania	0.19
Togo	0.16
Zimbabwe	0.26
Others	0.28
Total Africa	15.09

Table 3. Pearl millet landraces of Niger.

Ankoutess	Dan Tchama	Haini-kirá
Aiorize	Filé	Kalala
Aderankabi	Foulani	Moro
Bzame	Gamogi	Matam Hatchi
Batoukoucha	Gassama	Massangari
Ba Angoura	Guero	Niei
Boudouma	Gourguera	Tiouma
Bodendji	Goundou	Tamangagi
Bakim Hiri	Goudis	Zanfarma
Dan Barnou	Guissiri	Zongo

Source: Clement, J.C. Les Mils Penicillaires de l'Afrique de l'Ouest: Prospections et Collectes. IBPGR-ORSTOM (in press).

Benin), and Sounwe (Guinee) that represent the early types of millet and the Sanio (Mali and Senegal), Maiwa (Niger and Nigeria), and Zia (Ghana) that are some examples of the late types. Within a country farmers may differentiate numerous landraces. The International Board for Plant Genetic Resources (IBGPR) has recently listed 30 types of landraces that are cultivated in Niger (Table 3), although some of these are morphologically very similar, they have been given different names.

In West Africa, the center of origin of pearl millet, several wild species of *Pennisetum* are found. One of these, the well known species *P. violaceum*, introgresses with cultivated millet to give rise to intermediate forms which are locally called 'shibras'. The significance of this natural introgression is not understood (the wild species and weedy forms are equally susceptible to diseases and insects) but it may contribute towards better seedling establishment in the harsh environments.

Background and organization of research

ICRISAT initiated millet improvement research in West Africa in 1976 in Burkina Faso, Niger, Nigeria, and Senegal. These country programs, as they were called, were initially staffed with plant breeders (positions of entomologists and pathologists were added for varying periods), and have been funded by the United Nations Development Program (UNDP). The country programs are located at national research stations with the major objective of strengthening national programs through collaborative research and training. Research on pearl millet improvement at the ISC was initiated in 1981 and 1982 when a breeder, agronomist, entomologists, and pathologist were appointed.

In the early years of ICRISAT activities in West Africa, it was hoped that as the constraints limiting production were thought to be similar in West Africa and the Indian subcontinent, it would be relatively easy to facilitate the transfer of advanced plant materials from ICRISAT Center. Early results indicated that this material, although it had African parentage, was not readily adapted to the conditions in West Africa, and was limited in the expression of genetic potential. This situation of non-transferability of genotypes from ICRISAT Center has led to an active reorientation towards promoting and selecting for local adaptation in individual country programs. Breeding efforts over the last 8-9 years in these

programs have resulted in the production of several varieties (Table 4) that are in tests by the national programs, and regional trials organized by CILSS. Table 4 gives a listing of varieties bred through ICRISAT-National Program cooperative efforts and their current status. However, these breeding programs often lacked the input of entomologists, pathologists and agronomists.

The ISC is now ICRISAT's West African Center for pearl millet improvement, and pearl millet-based farming systems research. The pearl millet improvement team of ISC will eventually consist of an agronomist, an entomologist, a pathologist, and three breeders (one for the Sahelian region, one for the transition zone, and one to coordinate the regional activities). This team will coordinate with the Resource Management Program of the ISC. It is expected that this inter-disciplinary team, with adequate field and laboratory facilities, should be able to assist and contribute to the genetic improvement of breeding materials available to national programs, develop reliable techniques to screen for resistance to constraints, and participate in training activities.

Program objectives

The program and its output are aimed at the national and regional programs in the region. The program objective is to address the five services described below:

1. Produce genetic material capable of giving higher and more stable yields with acceptable grain quality.

2. Develop and assist in use of stress screening techniques.

3. Make available a range of genetic resources to enhance variability in the breeding programs.

4. Participate in training activities for agricultural research personnel.

5. Help to disseminate research information.

In the pearl millet improvement program, it is realized that increases in production are obtained not only by growing improved varieties, but also by improved agronomic

Table 4. Progress in the breeding and testing of pearl millet varieties in ICRISAT National Program joint activities in West Africa through 1985.

Country	Variety	Status
Burkina Faso	IKMC 8001	On-farm tests
	IKMV 8201	On-farm tests
Cameroon	IBMV 8301	Large scale demonstrations
Chad	ITMV 8001	Farmers' field test
Mali	IBMV 8001	Multiplication
	IBMV 8004	Multiplication
Niger	ITMV 8001	Released
	ITMV 8002	Released
	ITMV 8304	Released and regional tests-CILSS
Nigeria	ICNMV 8010	Advanced yield tests
	ICNMV 8012	Advanced yield tests
	ICNMV 8032	Advanced yield tests
Senegal	IBMV 8001	Released
	IBMV 8004	Released
	IBMV 8401	Released
	IBMV 8006	Regional tests-CILSS
	IBMV 8003	Regional tests-CILSS

practices that make efficient use of available moisture and added nutrients and, in some cases, reduce losses caused by insects and diseases. Therefore, the major research thrusts are problem-oriented and solutions are sought through an inter-disciplinary, coordinated approach.

Priority areas of research

At the ISC the pearl millet improvement team works on six broad research areas with active cooperation from scientists of national programs in the region. These areas are:

1. Collection, evaluation and use of genetic resources.
2. Assessment and development of screening techniques for physical stresses.
3. Assessment and development of screening techniques for biological stresses.
4. Identification and use of stress resistances.
5. Breeding for yield and acceptable quality.
6. Improvement of millet production systems.

Table 5. Accessions of pearl millet germplasm assembled by ICRISAT, from West Africa.

Country	Number of Accessions
Benin	40
Burkina Faso	34
Cameroon	171
Chad	62
Ghana	263
Mali	1039
Mauritania	1
Niger	1032
Nigeria	624
Senegal	374
Togo	75
Total	3715

Research Locations

As the program at ISC develops in the next 1 to 2 years, we hope to have five to six locations available for multilocational testing, selection, and disease and insect pest screening. We are currently using two locations in Niger, kindly made available by INRAN. These are the facilities at INRAN Research Stations at Bengou and Maradi. We also made joint evaluations at the Cinzana Research Station of the Institut d'Economie Rurale, Mali.

Progress made

A brief summary of the progress made under each of the priority areas is given below.

Genetic Resources: ICRISAT in collaboration with national programs and the IBPGR collects, evaluates, documents, maintains, and distributes pearl millet germplasm. We have carried out 15 collection missions in Africa and assembled over 3700 accessions from 11 countries (Table 5). Further expeditions into Chad, Ghana and Mauritania are planned. In the near future, ICRISAT will develop facilities to conserve genetic resources at the ISC and, starting in 1986, will carry out *in situ* evaluation of accessions at one or more locations in each country in cooperation with the national programs.

Assessment and development of screening techniques for physical stress: Physical stresses that result in poor stand establishment include soil fertility, drought stress periods caused by low and erratic distribution of rainfall, high soil surface temperature after seedling emergence (that often reaches 60°C at 1 cm soil depth), and sand storms that lead to blasting and consequent burial of seedlings, result in poor stand establishment. We have demonstrated that genetic differences exist for survival at high temperatures, tolerance to sand storm damage, and seedling drought. We are currently evaluating screening techniques for drought and temperature stresses, and conducting simple laboratory tests to understand the physiological basis of varietal differences.

Assessment and development of screening techniques for biological stress: Techniques for screening for disease reactions, developed at ICRISAT Center, are currently being evaluated at ISC. It has been observed that the level of downy mildew (*Sclerospora graminicola*) and smut (*Tolyposporidium penicillariae*) incidence is high at Bengou (mean annual rainfall 890 mm), and we are developing a disease screening capability there.

The major West African insect pests of pearl millet, stem borer (*Acigona ignefusalis*) and earhead caterpillar (*Raghuva albipunctella*), either do not occur in India or are of minor importance. Therefore our entomology research capability is being developed almost entirely at the ISC. Information on the basic biology of the pests has been gathered to allow manipulation of natural pest population levels to a reasonable level for screening. In addition, pest incidence and distribution maps were developed for Burkina Faso and Niger following extensive field surveys. *Raghuva* spp. infestation was found to be linked with the maturity cycle (pseudo-resistance) of pearl millet.

To identify resistance to *Striga* spp. a large number of West African germplasm accessions were screened in Burkina Faso and Niger. Genetic differences exist for resistance and some susceptible lines are now available. At the ISC, *Striga* spp. work is being conducted by the pathologist. Two *Striga*-infested plots are under development and the levels of infestation are being increased by growing susceptible genotypes in them. Over a period of time we hope these plots will attain infestation levels that will permit resistance screening.

Identification and use of stress resistant factors: This involves the interaction of entomologists, pathologists, agronomists, and breeders. As the program has only recently been initiated, the development of screening techniques involves the evaluation of different genotypes to test the techniques under development.

Breeding for yield: The breeding program is designed to generate improved and adapted parental material and varieties for use by national and regional programs in West Africa. Four research projects are in operation in this area. These include evaluation of accessions, use of germplasm to diversify the genetic base, population improvement, and exploratory research on hybrids.

During 1984, 182 accessions from five countries in West Africa were re-evaluated. Observations made in the previous 2 years on the performance of 28 accessions were confirmed and are being used in the breeding program. In the current year, we have evaluated 400 inbreds generated by the ICRISAT-Institut Senegalais de Recherche Agricole (ISRA) program in Senegal, and selected several of them for involvement in crosses, or in our proposed populations.

To diversify the genetic base, 30 F_1's, 172 F_2 populations, 1362 F_3 progenies, 235 F_4 progenies and 223 backcross 1 F_3 and F_4 progenies were evaluated during 1984. Selected progenies were advanced for testing in 1985 and about 30 synthetics were made. These synthetics were planted in two preliminary varietal trials at four locations.

In population improvement, 768 progenies (half-sib, S_1 or S_2 progenies) derived from ICRISAT-INRAN genepools were evaluated. Sixty-five progenies were selected to form three varieties and also for use in the breeding program. During the off-season of 1985 over 450 F_1's were produced from crosses between elite varieties of this region. These are under evaluation and selected crosses will be put into an "Elite Composition" which will be improved by using multilocational recurrent selection.

In the male-sterile breeding program, eight different genetic backgrounds are in use. The material is in the third to the seventh backcross generations. Evaluations carried out in 1984 indicated that hybrids were relatively early (these were on 81A (ICMA 1) and other male-steriles), had reduced height and ear-length, and showed increased tillering. As downy mildew pressure was low at the ISC Research Station at Sadore, a hybrid trial with 22 test entries (including hybrids of male-sterile x variety, maintainer x inbred or variety, and inbred x variety) was planted at the INRAN Station at Bengou, because high downy mildew pressure was more likely at this location. In 1984 (a drought year with 250 mm rainfall), the hybrids were higher yielding than the local or improved varieties. The trial will be repeated in 1985. Several lines at various levels of inbreeding were chosen in the current season for possible conversion into male-sterile lines.

At the ISC, the Institut Francais de

Recherche Scientifique (now Le Development en Cooperation, ORSTOM), in collaboration with ICRISAT, is attempting to transfer cytoplasm from *Pennisetum violaceum* to cultivated pearl millet backgrounds to breed male-sterile lines for possible use in hybrid development.

Millet production systems: It was observed that increases in plant density from 3 000-20 000 hills ha^{-1} results in positive yield response across years and locations. However, under low-fertility conditions response to plant density was less marked. There were large responses to added phosphatic fertilizer in farmers' fields. In millet-cowpea intercropping trials, millet grain yield was progressively reduced as the proportion of cowpea in the system was increased. Gross revenues were the same or better for intercrops than for sole crop depending on the season. The land equivalent ratio indicated a 0-50% advantage for the millet-cowpea intercrop. Much of this advantage came from cowpea-hay yields.

Regional and international cooperative activities: National programs for the improvement of pearl millet exist in several of the West African countries. Strong national programs are in operation in Mali, Niger, Nigeria, and Senegal. Pearl millet researchers, mostly breeders, are present in Burkina Faso, Cameroon, Chad, Gambia, Ghana, Ivory Coast, Mauritania, and Togo, and the strength of millet improvement programs varies widely across countries. ICRISAT does not expect to make a uniform level of scientific and budgetary contribution. The activities and nature of contributions have to be geared to particular needs.

In West Africa we work directly with the national programs in Burkina Faso, Mali, Niger, Nigeria, and Senegal and at a regional level with CILSS and SAFGRAD, contributing to their multilocational trials. We collaborate in Cameroon with the Institute for Agricultural Research (IAR), International Institute of Tropical Agriculture (IITA) and the United States Agency for International Development (USAID); in Chad through the Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO); in Ghana through Deutsche Gesellschaft fur Technische Zusammenarbeit (GTZ); and in Mauritania and Togo with the scientists of the nationai programs.

In Niger we work very closely with the millet improvement team of INRAN. The cooperative activities include joint yield evaluation trials, exchange of genetic material, cooperative research projects on *Raghuva* spp. and on-farm tests. In the future, there will be more cooperative and joint research between INRAN and ISC.

In 1984 and 1985, ICRISAT sponsored regional workshops on pearl millet improvement in cooperation with national programs and a workshop on intercropping in cooperation with CILSS and IDRC in 1984. At the 1984 millet improvement workshop, there were 29 participants from 13 countries, the role of ISC was discussed and recommendations were made. Briefly, some of the recommendations included:

—ICRISAT should direct efforts toward millet improvement in the Sudanian zone.

—ICRISAT should assist in collection, evaluation, and conservation of the pearl millet genetic resources of the region.

—ISC should exchange genetic material with national programs in the region.

—ICRISAT should initiate training activities in the region.

—ICRISAT should organize on its own or in collaboration with national, regional, or international organizations, workshops and field visits.

A need was also expressed that ICRISAT should enlarge the activities of its Sorghum and Millet Information Center (SMIC). Action has been taken on all these recommendations and the participants have expressed their satisfaction.

At the second Regional Pearl Millet Field Tour *cum* Workshop held in 1985, 28 scientists from 11 countries participated. Participants came from Burkina Faso, Cameroun, Chad, Gambia, Ghana, Ivory Coast, Mali, Mauritania, Niger, Nigeria and Senegal. Field visits were organized to the Institut d'Economie Rurale (IER) millet improvement program in Mali, INRAN research station at Kolo, and the ISC. Among the topics discussed were: locations and procedures for yield testing, procedures and problems of seed production of pearl millet varieties, development of male-sterile lines

using *P. violaceum* cytoplasms, isolation of mitochondrial DNA from male-sterile lines, and ISC's pathology program. Participants were also informed about the recommendations made at the 1984 Intercropping Workshop. The program also included a discussion on the recommendations of the 1984 Millet Improvement Workshop and action taken by ICRISAT, and a discussion on the proposed millet working group in West Africa. The group proposed nine activities: evaluation of accessions *in situ*, stress resistance screening methods and their transfer to national programs, seed supply of stress-resistant genotypes, provision to make and supply seed of specific crosses, conduct of exchange nurseries, sponsoring of workshops and field tours, provision of yield trials to specific locations, dissemination of research information, and response to training needs. The participants strongly endorsed the ideas of the Working Group and felt that current annual workshops and field visits fulfill the objectives set for the group. It was recognized that the current "informal working group" has strengthened the linkages between ICRISAT and national programs.

Looking Ahead

West Africa, an identified priority region in our 10-Year Plan, will receive more attention. An interdisciplinary approach to problem-solving will be continued. Work on the development of screening techniques to both physical and biological factors and resistance identification will receive priority. In the breeding program, the generation of variability and its utilization will remain important. We are exploring the possible contribution of mychorrhiza in the uptake of phosphorus. We are in the process of establishing a research network of pearl millet improvement scientists in the region and training activities will start soon at the ISC.

We hope to make substantial contributions to pearl millet improvement and production in West Africa by our cooperative working group activities with the national and regional programs, interdisciplinary research, and training.

Programme Cooperatif de l'ICRISAT/INRAN sur l'Amélioration du Mil

B. B. Singh
ICRISAT

et

Collaborateurs, CNRA-Tarna
INRAN

Le programme d'amélioration du mil de l'ICRISAT au Niger démarré lors de la saison des pluies 1977, est une composante du programme coopératif de l'ICRISAT en Afrique de l'Ouest; ce programme met donc l'accent sur des travaux de recherche pouvant servir l'intérêt immédiat de la région Ouest Africaine. L'amélioration internationale de la production de mil n'en demeure pas moins l'objectif général du programme. Du fait que les sélectionneurs du mil du programme national ont travaillé, jusqu'ici, sur une base de ressources génétiques limitées, le premier objectif du programme a été de mettre à leur disposition une série de nouveaux matériels offrant des caractéristiques complémentaires essentielles à toute amélioration des espèces locales sur lesquelles ils travaillaient. L'objectif ultime du programme est de mettre au point et de cultiver les meilleurs matériels génétiques les mieux adaptés à la région et de les mettre à la disposition des sélectionneurs nationaux du mil qui procèderont à leur sélection, leur évaluation et leur vulgarisation. La région de l'Afrique de l'Ouest comporte également certains éléments génétiques améliorés et non améliorés très utiles: le programme coopératif de l'ICRISAT vise à favoriser et à faciliter l'échange rapide de ces matériels génétiques entre pays de la région et avec d'autres pays du monde producteurs de mil.

Essais de rendement de variétés expérimentales

Tous les essais multilocaux effectués aux sous-stations de l'INRAN ou par le Projet Productivité ont été coordonnés par les chercheurs de l'INRAN, en collaboration avec l'ICRISAT.

Chaque année deux essais multilocaux ICRISAT/INRAN sont mis en place: un pour la zone Sud (pluviométrie annuelle > 400 mm) et un pour la zone Nord. Ces essais portaient sur des variétés expérimentales sélectionnées dans le cadre des programmes d'amélioration du mil de l'ICRISAT et de l'INRAN.

Tableau 1. Pedigree des variétés expérimentales de mil sélectionnées dans le cadre du programme coopératif ICRISAT/ INRAN, au CNRA de Maradi.

Nom de la variété expérimentale	Origine
ITMV 8001INMG	1
ITMV 8002INMG	1
ITMV 8003INMG	2
ITMV 8302INMG	2
ITMV 8004INMG	3
ITMV 8303INMG	3
ITMV 8301INMG	4
ITMV 8306INMG	4
ITMV 8304INMG	5
ITMV 8305INMG	5

Pools génétiques

INMG 1:	Issu de génotypes africains ayant de longs épis.
INMG 2:	Issu de génotypes, d'origine indienne ou africaine, ayant des épis de longueur moyenne et une bonne capacité de tallage.
INMG 3:	Issu de matériel nain provenant de populations D2.
INMG 4:	Issu de génotypes aristés.
INMG 5:	Issu de génotypes ayant de gros épis: Ankoutess, Souna (Mali) et variétés togolaises, ainsi que de leurs croisements.

Le Tableau 1 indique le pedigree de ITMV 8001, 8002, 8003 et 8004. Ces variétés ont été sélectionnées dans le cadre du projet coopératif ICRISAT/INRAN lors du développement de divers pools génétiques. Ces variétés ont été évaluées, depuis 1980, lors des essais nationaux et régionaux conduits dans plusieurs pays d'Afrique de l'Ouest, notamment au Niger. Les rendements moyens en grain de ces variétés sont portés aux Tableaux 2 et 3, avec ceux de CIVT et HKP. Deux de ces variétés, ITMV 8001 et ITMV 8003, sont inclues à l'essai/démonstration en milieu paysan, conduit durant la campagne 1985. Ces variétés se sont montrées prometteuses lors des essais multilocaux réalisés depuis trois ans par l'Institut du Sahel. La section génétique et amélioration des plantes du CNRA a recommandé la vulgarisation au Niger de ITMV 8001 et ITMV 8002, respectivement dans les zones de forte et moyenne pluviométrie, et celle de 8304 (ayant des gènes de Souna Mali, Ankoutess et variétés Togolaise) dans la zone de culture d'Ankoutess.

Pools génétiques et variétés expérimentales

Dans le cadre du programme coopératif ICRISAT/INRAN, nous avons commencé à développer quatre pools génétiques en 1979 et un cinquième en 1981, afin de conserver une variabilité souhaitable et pallier aux problèmes associés au croisement consanguin dans une culture aussi allogame que le mil. Ce projet a été completé avec succès en 1984. Ces pools génétiques — 1 matériel africain peu sensible à la photopériode (INMG-1), D_1 indien (INMG-2), plante haute issue de populations de D_2 (INMG-3); épis aristés (INMG-4); et gros épis (INMG-5) — ont été produits, en situation de panmixie, en regroupant ensemble des génotypes ayant la longueur de l'épi et un cycle de maturité similaire et provenant de zones agro-climatiques, d'Afrique et d'Asie, relativement semblables. La semence de ces pools génétiques et de leurs variétés expérimentales a été offerte aux sélectionneurs de mil en Afrique afin qu'ils les évaluent et s'en servent pour sélectionner des variétés adaptées à leurs régions. Le Tableau 5 présente les résultats de variétés expérimentales et des pools génétiques évalués à Maradi. Les variétés expérimentales qui ont été obtenues par sélection massale au cours du développement de ces pools, ont eu des rendements supérieurs aux divers essais nationaux et régionaux. La performance de ITMV 8001 et 8002 (INMG-1), ITMV 8003 (INMG-2) et ITMV 8304 (INMG-5) pourrait être augmentée par sélection récurrente avec test S_1, à Maradi et au Centre sahelien de l'ICRISAT à Sadoré. Les meilleurs lignées S_2 ont fait l'objet d'une recombinaison pour reconstituer les variétés expérimentales respectives.

Tableau 2. Essai multilocal conduit au Niger (rendement en grain, kg/ha).

Variété	Année (nombre de sites) 1981 (3)	1982 (6)	1983 (4)	1984 (4)	Moyenne des 4 années (17 sites)	% par rapport à CIVT	HKP
ITMV 8001	1830	1047	1018	1044	1235	110	121
ITMV 8003	1756	1118	970	927	1193	106	111
ITMV 8004	1763	1315	890	1058	1256	112	114
ITMV 8304	-	-	1093	1076	1084	118 *	124
CIVT	1737	931	1002	833	1126	100	107
HKP	-	-	832	873	852	75	100
Moyenne	1782	1158	879	976	1152	-	-
S.E. ±	154	126	132	121	202	-	-
CV %	8,6	10,6	12,6	24,3	17,5	-	-

* D'après les résultats de 1983 et 1984 données.

Sélection pedigree

Afin d'associer des caractères souhaitables chez des variétés améliorées et non améliorées répandues au Niger, des variétés exotiques et des génotypes de divers pays d'Afrique et de l'Inde, nous avons fait de nombreux croisements pedigree et rétrocroisements. Ce projet nous a permis de disposer d'un abondant matériel en ségrégation. Nous conservons plus de 600 inbreds, issus de croisements, au stade F_3 à F_n. Ces inbreds font l'objet de test cross avec la lignée mâle stérile 81A, afin d'évaluer leur aptitude comme parent mâle et d'étudier la possibilité de développer des hybrides de mil. Durant la saison sèche 1984, nous avons utilisé 59 lignées stables F_7 pour mettre au point 11 synthétiques, qui ont fait l'objet d'un essai de rendement conduit à Maradi et Sadoré durant la saison des pluies. A Sadoré, tous les synthétiques, sauf Synt. 8, 9 et 3 ont eu respectivement des rendements moyens de 57%, 38% et 28% plus élevés que CIVT (Tableau 6). Les inbreds ayant servi à produire ces synthétiques ont aussi fait l'objet de test cross avec 81A. A Maradi, le rendement des 58 test cross n'a pas été encourageant. Mais, au Centre sahelien de l'ICRISAT, à Sadoré, sept de ces tests cross ont eu un rendement presque deux fois supérieur à celui de CIVT. Cet essai devra être repris, car il a été mis en place sur de petites parcelles et la saison des pluies a été très mauvaise.

Recherche fondamentale

En Europe et aux Etats-Unis, des chercheurs ont poussé très loin les recherches sur la base moléculaire de la stérilité mâle du maïs et du sorgho. Des techniques biochimiques, telles que l'analyse électrophorétique de l'ADN mitochondrial (ADN mt) et des polypeptides codés par ce type d'ADN, ont permis d'identifier facilement les différentes sources de stérilité cytoplasmique mâle chez ces cultures. Ce travail n'avait pas encore porté sur le mil. En 1984, nous avons collaboré avec des chercheurs du Département de Biochimie de l'Université de l'Etat du Kansas pour normaliser la procédure biochimique permettant d'isoler l'ADN mt de lignées de mil. Nous avons fait l'analyse électrophorétique de l'ADN mt de lignées A et B des lignées mâles stériles 23E1 (sélectionnée à Tifton, Georgie, Etats-Unis) et 1056 et 1057 (sélectionnées à l'Université de l'Etat du Kansas), ainsi que l'estimation quantitative de l'ADN mt des lignées A et B de la lignée mâle stérile 23E1. Nous avons constaté que la lignée A avait deux fois plus d'ADN mt que la lignée B. Ces premiers résultats sont très encourageants et nous poursuivrons ce travail si

Tableau 3. Essai régional africain de l'ICRISAT (rendement en grain, kg/ha).

Variété	Année (nombre de sites) 1980 (5)	1981 (6)	1982 (8)	1983 (5)	Moyenne des 4 années	% par rapport à CIVT	% par rapport à HKP
ITMV 8001	1746	1647	2008	791	1568	109	128
ITMV 8002	1666	1736	1973	846	1555	108	122
ITMV 8003	1447	-	-	-	1447	101 *	106 *
ITMV 8004	1685	1819	2004	-	1836	110**	124 *
CIVT	1440	1597	1993	741	1443	100	106
HKP	1363	-	-	-	1363	95	100
Moyenne	1558	1601	1811	1711	1535	-	-
S.E. ±	-	-	-	-	28,4	-	-
C.V. %	-	-	-	-	18,5	-	-

* D'après les résultats de 1980 donnés

** D'après les résultats 1980 à 1982 donnés.

le matériel de laboratoire nécessaire est disponible.

Programme 1985

Le programme 1985 est semblable à celui de l'an dernier, mais nous avons intensifié les essais multilocaux sur les variétés expérimentales et les populations. Nous décrivons brièvement ci-dessous les projets de recherche planifiés pour la saison des pluies 1985.

1. Essais régionaux coordonnés et pépinières d'observation.

Comme par les années passées, nous avons mis en place un essai régional africain (IMZAT) et une pépinière d'échange (PMXN) pour évaluer les nouvelles variétés et génotypes de mil des programmes nationaux et de l'ICRISAT. Pour la deuxième année, les variétés ITMV 8301, 8303, 8304 et 8305, du programme coopératif ICRISAT/INRAN, sont inscrites à l'essai IMZAT. En outre, les variétés ITMV 8303 et 8304 sont inscrites à l'essai régional, coordonné par l'Institut du Sahel.

2. Essais multilocaux au Niger.

Les variétés expérimentales prometteuses sont réévaluées aux essais multilocaux conduits sur les sous-stations de l'INRAN et par le Projet Productivité. Ces essais sont coordonnés par le chercheur de l'INRAN.

Tableau 4. Essai régional africain sur des variétés du mil, 1984 (moyenne de deux sites: Maradi et Sadoré).

No.	Entrée	Origine	Nombre de jours: semi-floraison de 50%	Hauteur de la plante (cm)	Longeur de l'épi (cm)	Rendement en grain (kg/ha)	% par rapport à CIVT
1	IKMV 8201	ICRISAT/IBRAZ	66	188	29	1015	106
2	IKMV 8101	ICRISAT/IBRAZ	67	217	40	989	103
3	IBMV 8301	ICRISAT/ISRA	69	176	40	1001	104
4	IBMV 8302	ICRISAT/ISRA	72	201	57	773	80
5	IBMV 8401	ICRISAT/ISRA	70	174	55	917	95
6	INMV 8210	ICRISAT/ABV	66	196	36	976	104
7	INMV 8212	ICRISAT/ABV	67	207	39	882	89
8	INMV 8220	ICRISAT/ABV	64	191	35	1100	114
9	INMV 8240	ICRISAT/ABV	66	206	40	1075	112
10	ITMV 8301	ICRISAT/INRAN	67	223	55	1119	116
11	ITMV 8303	ICRISAT/INRAN	65	223	56	1210	126
12	ITMV 8304	ICRISAT/INRAN	68	204	36	1278	133
13	ITMV 8305	ICRISAT/INRAN	66	202	39	1015	106
14	SOUNA III	ISRA	74	200	57	734	76
15	CIVT	INRAN	69	231	58	962	100
16	Variété:						
	(ZANFARWA)	Maradi	71	211	60	553	57
	(ZONGO)	Sadoré	85	254	70	625	65
	Moyennes des sites		68,8	204,5	46,2	977	
	C.V. %		3,9	8,4	13,6	27	
	S.E. ±		1,1	7,7	2,7	106	
	Rapport F		**	**	**	**	

* Moyenne pluviométrique des deux sites durant la campagne 1984: 249 mm.

Des variétés expérimentales prometteuses, telles ITMV 8001, 8002, 8003 et 8304, ont été évaluées depuis 1981 aux essais multilocaux et elles sont en voie d'être vulgarisées. Toutes les activités de l'INRAN en ce sens sont secondées par l'ICRISAT.

Nous aiderons aussi l'Institut du Sahel à établir ses essais/démonstration en milieu paysan de nouvelles variétés de mil, dont ITMV 8001 et 8003, mis au point par notre programme.

3. Essais sur les pools génétiques et variétés expérimentales.

Ces essais visent à évaluer la performance de variétés expérimentales et leurs pools parent aux respectifs, ainsi qu'à analyser le gain obtenu grâce à la sélection. Ils seront conduits à Tarna et Sadoré. Nous tenterons d'améliorer le rendement de variétés expérimentales telles que ITMV 8001, 8002, 8003, 8004 et 8304 par sélection récurrente. Vingt cinq kilogrammes de semences de chacun des 5 pools génétiques développés par le programme coopératif ICRISAT/INRAN seront mis en chambre froide à la CNRA et au Centre sahelien de l'ICRISAT pour la distribution et l'utilisation future.

4. Création de synthétiques et hybrides.

Les meilleures lignées stables du programme coopératif ICRISAT/INRAN serviront à la création de synthétiques et d'hybrides.

Tableau 5. Caractéristiques de pools génétiques et de variétés expérimentales dont elles sont issues, Maradi, 1984.

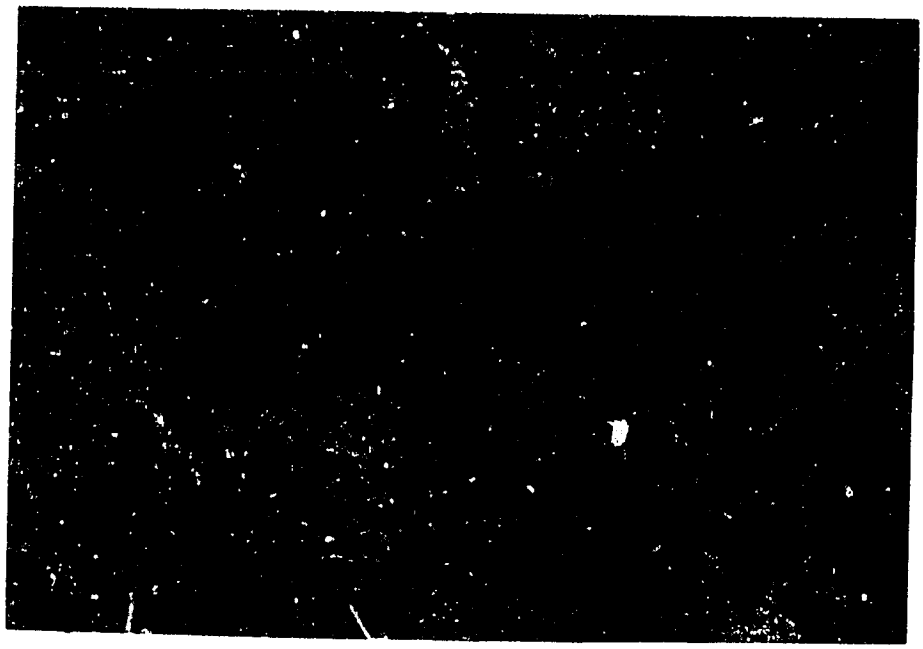
No.		Entrée	Nombre de jours: semis-floraison de 50%	Hauteur de la plante (cm)	Longueur de l'épi (cm)	Rendement en grain (kg/ha)
1	a	INMG 1	71	223	65	962
	b	ITMV 8001	71	208	69	936
	c	ITMV 8002	71	213	58	894
2	a	INMG 2	71	191	45	825
	b	ITMV 8003	72	202	57	938
	c	ITMV 8302	71	186	42	838
3	a	INMG 3	69	196	48	912
	b	ITMV 8303	71	186	35	766
	c	ITMV 8004	71	202	47	822
4	a	INMG 4	69	212	58	916
	b	ITMV 8301	70	203	55	931
	c	ITMV 8306	69	217	62	890
5	a	ITMG 5	72	187	49	858
	b	ITMV 8304	71	181	37	871
	c	ITMV 8305	68	207	51	1058
	t	CIVT	72	185	71	828
Moyenne:			70,5	202,5	53,0	890
CV %:			3,9	10,3	15,3	20,0
Ppds:			3,4	25,8	10,0	218,0

Tableau 6. Essai préliminaire sur des synthétiques, 1984 (moyenne de deux sites: Maradi et Sadoré).

Entrée	Nombre de jours semis-floraison de 50%	Hauteur de la plante (cm)	Longueur de l'épi (cm)	Rendement en grain (kg/ha)	% par rapport à CIVT
SYN–2	66	200	47	559	116
SYN–3	63	190	33	618	128
SYN–5	68	208	45	517	107
SYN–6	66	207	51	487	101
SYN–10	61	204	34	509	106
SYN–9	63	201	46	664	138
SYN–8	61	188	42	756	157
SYN–4	66	199	40	552	114
SYN–7	59	200	37	426	88
CIVT	67	206	58	482	100
SYN–11	64	198	36	400	83
Moyenne	64	202	43	543	–
Ppds	4,2	20,5	11,5	178	–
CV %	6,8	8,6	13,4	22,4	–

5. *Résistance au Striga.*

La recherche sur la résistance au *Striga* est coordonnée par le sélectionneur de l'ICRISAT à Ouagadougou. Une parcelle infestée de *Striga* a déjà été mise en place à la CNRA de Maradi. Un composite résistant au *Striga* sera développé, en situation de panmixie, avec des génotypes résistants ou peu sensibles au *Striga*.



Session II

Cereal Quality

Moderator,
Dr. John D. Axtell

Programme Qualité Céréalière et Analyse de la Qualité Céréalière de Quatre Variétés de Sorgho pour la Préparation du *Tuwo* Nigérien

Moussa Oumarou
INRAN

John W. Clark
PARA

Jeannette McLaughlin
Corps de la Paix

Résumé. Le tuwo est une pâte alimentaire du Niger confectionnée à partir de farine de mil ou de sorgho. Une série de tests de dégustation ayant pour objet de comparer les qualités organoleptiques de 3 variétés de sorgho introduites à partir du Burkina-Faso à celles d'une variété témoin ǂMSB a été conduite dans la région de Kolo. Les caractères morphologiques des variétés 1002 HV et 1003 HV sont comparables à la variété témoin ǂMSB. La variété Framida se distingue des autres variétés du point de vue des caractères morphologiques par la couleur du grain du péricarpe, la présence d'une couche brune et la texture de l'endosperme (Farineux). L'analyse des matières protéiques démontre un taux de protéines inférieur pour 1002 (9%) et ǂMSB (8,6%) ou comparable 10,9% pour Framida et 11,0% pour 1003 HV à la moyenne calculée chez le sorgho normal (12,5%) aux erreurs expérimentales près. Les rendements en grain décortiqué des variétés 1002 HV et 1003 HV ne sont pas significativement différents de celui de la variété témoin ǂMSB. La variété Framida a par contre un rendement en grain significativement différent de celui des autres variétés. Le rendement en farine des variétés 1003 HV et 1002 HV (76,1% et 72.8%) n'est pas significativement différent au niveau de 95% probabilité de celui de la variété témoin ǂMSB (79,1%). La variété Framida, avec une production en farine de 62,6%, est significativement différente des autres variétés. De plus, la farine obtenue à partir de la variété Framida est fortement colorée. Cette coloration s'explique par le fait de la mauvaise aptitude de la variété au décorticage—ce qui laisse une partie du péricarpe adhérente au grain—et aussi par la présence de la couche brune riche en tanins.

Une évaluation de la qualité organoleptique des produits préparés à partir de ces variétés a été faite par quarante consommateurs de la région de Kolo. La préférence du point de vue du goût des tuwos confectionnés à partir des farines de 1001 HV et 1003 HV n'est pas significativement différente de la variété témoin ǂMSB pour ce qui concerne le test avec bandage des yeux et sans sauce. Par contre, il y a une différence significative entre Framida et les autres variétés dans le cas du test sans bandage des yeux et sans sauce, ce qui démontre le rôle important que joue la couleur dans ce genre de test. En ce qui concerne la texture, la préférence des consommateurs va à la variété 1002 HV qui a une pâte qui ne colle pas aux doigts et légère par rapport à la variété témoin et les variétés 1003 HV et Framida du point de vue de la texture. Du point de vue de la couleur, la préférence des tuwos des variétés 1003 HV, 1002 HV n'est pas significativement supérieure à celle de la variété témoin. Par contre il y a une différence significative entre Framida et les autres variétés.

Cereal Quality Program and an Analysis of Four Varieties of Sorghum for the Preparation of Nigerien *Tuwo*

Abstract. Tuwo is a paste-like cereal food in Niger which is made from millet or sorghum flour. A series of palatability tests were carried out in the Kolo region in order to compare the organoleptic properties of 3 varieties of sorghum introduced from Burkina-Faso with those of a control variety, ‡MSB. The morphological characteristics of varieties 1002 HV and 1003 HV are comparable to those of the control variety ‡MSB. The Framida variety differs from the others in terms of morphological characteristics such as grain and pericarp color, the presence of a brown testa layer and the (floury) texture of its endsoperm. An analysis of the protein matter showed that the protein levels of 1002 HV (9%) and ‡MSB (8.6%) were lower than the average calculated for normal sorghum (12%), while those of Framida (10.9%) and 1003 HV (11%) were comparable to the average within the range of experimental error. The decorticated grain yields of varieties 1002 HV and 1003 HV are not significantly different from that of the control variety ‡MSB. In contrast, the Framida variety has a grain yield which is significantly different from that of the other varieties. The flour yield of varieties 1003 HV and 1002 HV (76.1% and 72.8%) is not significantly different at a level of 95% probability of the yield of the control variety, ‡MSB (79.1%). The Framida variety whose flour yield is 62.6%, differs significantly from the other varieties. In addition, the flour obtained from the Framida variety is highly colored. This color is due to the variety's poor suitability for decortication, which leaves a part of the pericarp stuck to the grain, and to the presence of brown testa layer which is rich in tannins.

An evaluation of the organoleptic properties of the products prepared from these varieties was carried out by 40 consumers from the Kolo region. In a taste test where panel members were blindfolded and no sauce was used, consumer taste rating of the tuwos made from 1001 HV and 1003 HV was not significantly different from that of the control variety, ‡MSB. However, there was a significant difference between Framida and the other varieties in the case of the test without blindfolding and without sauce; this shows the important role played by color in this kind of test. Regarding texture, consumer preference went to the variety 1002 HV, which has a dough that does not stick to the fingers and is light in texture, compared to that of the control variety and of varieties 1003 HV and Framida. In terms of color, the preference for tuwos from the varieties 1003 HV and 1002 HV was not significantly higher than that of the control variety. However, there was a significant difference between Framida and the other varieties.

L'alimentation de base des Nigériens est constituée surtout de céréales (mil, sorgho, riz), et de légumineuses (niébé, arachide) etc.

Les travaux d'amélioration de ces cultures ont permis de mettre à la disposition du monde rural des variétés à haut rendement mais dont les qualités nutritives, nutritionnelles et organoleptiques n'ont pas été vérifiées et qui de surcroit ont des grains ayant certains caractères physiques non désirables (péricarpe fin, présence de couche brune, etc.).

Il s'agit donc à l'avenir de s'assurer que les variétés vulgarisées seront acceptées par le monde rural sans réticence majeure par la mise à sa disposition des variétés à grain de bonne qualité nutritive et nutritionnelle et de goût acceptable.

Objectifs

Le Programme vise à développer en collaboration avec les sélectionneurs des variétés:

—de bonne qualité nutritive et nutritionnelle,
—ayant une bonne aptitude à l'usine (décorticage),
—de goût acceptable par le consommateur nigérien,
—de qualité saine.

Thèmes principaux

—Évaluation des caractères morphologiques du grain.
—Évaluation de l'aptitude à l'usinage du grain et qualité de la farine.
—Évaluation du temps de cuisson et du goût des produits finis.
—Évaluation des contaminants naturels (mycotoxines) et artificiels (résidus des pesticides).

Résumé

Le *tuwo* est une pâte alimentaire du Niger confectionnée à partir de farine de mil ou de sorgho.

Une série de tests de dégustation ayant pour objet de comparer les qualités organoleptiques de 3 variétés de sorgho introduites à partir du Burkina-Faso à celles d'une variété témoin ½MSB a été conduite dans la région de Kolo. A l'issue de ces tests complétés par les analyses au laboratoire des caracteres physico-chimiques des grains il se dégage les constatations suivantes:

1) Les caractères morphologiques des variétés 1002 HV et 1003 HV sont comparables à la variété témoin ½MSB. La variété Framida se distingue des autres variétés du point de vue des caractères morphologiques par la couleur du grain du péricarpe, la présence d'un couche brune et la texture de l'endosperme (Farineux).
2) L'analyse des matières protéiques demontre un taux de protéines inférieur pour 1002 HV (9%) et ½MSB (8,6%) ou comparable 10,9% pour Framida et 11,0% pour 1003 HV à la moyenne calculée chez le sorgho normal (12,5%) aux erreurs expérimentales près.
3) Les rendements en grain décortiqué des variétés 1002 HV et 1003 HV ne sont pas significativement différents de celui de la variété témoin ½MSB.

   La variété Framida a par contre un rendement en grain significativement différent de celui des autres variétés.
4) Le rendement en farine des variétés 1003 HV et 1002 HV (76,1% et 72,8%) n'est pas significativement différent au niveau de 95% probabilité de celui de la variété témoin ½MSB (79,1%).

   La variété Framida avec une production en farine de 62,6% est significativement différente des autres variétés.

   De plus, la farine obtenue à partir de la variété Framida est fortement colorée. Cette coloration s'explique par le fait de la mauvaise aptitude de la variété au décorticage—ce qui laisse une partie du péricarpe adhérente au grain—et aussi par la présence de la couche brune riche en tanins.
5) Une évaluation de la qualité organoleptique des produits préparés à partir de ces variétés a été faite par quarante consommateurs de la région de Kolo.

   La préférence du point de vue du goût des *tuwos* confectionnés à partir des farines de 1001 HV, et 1003 HV n'est pas significativement différente de la variété témoin ½MSB en ce qui concerne le test avec bandage et sans sauce.

Par contre, il y a une différence significative entre Framida et les autres variétés dans le cas du test sans bandage des yeux et

sans sauce ce qui démontre le rôle important que joue la couleur dans ce genre de tests.

En présence de sauce, les différences ne sont pas significatives entre les 4 variétés du point de vue du goût.

En ce qui concerne la texture, la préférence des consommateurs va à la variété 1002 HV qui a une pâte qui ne colle pas aux doigts et est légère par rapport à la variété témoin et aux variétés 1003 HV, et Framida.

Du point de vue de la couleur, la préférence des *tuwos* des variétés 1003 HV, 1002 HV n'est pas significativement supérieure à celle de la variété témoin. Par contre il y a une différence significative entre Framida et les autres variétés.

But

Tester en milieu paysan les qualités organoleptiques de 3 variétés de sorgho en provenance du Burkina-Faso en vue de connaitre leur degré d'acceptabilité par le consommateur nigérien. La variété ½MSB appréciée pour ses qualités organoleptiques a été utilisée comme témoin.

1. Caractères Morphologiques du Matériél Utilisé

Les trois variétés en provenance du Burkina-Faso ont des grains ayant les caractères morphologiques suivants (voir tableau 1).

1. Framida (ICSV 1001 HV):

Le grain a un péricarpe rouge d'épaisseur moyenne avec présence d'une couche brune (testa) sous le péricarpe, l'endosperme de couleur blanche est farineux. Le poids moyen de 100 grains est de 2,74 g.

2. La variété ICVS 1002 HV:

Elle a un grain à péricarpe blanc-crème d'épaisseur moyenne. Il y a absence de couche brune. L'endosperme de couleur blanche est de vitrosité moyenne. Le poids moyen de 100 grains est de 3,25 g.

3. La variété ICSV 1002 HV:

Elle a un grain à péricarpe blanc-crème

Tableau 1. Caractéristiques morphologiques et chimiques des quatre variétés testées.

Caractéristique	Variété			
	Framida	ICSV 1002 HV	ICSV 1003 HV	½MSB
péricarpe couleur	rouge	blanc-crème	blanc-crème	blanc-crème
péricarpe épaisseur	moyenne	moyenne	moyenne	fine
testa	+	-	-	-
endosperme couleur	blanche	blanche	blanche	blanche
endosperme texture	5	3	2	3
poids de 1000 grains (g)	2.74	3.25	3.04	2.40
% flottaison des graines	100	85	55	58
% protéines des graines	10.23	9.01	11.03	8.57

d'épaisseur moyenne. Il y a absence de couche brune. L'endosperme de couleur blanche est vitreux. Le poids moyen de 100 grains est de 2,40 g.

4. La variété témoin ½MSB:

Elle a un grain présentant les caractères morphologiques suivants:

- un péricarpe blanc crème d'épaisseur fine sans couche brune;
- un endosperme blanc de vitrosité moyenne;
- un poids moyen de 100 grains égal à 3,04 g;
- d'une manière genérale, les variétés utilisées ont des caractères morphologiques comparables à l'exception de la variété Framida qui a, entre autre, une péricarpe rouge, un endosperme farineux et une couche brune. Caractères qui pourraient influer sur la qualité des produits intermédiaires ou finis de cette variété.

II. Teneur en Matières Protéiques Brutes

La teneur en matières protéiques brutes de 4 variétés analysées varie entre 9% et 11%. Les variétés 1002 HV et ½MSB ont des teneurs en protéines sensiblement égales (8,6% et 9,0%). Les variétés 1001 HV et 1003 HV ont comparativement aux deux variétés précitées des taux légèrement supérieurs avec 10,9% et 11,0% respectivement. Comparées au taux moyen en protéines (12,5%) calculé chez le sorgho à partir de 522 lignes de la collection mondiale, les 4 variétés ont des taux légèrement inférieurs ou comparables aux erreurs expérimentales près.

III. Valeur Nutritionnelle des Variétés

Par manque de réactifs et de matériel appropriés il n'a pas été possible de tester *in vitro* la digestibilite des 4 variétés. Cependant la présence de couche brune chez le Framida pourrait se traduire par une valeur biologique inférieure à celle des produits obtenus à partir des 3 autres variétés.

IV. Rendement du Décorticage

Rendement au décorticage des variétés: Les pertes dues au vannage varient en moyenne entre 4,3% et 9%. La variété Framida a le pourcentage de son le plus élevé (23%) et le rendement en grain décortiqué le plus bas (70,1%).

Comparativement aux autres variétés son aptitude au décorticage est mauvaise. En effet après décorticage on constate qu'une bonne partie du péricarpe reste adhérente à l'endosperme.

La variété améliorée 1003 HV avec 82,6% de grain décortiqué et 9,1% de son est comparable du point de vue du rendement à la variété améliorée vulgarisée au Niger ½MSB (84,7% de grain décortiqué et 10,9% de son).

Tableau 2. Analyse de variance du rendement en son grain décortiqué et farine.

Source de variation	dl	Sommes des carrées moyens grains décortiqués	Son	Farine
colonnes (préparatrices)	3	13.52	13.82	29.50
colonnes (jours)	3	15.58	40.14	47.31
variétés	3	168.53 *	154.40 *	226.36 *
erreur	6	7.48	8.2	9.88
CV %		3.47	20.7	4.33

*Significative au niveau de probabilité 95% et 99% respectivement.

La variété 1002 HV a un rendement intermédiaire (77,8% de grain décortiqué et 12,3% de son).

Analyses Statistiques

a) Rendements en son: Les rendements en son des variétés 1003 HV, ½MSB et 1002 HV qui sont respectivement de 9,1%, 10,9%, et 12,3% ne sont pas significativement différents.

Par contre, le rendement en son de la variété Framida de 22,95% est significativement différent de celui des autres variétés.

Les différences entre les jours de préparation sont significatives alors que les différences entre les préparations ne le sont pas.

b) Rendement en grain décortiqué: L'analyse statistique révèle qu'il n'y a pas de différences significatives entre les variétés Framida et 1002 HV du point de vue du rendement en grain décortiqué.

La variété témoin ½MSB n'est pas significativement différente de la variété 1002 HV et les variétés 1003 HV et ½MSB.

V. *Production Farine: Rendement farine des variétés*

Le rendement en farine des grains décortiqués varie entre 62,6% et 79,1%. La variété témoin a le plus haut rendement avec 79,2% tandis que la variété Framida qui a un faible taux de grain décortiqué enregistre le plus faible rendement en farine (62,6%).

Les variétés 1003 HV et 1002 HV ont un rendement comparable à celui de la variété témoin avec 76,1% et 72,8% respectivement. Il y a une différence significative entre la variété Framida et les autres variétés du point de vue du rendement en farine.

VI. Tests Sensoriels

Les *tuwos* préparés à partir des farines de ces variétés ont été soumis à un jury de dégustation composé de 10 personnes/J, 4 jours. Les tests ont porté sur la préférence:

—du point de vue du goût du *tuwo* sans sauce et avec bandage des yeux pour éliminer le facteur couleur, sans bandage et avec sauce;
—du point de vue de la couleur; et
—du point de vue de la texture.

Les nombres constituant chaque jury ont été choisis de manière à toucher toutes les souches socio-professionnelles et à éviter autant que faire se peut qu'un testeur ne passe deux fois le test. (Référence: Comité IFT Sensory evaluation nov. 1981 7000 Technology, p. 50-59).

L'échelle de préférence utilisée pour ces

Tableau 3. Moyenne des variables grains décortiqués son et farine.

Variété	% Grains Décortiqués	% Son	% Farine
ICSV 1003 HV	82.63 b	9.13 a	76.15 bc
ICSV 1001 HV, Framida	70.10 a	22.95 b	62.66 a
½MSB	84.70 b	10.98 a	79.18 c
ICSV 1002 HV	77.68 d	12.30 a	72.75 b
Moyenne *PPDS (0.05)	4.73	4.95	6.28

*Les moyennes suivies par la même lettre ne sont pas significativement différentes au niveau de probabilité 5%.

tests va de 1 point à 4 points. Le chiffre indiquant la préférence maximum est 1, le chiffre 4 la préférence minimum.

1. Goût du produit

Le variété introduite, 1002 HV, a obtenu le meilleur score suivi de la variété témoin ½MSB alors que la variété Framida se classe dernière probablement à cause de son mauvais décorticage qui donne au *tuwo* un arrière goût de son.

La variété 1003 HV a un score intermédiaire. L'analyse statistique révèle qu'il n'y a pas de différence significative entre les *tuwos* des 4 variétés du point de vue du goût qu'ils soient assaisonnés ou non.

2. Couleur

Le total cumulé des produits obtenus par les quatres variétés à la suite du test subi par les 40 consommateurs est le suivant:

Variété	Points
1003 HV	116
Framida	134
½MSB	92
1002 HV	58

La préférence des testeurs va à la variété 1002 HV, qui totalisant 58 points dépasse de loin la variété ½MSB (92 points) qui est jugée de préférence moyenne. La variété Framida obtient le plus bas score (134 points) suivi de la variété 1003 HV (116 points).

L'analyse revèle que la préférence du point du vue couleur de la variété 1002 HV est significativement supérieure à celle des autres variétés.

3. Texture

Le total cumulé des points des 4 variétés à l'issue de 4 jours de tests est le suivant:

Variété	Points
1003 HV	112
1001 HV	117
½MSB	101
1002 HV	66

La variété 1002 HV qui a une pâte très ferme a la préférence des consommateurs qui la classent en première position.

La texture du *tuwo* de la variété ½MSB est jugée très moyenne par rapport à celle de la variété 1002 HV.

Les variétés 1003 HV (112 points) et 1001 HV (117 points) à pâtes collantes ont des textures jugées non fermes par les consommateurs. L'analyse statistique révèle que la texture de la variété 1002 HV est significativement plus ferme que celle des autres variétés. Il n'y avait pas de différence significative entre la variété ½MSB et les variétés Framida et 1003 HV.

4. Stabilité des gels (pâtes)

Un échantillon des tuwos préparés à partir de chaque variété a été prélevé et laissé à la température du laboratoire pendant une nuit en vue de tester la stabilité du gel.

Après 16 heures de conservation la variété 1002 HV qui a une texture très ferme a un gel encore stable.

La variété témoin ½MSB peut être mangeable alors que les variétés Framida et 1003 HV ne sont pas mangeables après 18 heures.

Conclusion

Il ressort de ces tests que les variétés 1002 HV et 1003 HV ont des caractères physico-chimiques et organoleptiques comparables à la variété témoin et peuvent de ce fait être vulgarisées au Niger sans réticence majeure.

Par contre la variété Framida à cause de son mauvais décorticage, son faible rendement en farine, sa couleur, n'a pas la préférence des consommateurs testés de la région de Kolo quand elle est préparée sous forme de *tuwo*.

De plus la présence de couche brune riche en tanins pourrait se traduire par une digestibilité moindre par rapport aux autres variétés pour la consommation humaine.

Cependant en raison de sa productivité et de sa résistance au striga on pourrait l'incorporer dans un programme de sélection pour la recherche de variétés tolérantes au striga ou l'utiliser pour la préparation de la bière comme cela se fait au Burkina-Faso. Pendant le processus de sélection il sera nécessaire de

choisir des têtes qui ont des caractéristiques plus favorables comme une texture intermédiaire de l'endosperme et l'absence de testa (couche brune).

Discussion (Session II)

Question
(pour Oumarou ou Clark, par Gonda)

Les variétés ICVS 1002HV et le ½MSB sont assez proches l'une de l'autre, pourriez-vous nous faire l'historique de ces deux variétés — travail de sélection entrepris et parents d'origine si possible?

Réponse

La variété 1002 HV est une introduction du programme de sélection de l'ICRISAT/Burkina-Faso. Ses parents sont: la variété E-35-1 d'Ethiopie et la lignée à graine brune IS8785, résistante au *Striga* de la Collection Mondiale. La variété ½MSB vient du Sénégal et a été sélectionnée du croisement CK 612 x MSB 67.17.

Commentaire (Rosenow)

La variété CK 612 à couleur tan est un parent de la variété combine Kafir-60.

Question (pour Oumarou, par Kirleis)

Vous avez dit que la farine faite de la graine décortiquée est séparée en farine grossière et farine fine. L'utilisation de ces deux farines est-elle différente?

Réponse

Les deux farines servent à la préparation du *tuwo*. En effet, une fois les deux fractions obtenues, la ménagère fait bouillir de l'eau dans une marmite. Elle introduit la fraction de farine grossière ou refus de tamis dans l'eau bouillante pour préparer une bouillie de consistance très fluide. Puis elle introduit en une seule fois la farine fine. Elle remue doucement l'ensemble bouillie-farine de manière à ce que le majeure partie de la farine reste à la surface de la bouillie. Elle ferme la marmite avec le couvercle et laisse prendre en masse pendant une certain temps (13 minutes). Puis elle malaxe l'ensemble avec une grande spatule en bois,afin d'obtenir un gel de consistance homogène. La pâte ainsi obtenue est

Question (for Oumarou or Clark, by Gonda)

Varieties ICVS 1002 HV and ½MSB are quite similar to each other. Could you give us some information on the historical background of these 2 varieties, such as breeding work done and their parents, if possible?

Response

1002 HV is an introduction from the ICRISAT/Burkina-Faso breeding program. Its parents were E-35-1, an Ethiopian variety, and IS8785, a brown-seeded, *Striga* resistant line from the World Collection. ½MSB comes from Senegal and was selected from the cross CK 612 x MSB 6..17.

Comment (Rosenow)

CK612 is a tan plant sister of combine Kafir-60.

Question (for Oumarou, by Kirleis)

You indicated flour made from decorticated grain is separated into coarse and fine flour. Are the uses of these two flours different?

Response

Both types of flour are used for the preparation of *tuwo*. Once the two types of flour have been obtained, the housewife boils water in a pot. She puts the coarse flour in the boiling water and prepares a thin porridge from this. Then she adds all of the fine flour at once. She gently stirs the mixture of porridge and fine flour in such a way that half of the flour stays on the surface of the porridge. She covers the pot and leaves the mixture to rise for a while (13 minutes). Then she kneads it all together with a large wooden spatula, so as to obtain a homogenous gel. The paste thus prepared is called *tuwo*.

It must be pointed out that in certain parts of Niger, coarse flour is used to make couscous.

appelée *tuwo*.

Il faut signaler que dans certaines régions du Niger, la farine grossière est utilisée pour faire du couscous. La farine fine est utilisée après retamisage pour obtenir deux fractions dont l'une sera utilisée pour la preparation de la boullie et l'autre pour la confection du *tuwo*.

The fine flour is sifted again and divided into two portions, one of which is used for making porridge, and the other for making *tuwo*.

Commentai

(à la question de Kirleis, par Ouattara)

L'utilisation de la partie grossière de la farine:

1) cette partie grossière apparaît à cause même de la méthode utilisée pour moudre le grain. La partie grossière est aussi utilisée pour donner une meilleur texture à la pâte.
2) suggestion à Moussa Oumarou et Clark: faire une fiche d'enquête sur les méthodes de préparation et les caractèristiques chimiques des sauces.

Comment (on Kirleis' question, by Ouattara)

Use of the coarse part of the flour:

1) The coarse flour is obtained because of the method used to grind the grain. The coarse flour is also used to enhance the texture of the dough.
2) I would like to suggest that Moussa Oumarou and Dr. Clark prepare a survey sheet on the preparation methods and the chemical characteristics of sauces.

Question (pour Oumarou, par Kadi)

Pourquoi la séparation entre farine fine et grains?

Réponse

La séparation des grains et de la farine fine a deux objectifs:

1) obtenir de plus en plus de la farine fine;
2) les derniers grains serviront la première bouillie faite pour que le *tuwo* réussisse bien sans former des boulettes non mangeables.

Question (for Oumarou, by Kadi)

Why do you separate the fine flour from the coarse?

Response

The separation of the coarse from the fine flour has two reasons:

1) to obtain the finest possible flour; and
2) to use the coarse flour for the porridge made in the initial phase of *tuwo* preparation. In this way, the *tuwo* will have a smooth consistency, without the formation of uncooked lumps of flour.

Question (pour Oumarou, par Axtell)

Selon les analyses du Dr. Kirleis qui démontrent que le *tuwo* acide peut être plus digestible que celui à base alcaline, quelle est la méthode la plus utilisée au Niger? Par ailleurs, le *tuwo* de mil est-il preparé comme produit acide, alcalin ou neutre?

Question (for Oumarou, by Axtell)

In view of Dr. Kirleis' data that shows acid *tuwo* may be more digestible than the alkali product, which method is more commonly used in Niger? Also, is millet *tuwo* prepared as an acid, alkali, or a neutral product?

Réponse

Contrairement au Mali ou au Burkina-Faso où le *tuwo* est préparé en milieu basique ou en milieu acide, au Niger le *tuwo* est préparé avec l'eau sans additif pour changer le pH du milieu. A ma connaissance, la préparation du *tuwo* à base de farine fraîche de mil se fait de la même façon que le *tuwo* preparé à base de farine de sorgho. Il y a lieu cependant de signaler que quelquefois on utilise pour la préparation du *tuwo* de la farine de mil fermenté qui est plus acide que la farine fraîchement préparée.

Commentaires

Hassane: La fermentation du mil n'est pas une prégermination. La fermentation se fait après avoir enlevé le son de la graine.

Oumarou: La farine du mil fraîchement preparée est de couleur grise. Le processus de fermentation permet d'obtenir une farine de couleur blanc-crème et qui se conserve bien.

Jika: Pour la préparation du *tuwo* de mil avec la farine fraîche sans fermentation préalable, les femmes ajoutent généralement un peu de natron. De manière générale, tous les types de *tuwo* (de mil ou de sorgho) se mangent avec une sauce généralement basique.

Oumarou: C'est peut-être l'exception qui confirme la règle. D'une manière générale, la préparation du *tuwo* au Niger se fait sans addition de produit pour modifier le pH du milieu. Pour ce qui concerne le caractère basique des sauces, il faudra peut-être à l'avenir prendre leur pH pour confirmation.

Question (pour Oumarou, par Andrews)

Combien de temps peut-on conserver la farine de mil fermentée, comparativement à celle préparée à partir de mil frais?

Réponse (par Oumarou)

D'une manière générale la farine de mil se conserve mal comparativement à la farine de

Response

In contrast to Mali and Burkina-Faso where *tuwo* is prepared in a basic or acid medium, in Niger *tuwo* is prepared with water, without any additives to change the pH of the medium. As far as I know, the preparation of *tuwo* from fresh millet flour is the same as that of *tuwo* using sorghum flour. It should be pointed out, however, that sometimes fermented millet flour is used to make *tuwo*; the fermented millet flour is more acid than fresh millet flour.

Comments

Hassane: The fermentation of millet is not pregermination, as this fermentation is done after the bran is removed from the grain.

Oumarou: Freshly prepared millet flour is grey. The fermentation process makes it possible to obtain a flour that is whitish in color and which can be stored for a fairly long time.

Jika: For the preparation of millet *tuwo* with fresh unfermented flour, women generally add a touch of soda. Usually all types of *tuwo* (millet or sorghum) are eaten with a sauce which is generally alkaline.

Oumarou: This is perhaps the exception that confirms the rule. Generally speaking, in Niger, *tuwo* is prepared without adding anything to change the pH of the medium. Regarding the alkaline characteristics of the sauce, perhaps in the future we should check their pH.

Question (for Oumarou, by Andrews)

How much longer does fermented millet flour keep compared to flour made directly from fresh millet?

Response (by Oumarou)

Generally speaking, millet flour cannot be stored for as long as sorghum flour. In order to

sorgho. Pour la conserver, il faut la sécher rapidement pour réduire le taux d'humidité. Une fois ce traitement réalisé, on peut la conserver plusieurs jours dans des endroits secs et bien aérés pour éviter une réhydratation. Pour répondre à votre question, je dirais que la farine froidement préparée est consommée immédiatement, alors que la farine de grain de mil fermenté peut être conservée plusieurs jours durant pour la consommation familiale ou pour la vente sur les marchés.

Commentaire (pour Oumarou, par Hassane)

L'utilisation du mil et du sorgho pour le *tuwo* et la boule varie selon les régions du pays.

Commentaire (par Gonda)

La farine fermentée, aussi bien que la non-fermentée, doit être séchée proprement pour une longue conservation. Cependant, en général, la fermentation du mil augmente la capacité de la farine de s'gonfle pendant la préparation.

store it, the flour must be dried very quickly in order to reduce its moisture level. Once this is done it can be stored for several days in dry, well-ventilated places to avoid rehydration. In reply to your question, I would say that fresh flour is consumed immediately after preparation, while flour produced from fermented millet grains can be stored for several days, either for household consumption or sale at the market.

Comment (for Oumarou, by Hassane)

The use of millet and sorghum for *tuwo* and boule depends on the regions of the country.

Comment (by Gonda)

Fermented as well as non-fermented flour needs to be properly dried if it is to be stored for long periods. However, in general, the fermentation of millet increases the swelling capacity of the flour during cooking.

Digestibility of Sorghum Proteins

Allen W. Kirleis and Bruce Hamaker
Purdue University

Abstract. In 1981 MacLean reported results from nitrogen balance studies on Peruvian pre-school children which showed that the protein digestibility of cooked sorghum gruel was significantly lower than that of cooked gruels of wheat, maize, or rice (46% versus 81, 73, 66% respectively). An in vitro, assay based on the solubilization of protein following pepsin digestion showed that the cooking process was responsible for the decreased protein digestibility in sorghum.

Recent work in our laboratory has shown that both a traditional fermentation process used in Sudan and heat extrusion prior to cooking improves the in vitro digestibility of sorghum proteins. These findings have been confirmed in human feeding studies with children.

We have examined the changes in the protein profiles of uncooked and cooked sorghum and maize flours and their pepsin-indigestible protein residues. Results indicated that uncooked sorghum proteins were as digestible as uncooked maize proteins. After cooking, however, sorghum prolamins, measured by the Landry-Moureaux procedure and by SDS-PAGE, became much less soluble and less pepsin-digestible than the prolamins in maize. This suggests that the sorghum proteins when cooked are complexing through the formation of intermolecular disulfide bonds thereby reducing their digestibility.

Digestibilité des Protéines du Sorgho

Résumé. En 1981, McLean a rapporté des résultats d'études de bilan d'azote réalisées chez les enfants péruviens d'âge préscolaire. Ces résultats ont montré que la digestibilité des protéines de bouillie de sorgho est significativement faible par rapport à celle des bouillie du blé, maïs ou riz (46% contre 81, 73 et 66% respectivement). Un essai, in vitro, basé sur la solubilisation des protéines suivie par la digestion par la pepsine a indiqué que cette baisse de digestibilité des protéines de sorgho est due à la cuisson.

Des travaux récents menés dans notre laboratoire ont montré que le processus de fermentation utilisé au Soudan ainsi que l'extrusion thermique préalable à la cuisson, améliorent la digestibilité in vitro des protéines du sorgho. Ces résultats ont été confirmés chez les enfants.

Nous avons examiné les changements dans les profiles des protéines des farines cuites et crues du sorgho et du maïs, de même que les résidus des protéines non digestibles à la pepsine. Les résultats ont indiqué que les protéines du sorgho sont aussi digestibles que celles du maïs, si elles ne sont pas cuites. Cependant après cuisson, les prolamines du sorgho, mesurées par la méthode de Landry-Moureaux et par SDS-PAGE, sont beaucoup moins solubles et moins digestibles par la pepsine que les prolamines du maïs. Ceci suggère que les prolamines, quand elles sont cuites, deviennent plus complexes par la formation de liaisons bisulfudes entre les molécules ce qui par conséquent réduit leur digestibilité.

Reports have indicated that cooked sorghum gruel has lower protein digestibility than the gruels of other major cereal grains (Kurien *et al.*, 1980; MacLean *et al.*, 1981; Mertz *et al.*, 1985). There is, however, some argument over whether the degree of difference in protein digestibility is as large as some human studies suggest and whether differences are significant enough to affect the nutritional status of peoples consuming large amounts of sorghum in their diets. In the following review pertinent studies on this topic will be covered with the aim of bringing forth the information known on sorghum protein digestibility to date. Because there is evidence that a simple cooking process reduces digestibility, only those studies which report results from cooked sorghum products will be reviewed, thereby excluding the voluminous number of animal studies on the uncooked grain. The adverse effect of tannins in sorghum on protein digestibility are well known. However, since the majority of sorghums used for food are of a low tannin type these studies will also be left out of this review. Good reviews on the effect of dietary tannins on protein digestibility exist (Hulse *et al.*, 1980; Butler *et al.*, 1985).

Human studies

Studies with children or young adults have shown significantly lower protein digestibility compared to other cereals when cooked sorghum either partially replaced another grain or made up the total grain in the diet. Kurien *et al.* (1960b) fed seven boys ages 10-11 diets in which the grain part consisted of 100% rice, 75% rice/25% sorghum (*S. vulgare*), 50% rice/50% sorghum, and 100% sorghum. It is not clear whether the sorghum used in the study was whole or decorticated grain. The addition of sorghum to the diet resulted in progressively lower apparent digestibility coefficients [(N_{intake} — N_{fecal} / N_{intake}) x 100]. These values ranged from 74.7% for 100% rice to 55.4% for 100 % sorghum (Table 1). Similar results were obtained by Daniel *et al.* (1966) in young girls fed sorghum diets.

Nicol and Phillips (1978) measured the true protein digestibility {[$N_{dietary}$ — ($N_{fecal,\ trial\ diet}$ — $N_{fecal,\ minimal\ protein\ diet}$) / $N_{dietary}$] x 100} in young Nigerian men consuming diets of rice, cassava or sorghum. Milled whole grain sorghum showed lower protein digestibility compared to rice or cassava (79% versus 91% and 92%, respectively). However, home pounded winnowed sorghum showed true protein digestibility equal to that of the rice or cassava. Net protein utilization (NPU) of the ground whole sorghum diet was significantly lower than that of other diets. Nicol and Phillips (1978) postulated that the low NPU of the sorghum diet was due to low protein digestibility rather than amino acid imbalance.

MacLean *et al.* (1981) measured apparent protein digestibility of whole grain sorghum in preschool Peruvian children and was able to compare results with other major cereals that were previously run using the same protocol (Table 2). Mean apparent protein digestibility was 46% as an average for four cultivars (two normal and two high-lysine genotypes) compared to 81% for wheat, 73% for maize, and 66% for rice. Total energy digestibility,

Table 1. Mean daily intake, excretion and balance of nitrogen of boys on the different diets.

Description	Diet		Excretion			Apparent digestibility coefficient (%)	Balance (g)
	Caloric value (kcal/day)	Intake (g)	Urinary	Fecal	Total		
Rice	1849	6.34	2.93	1.60	4.53	74.7	+1.80
25% kaffir corn	1819	6.42	2.90	1.07	4.87	69.3	+1.55
50% kaffir corn	1787	6.50	2.86	2.36	5.22	63.7	+1.28
Kaffir corn	1725	6.91	2.95	3.08	6.03	55.4	+0.88
Standard error of the mean (18 d.f.)					±1.42		±0.085

compared to the other cereals examined, was also lower in sorghum diets (Table 2). Children consuming the sorghum gruels also experienced either weight loss or poor weight gain.

In the human studies cited above, either apparent or true protein digestibility was measured using cooked gruels or bread made from cereals. As the studies differed in nitrogen content in the diet, age and nutritional status of the subjects, and feeding protocol, care should be exercised when directly comparing digestibility results from these studies. However, the findings from each study, with the exception of the traditionally decorticated sorghum (Nicol and Phillips, 1978), showed that the addition or replacement of sorghum in a cereal diet results in lowered protein digestibility. The addition of legumes to a sorghum diet has been shown to improve the nutritional status of children as assessed by anthropometric parameters (Doraiswamy *et al.*, 1971; Pushpamma *et al.*, 1979).

The processing techniques used to prepare sorghum foods, by both traditional and other methods, have been shown to have a positive influence on protein digestibility. MacLean *et al.* (1983) reported apparent protein digestibility of 81% for decorticated, heat-extruded sorghum. The decorticated sorghum flour was extruded at 14 - 15% moisture content in a Brady extruder at 350°C and then cooked into a gruel before feeding. Graham *et al.* (1986) found that nasha, a traditional Sudanese fermented sorghum food had an apparent protein digestibility of 74%. Fecal energy losses were 8.6% for decorticated, extruded sorghum and 8% for nasha, compared to 21.0% for whole-ground sorghum. Thus, in both studies, apparent protein digestibilities and total energy digestibilities of the extruded or fermented sorghum food were considerably higher than for gruels made from whole sorghum flour (MacLean *et al.*, 1981). Accordingly, processing treatments prior to cooking have a significant effect on protein and energy digestibility of sorghum foods.

Animal studies

Animal studies which used a cooked sorghum product in the diet are relatively limited compared to those using the uncooked grain. Kurien *et al.* (1960a) conducted a rat study using the rice and sorghum diets which were described above (Kurien *et al.*, 1960b). They measured the total increase in body weight over 8 weeks (equivalent to the Protein Efficiency Ratio, PER, method) and found no significant difference in weight gain when rice was replaced by sorghum. This result is contrary to the previously cited human studies by Kurien (1960b) where the diets containing sorghum resulted in lower protein digestibility and nitrogen balance.

Animal studies have been used to compare digestibility of uncooked flour and cooked food preparations made from sorghum. In rat studies, Mosha *et al.* (1983) found that protein digestibility of cooked whole-ground sorghum was 5% lower than that of uncooked flour.

Table 2. Comparison of various results of sorghum studies with similarly obtained corresponding data from other staple foods.

	Apparent N balance		Stool weight		Stool energy
	Absorption (%)	Retention (%)	wet (g/day)	dry (g/day)	(kcal/day)
Sorghum	46	14	224	39.0	183
Wheat	81	20	95	13.3	60
Rice	66	26	67	11.6	58
Potato	66	34	165	20.3	78
Maize	78	27	133	26.8	117
Casein	81	38	95	15.5	63

From MacLean et al. (1981).

Eggum *et al.* (1983) compared sorghum flour and several traditional food preparations in rat balance tests. True protein digestibility of the protein decreased from 95.4% to 87.5% when a stiff porridge (*ugali*) was made from a low tannin sorghum. However, there was an increase in the biological value of *ugali* compared with the uncooked flour (54.9% compared to 60.8%, respectively). It was hypothesized that the increase in biological value of *ugali* could be due to a decreased digestibility of the prolamin fraction, which is rich in proline but very low in lysine. Thus, by a decreased digestibility of the prolamin fraction, the absorbed protein would have a higher lysine content resulting in an increased biological value.

Eggum *et al.* (1983) also found that *ugali* cooked in an acid media (pH 3.9) showed no decrease in protein digestibility compared to the uncooked flour. When *kisra*, a fermented (pH 3.9) flat bread, was fed to rats there were only minor negative effects on protein digestibilities due to cooking (Eggum *et al.*, 1983). However, these workers found that *aceda*, a fermented thin gruel, had slightly lower true protein digestibilities than the uncooked flour.

Slightly lower crude protein digestibilities were reported for whole sorghum *nixtamal* or *tortillas* than for decorticated sorghum or maize when fed to rats (Serna-Saldivar *et al.*, 1985). Protein efficiency ratio values were the same for whole, decorticated grain and *tortillas* made with sorghum when compared to their respective raw grains.

Cannulated swine were used to examine the digestibility of maize, sorghum or decorticated sorghum cooked with and without lime treatment (Serna-Saldivar *et al.*, 1984). It was found that the protein digestibilities of decorticated sorghum and whole maize were significantly higher than that of whole sorghum. Results from this swine study showed that the nutritional value of cooked sorghum was 95% that of cooked maize.

Mitaru *et al.* (1985) found that meals prepared from cooked, low-tannin whole sorghum gave significantly lower protein digestibility compared to uncooked whole grain meals when fed to broiler chickens. Protein digestibility values ranged from 89.9% in the uncooked meal to 58.4% in the cooked material. These workers suggested that the proteins were changed during cooking via Maillard reactions and thereby become less digestible.

In vitro studies

An *in vitro* pepsin digestibility test was reported by Axtell *et al.* (1981) which approximated those values reported by MacLean *et al.* (1981) in their children nitrogen balance studies. In this case protein digestibility values for cooked whole grain sorghum ranged from 45.3% to 56.7% and for the uncooked flours from 88.6% to 92.9%. This showed a large reduction in protein digestibility following cooking of the whole grain flour. Mertz *et al.* (1984), using a modified pepsin digestibility

Table 3. Pepsin digestibility of cooked major cereals.

Cereal	Protein digestibility* (%)	SD
Wheat	85.5	1.73
Maize	85.3	1.26
Rice	83.8	0.96
Sorghum P721N	59.0	2.45
Sorghum P721O	63.2	1.30
Millet, pearl	74.8	2.06
Millet nasha	85.5	0.58
Sorghum, Dabar	59.8	1.50
Sorghum nasha	65.5	1.29
Sorghum, decorticated 954062	56.8	2.22
Sorghum, decorticated/extruded 954062	79.0	0.00

*Mean of four analyses.

procedure reported *in vitro* protein digestibility values for gruels cooked from sorghum and other major cereals, and processed sorghum foods (Table 3). These data show that cooked sorghum proteins are less digestible than the other similarly treated cereals proteins.

Current considerations

At this time evidence from these studies indicates that cooked whole grain, low-tannin sorghum gruel has lower protein digestibility than gruels cooked from other major cereals. Human studies indicate that this difference is of a fairly large magnitude while animal studies, with the exception of chickens, show a lesser degree of difference. Many studies, both human and animal, indicate that decortication of the grain improves protein digestibility. Animal and *in vitro* studies support the premise that a simple cooking treatment has a deleterious effect on protein digestibility in whole grain sorghum and possibly to a lesser extent in decorticated sorghum. Again the magnitude of the decrease in digestibility seen following cooking varies significantly in the studies from less than 5% in rats to 31.5% in chickens and approximately 40% using the pepsin digestibility assay.

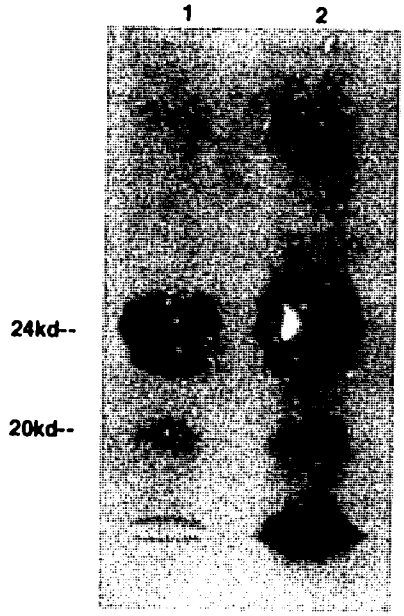


Figure 1. SDS-PAGE patterns of sorghum fractions. Lane 1, uncooked sorghum prolamins (fraction 2 and 3). Lane 2, proteins found in fractions 4 and 5 of the pepsin-indigestible residue of cooked sorghum.

Recent work by Hamaker *et al.* (1986) indicated that upon cooking, the kafirin proteins of sorghum became alcohol insoluble while the zein proteins of maize were less affected after cooking. Using the pepsin digestion procedure it was found that maize showed no drop in protein digestibility following cooking while sorghum showed an appreciable drop. Solubilization of the pepsin-indigestible proteins of cooked sorghum and subsequent analysis by sodium dodecyl sulfate-polyacrylamide gel electrophoresis showed that those proteins which became indigestible due to the cooking treatment were kafirin-type proteins (Figure 1). Unpublished work done in our laboratory shows that when small amounts of a variety of reducing agents are added to a sorghum-water mixture before cooking little or no decrease in *in vitro* pepsin protein digestibility is observed. This finding suggests that the sorghum proteins are complexing through the formation of disulfide bonds during cooking and that the complexed proteins are less susceptible to enzymatic attack.

Literature cited

Axtell, J.D., Kirleis, A.W., Hassen, M.M., D'Croz Mason, N., Mertz, E.T., and Munck, L. 1981. Digestibility of sorghum proteins. Proc. Natl. Acad. Sci. 78: 1333-1335.

Butler, L.G., Rogler, J.C., Mehansho, H., and Carlson, D.M. 1985. Dietary effects of tannins and their precursors. Submitted in: Plant Flavanoids in Biology and Medicine. Buffalo, NY, July 22-26.

Daniel, V.A., Leela, R., Doraiswamy, T.R., Rajalakshmi, D., Rao, S.V., Swaminathan, M., and Parpia, H.A.B. 1966. The effect of supplementing poor kaffir corn (*Sorghum vulgare*) diet with L-lysine and DL-threonine on the digestibility coefficient, biological value and net utilization of proteins and retention of nitrogen in children. J. Nutr. Dietet. 3: 10-14.

Doraiswamy, T.R., Urs, T.S.S.R., Rao, S.V., Swaminathan, M. and Parpia, H.A.B. 1968. Effect of supplementation of poor kaffircorn diet (*Sorghum vulgare*) with L-lysine on nitrogen retention and growth of school children. J. Nutr. Diet. 5: 191-196.

Eggum, B.O., Monowar, L., Bach Knudsen, M.E., Munck, L., and Axtell, J. 1983. Nutritional quality of sorghum and sorghum foods from Sudan. J. Cereal Sci. 1: 127-137.

Graham, G.G., MacLean, W.C., Morales, E., Hamaker, B.R., Kirleis, A.W., Mertz, E.T., and Axtell, J.D. 1986. Digestibility and utilization of protein and energy from nasha, a traditional Sudanese fermented weaning food. J. Nutr. 116: 978-984.

Hamaker, B.R., Kirleis, A.W., Mertz, E.T., Axtell, J.D. 1986. Effect of cooking on the protein profiles and pepsin digestibility of sorghum and maize. J. Agric. Food Chem. 34: 647-649.

Hulse, J.H., Laing, E.M., Pearson, O.E. 1980. Sorghum and the Millets: Their Composition and Nutritive Value. Academic Press. New York, NY.

Kurien, P.P., Narayana Rao, M., Swaminathan, M., Sankaran, A.N., and Subrahmanyan, V. 1960a. The effect of partial or complete replacement of rice in poor vegetarian diet by jowar (*Sorghum vulgare*) on the growth and composition of blood and liver of albino rats. Ann. Biochem. Exp. Med. 20: 293-298.

Kurien, P.P., Narayana Rao, M., Swaminathan, M., and Subrahmanyan, V. 1960b. The metabolism of nitrogen, calcium and phosphorus in undernourished children. 6. The effect of partial or complete replacement of rice in poor vegetarian diets by kaffir corn (*Sorghum vulgare*). Br. J. Nutr. 14: 339-345.

MacLean, W.C., Lopez de Romana, G., Gastanaduy, A., and Graham, G.G. 1983. The effect of decortication and extrusion on the digestibility of sorghum by preschool children. J. Nutr. 113: 2171-2177.

MacLean, W.C., Lopez de Romana, G., Placko, R.P., and Graham, G.G. 1981. Protein quality and digestibility of sorghum in preschool children: balance studies and plasma free amino acids. J. Nutr. 111: 1928-1936.

Mertz, E.T., Hassen, M.M., Cairns-Whittern, C., Kirleis, A.W., Tu, L., and Axtell, J.D. 1984. Pepsin digestibility of proteins in sorghum and other major cereals. Proc. Natl. Acad. Sci. 81: 1-2.

Mitaru, B.N., Reichert, R.D., and Blair, R. 1985. Protein and amino acid digestibilities for chickens of reconstituted and boiled sorghum grains varying in tannin contents. Poultry Sci. 64: 101-106.

Mosha, A., Hambraeus, L., Lieden, S-A., Ljungquist, B.L., Mellander, O., and Svanberg, U. 1983. Influence on seed constituents and food preparation on nutrient bioavailability in sorghum food products. 1. proteins. In: Nutrition in Europe; Food for Thought for Scientists. Fourth European Nutrition Conference Abstracts. x-23.

Nicol, B.M. and Phillips, P.G. 1978. The utilization of proteins and amino acids in diets based on cassava (*Manihot utilissima*), rice or sorghum (*Sorghum sativa*) by young Nigerian men of low income. Br. J. Nutr. 39: 271-287.

Pushpamma, P., Ratnakumari, A., and Geervani, P. 1979. Nutritional quality of sorghum and legume based food mixture for infants and pre-school children-II. Nutr. Rep. Int. 19: 643-648.

Serna-Saldivar, S.O., Knabe, D.A., Rooney, L.W., Tankeley, T.D. 1984. Effect of lime treatment on nutrient digestibility of cooked maize, whole sorghum and pearled sorghum using cannulated swine as model animal. Cereal Foods World. 29: 493. (abstract)

Serna-Saldivar, S.O., Knabe, D.A., Rooney, L.W., Tanksley, T.D., and Sproule, A. 1985. Nutritional evaluation of sorghum and maize tortillas. Cereal Foods World. 30: 539 (abstract).

Discussion

Question (pour Kirleis, par Clark)

Vous avez présenté un tableau sur les valeurs de digestibilité de plusieurs céréales. Dans ce tableau le sorgho était digestible à 46%. Ces valeurs étaient-elles pour le grain entier ou décortiqué? Dans le test de digestibilité pepsine, le premier point consistait à moudre le grain en farine. Cette procédure débute-t-elle avec le grain entier ou décortiqué?

Réponse

La plupart des résultats présentés dans mon document étaient pour le grain entier. Cependant, nous avons effectué quelques tests avec le grain décortiqué. Le plus souvent, nous avons découvert qu'au fur et à mesure qu'augmente le taux de décorticage (c'est-à-dire rendement plus faible en grain), la digestibilité augmente par rapport au grain entier. Cependant, nous trouvons toujours qu'après la cuisson, il y a une diminution en ce qui concerne la digestibilité du grain décortiqué.

Question (for Kirleis, by Clark)

You presented a table with digestibility values for various cereal grains in which sorghum was 46% digestible. Were these values for whole grain or decorticated grain? In the pepsin digestibility test the first step was grinding the grain to flour. Again, does this procedure begin with whole grain or decorticated grain?

Response

Most results in my paper were for whole grain. However, we have done some tests with decorticated grain. In general we find that as decortication rate increases (i.e., less grain yield) digestibility increases relative to whole grain. However, we still find that the digestibility of decorticated grain decreases after cooking.

Question (pour Kirleis, par Axtell)

Dans la préparation du nasha quel effet la fermentation de la farine du sorgho a-t-elle sur la teneur en protéines Prolamine II?

Réponse

Nous n'avons pas encore eu à étudier ce problème et, en conséquence, nous ne savons pas quel effet la fermentation peut avoir sur les protéines prolamine.

Question (for Kirleis, by Axtell)

How does fermentation of sorghum flour in nasha preparation affect the content of Prolamin II proteins?

Response

We have not studied this. Therefore, we do not know how the fermentation affects the prolamin proteins.

Question (pour Kirleis, par Andrews)

Si le remplacement du sorgho par le maïs donne un taux plus faible en protéines, quelle conséquence cela peut-il avoir? Pour améliorer ce régime, ne pourrait-on pas utiliser un peu plus de protéines végétales ou animales?

Question (for Kirleis, by Andrews)

If substitution of sorghum for maize gives a lower protein availability, how serious is this? Could not a little extra vegetable or even animal protein rectify the diet?

Réponse

Dans les régimes où la source de protéine principale est la protéine céréalière, le remplacement du sorgho par le maïs résultera sans aucun doute un effet négatif sérieux en ce qui concerne l'alimentation des nourrissons et des enfants. Les études alimentaires du Dr. MacLean le démontrent: on observe non seulement une réduction apparente d'absorption et rétention d'azote mais également une augmentation apparente d'excréments. Dans les situations où d'autres sources de protéines riches en lysine représentent une partie du régime, on verra très peu d'effets défavorables.

Response

In diets where the major protein source is cereal protein then substitution of sorghum for maize would likely have a serious negative effect on the nutritional status of infants and children. This is the case, as the feeding studies by MacLean showed: not only a reduction of apparent absorption and apparent retention of nitrogen but also an increase in stool energy. In situations where other protein sources rich in lysine make up a portion of the diet, few adverse effects are likely to be seen.

Session III

Drought Resistance Research

Moderator,
Mr. Jada Gonda

INTSORMIL Pearl Millet Breeding Research

David J. Andrews
University of Nebraska

and

William D. Stegmeier
Kansas State University

Abstract. Research on improvement of pearl millet for grain production is conducted at six U.S. universities supported by INTSORMIL, and includes two breeding programs—one at Kansas State University and the other at the University of Nebraska-Lincoln. Breeding objectives include generating appropriate segregating populations for selection in developing countries, selecting for drought resistance and selecting for high yielding hybrids. Pedigree breeding and recurrent selection in random-mating populations are used. Research is continuing on the application of recurrent selection in pearl millet and a relatively less resource-consuming method of half-sib selection is described. This method is appropriate for tropical situations where a small second generation can be grown annually.

La Recherche d'INTSORMIL sur la Sélection du Mil

Résumé. La recherche sur l'amélioration du mil pour la production du grain, financée par l'INTSORMIL, est conduite dans six universités américaines, et inclut deux programmes d'amélioration génétique: l'un à l'Université d'Etat du Kansas (Kansas State University) et l'autre à l'Université de Nebraska-Lincoln (University of Nebraska-Lincoln). Les objectifs d'amélioration génétique sont: la création des populations en ségrégation appropriées à la sélection dans les pays en voie de développement, sélection appropriée de populations pour la résistance à la sécheresse, et sélection d'hybrides à hauts rendements. Les méthodes de sélection généalogique "pedigree" et la sélection récurrente sont utilisées dans les populations panmectiques. La recherche sur l'application de la sélection récurrente pour le mil est poursuivie, de même qu'on a decrit la méthode de sélection demi-frère qui fait usage à relativement moins de resources. Cette méthode est appropriée aux situations tropicales où on peut cultiver une deuxième génération annuellement.

Research on pearl millet [*Pennisetum americanum* (L.) Leeke—syn. *P. typhoides* (S & H)] in the six INTSORMIL universities covers a range of disciplines: agronomy/crop physiology; crop protection (pathology and entomology); food quality/nutrition and socio-economics along with plant breeding/genetic studies (INTSORMIL, 1985). Pearl millet breeders therefore have supportive research on the principal factors which affect crop yield potential, production and utilization. Research is oriented towards identifying and relieving constraints to stable grain production in countries where pearl millet is a major food crop and in-country collaborative research is emphasized. The creation of higher-yielding stress resistant germplasm stocks by breeders is a fundamental component in achieving reliable production increases.

Genetic research on pearl millet in the United States was pioneered by Dr. Glenn Burton, at Tifton, Georgia, in the 1940's, and though primarily aimed at forage uses, much basic knowledge and useful germplasm appropriate to pearl millet as a grain crop have originated from that program. The hybrid breakthrough in India was made possible by a Tift seed parent. Today, there are two pearl millet breeding programs in the US, both supported by INTSORMIL, whose main focus is producing grain crop germplasm and genetic information. One was initiated at the Fort Hays Branch Experiment Station, Kansas State University in 1971, and the other at the University of Nebraska-Lincoln started in 1979. Both of these programs have the general objective of developing populations and parental lines with higher yield potential, grain of good food/feed quality and the ability to resist moisture deficits. The programs differ but are complementary in that different base materials are involved, selection procedures used vary somewhat, as do the test environments. Material is exchanged and joint tests are planned.

Widening and improving the genetic base of these breeding programs is achieved through the introduction, evaluation and crossing of exotic varieties to the best existing program material. This provides an excellent practical basis for collaborative work abroad since the resulting segregating populations from such crosses are likely to be useful to breeding programs in the adaptive area of the particular exotic parent involved.

Higher grain yield is pursued through the improvement of a number of traits—seed size and number, seedling emergence and vigor, head size and number and yield *per se*. At KSU-Hays, resistance or tolerance is sought against drought, lodging factors affecting seed set, and the green bug aphid. High yielding dwarf lines are being bred with lodging resistance to develop a crop that can be combine harvested in the USA. The creation of large seeded early maturing dwarf seed parents in the Hays program has permitted experimental hybrids to be tested in Kansas since 1979 (KSU, 1984). Results from these tests, conducted with sorghum hybrid checks at seven locations over four years, showed that the best yielding millet hybrids achieved around 80% of the grain yield of the sorghum checks but flowered 5-10 days earlier. One millet hybrid averaged 3000 kg/ha over all locations in two years and hybrids at individual locations achieved 4800 kg/ha.

The breeding procedures used in the KSU-Hays program include population improvement by recurrent selection (mass selection in 4 populations, S_1 family testing and selection in six other populations) and pedigree breeding to develop elite lines. Potential parent lines for hybrids are also identified and developed in the hybrid testing program. Emphasis is given to retaining large seed size in the female lines to give better seedling establishment. The principal source of early maturity and seed size has been PI 185642 from Ghana which is apparently a collection from the landrace also independently used in the EAAFRO program at Serere, Uganda. Two of the early-maturing dwarf hybrid seed parents developed by the KSU-Hays program have been widely used in India, both to make hybrids (ICAR, 1984), and in the breeding of new seed parents (ICRISAT, 1983).

The UN-L millet breeding program started later and focused on developing dwarf random-mating populations using sources from KSU-Hays, Tifton, West Africa, and India both at Lincoln and in western Nebraska (a low rainfall, short season environment with low temperatures both at the beginning and end of the growing period). To complement this, UN-L obtained a normal height population developed by ICRISAT/CIMMYT at a high elevation (2300 m) location in Mexico where

similar cool temperatures are experienced. More ICRISAT/India material as F_1 crosses were introduced into the UN-L program in 1983/84 giving a visibly expanded range of variability evident in the resultant F3 lines grown in 1985. One random-mating dwarf population is being subjected to the modified form of mass selection depending on selection of selfed spaced plants within unreplicated half-sib families.

Since recurrent selection in random-mating populations is a breeding approach well suited to the genetic improvement of pearl millet, particularly in tropical regions, some research is being continued into the refinement of a modified form of half-sib selection, first developed at ICRISAT in 1981 (Rai and Andrews, 1982) and now incorporating some revisions (Singh *et al.*, 1985). S_1 family testing is the most powerful recurrent selection method for pearl millet, but it is intensively resource consuming and too expensive for most breeding programs. Of the simpler forms of recurrent selection, gridded mass selection (GMS) (Gardner, 1961) is an improvement over basic mass selection but it does not use the benefits of a second generation in a year. Recurrent restricted phenotypic selection (RRPS) (Burton, 1982, 1983) uses a grid block layout, gives male parent control, and utilizes a second generation in a year. However, in RRPS, plants must be selected on an individual basis, unsupported by their family performance, and selection must be made before some important mature plant traits can be assessed, such as seed appearance. Mass selection based on non-replicated half-sib selection described below incorporates aspects of GMS and RRPS but permits family performance to contribute to selection and delays final selection between single plants selfed within families until maturity. This selection system is easy to manage and if well conducted, should provide a viable way to capture many of the advantages of recurrent selection. Early results from ICRISAT using this method are encouraging (Singh *et al.*, 1985). Research on this method is being continued both at ICRISAT and UN-L to gather further information.

Modified Half-sib Family, Selfed Plant Selection Method.

The method has various important features which distinguish it from a normal half-sib system. To improve selection efficiency, gridded mass selection of half-sib families is used. To reduce the amount of inbreeding in the second and subsequent cycles, an equal number of half-sib progenies are taken from each progeny that was selected for recombination.

Selection is carried out within the half-sib family rows in each grid. To increase the efficiency of within-row selection plants are spaced singly 30-45 cm apart (or wider for African conditions), to give improved phenotypic expression. Plants likely to be selected are selfed to control both the female and male parentage. About 5 of the best selfed plants are finally retained from each selected family row; a smaller number than five will reduce the reliability of the selection response.

Lower and upper numbers are arbitrarily given for the total number of families tested, grid blocks of families per block and plants to be selected within families. Exceeding these limits is probably unnecessary while using smaller numbers could lead to inbreeding.

Procedure (see also schematic representation in Diagram 1)

Cycle 1: Main Season—Testing of Half-sib Families and Selecting Single Plants

From a previous planting of the random-mated population 200 (lower limit) or 540 (suggested upper limit) individual open-pollinated plants are selected. The progenies from these plants are tested in the main season in 20 (27) grid blocks by randomly allotting 10 (20) half-sib families per grid. Within row spacing should increase to about 20% of normal (30-45 cm between plants) with about 25 to 30 plants per family. In this way some 5,000 (16,200) plants are under selection.

After rejecting poor families on the basis of data available and observations to the time of flowering, about 10 plants are selfed in each of the remaining families. At harvest on the basis of the yield of the half-sib families and a visual assessment of the individual plants, 5 superior selfed plants are selected from the best family in each 10 family grid block (or the 2 best families are selected where 20 families are used in each grid block).

Second Season—Random Mating

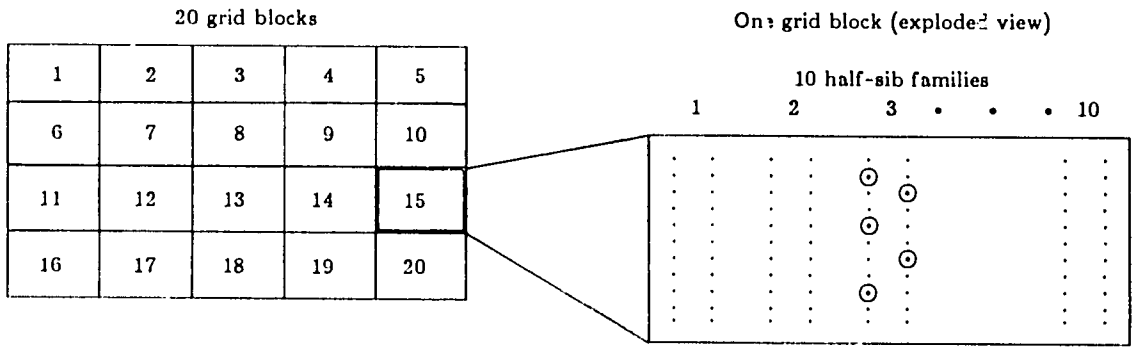
A portion of the seed of each selected plant is kept separately for use in variety formation (below) and the remainder is used in random mating in one of two ways in the off-season to produce seed of new half-sib families:

1. *In isolation.* A bulk made of an equal portion of seed from each selfed plant, which is planted in alternate rows with the labeled S_1 progeny row from each selfed plant. The bulk serves as mixed pollen spreader rows, facilitating random-mating. At harvest, the 10 best plants are visually selected from each S_1 row which provide the half-sib families for the next cycle of selection method. Seed from the

Diagram 1. Main elements of the half-sib, selfed plant selection method modified for mass selection in pearl millet.

This example of the modified half-sib, selfed plant selection method is for 200 families in 20 grid blocks with 10% selection pressure within the blocks. Larger numbers and/or less selection pressure are possible, but selecting less than 20 families, each represented by 5 selfed plants, is not recommended.

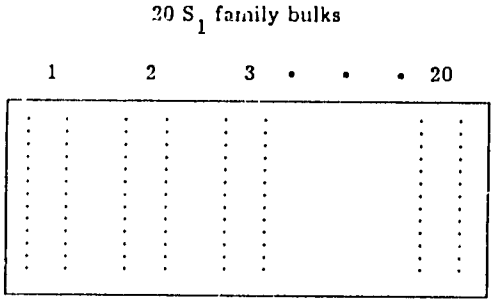
1. Main season (selection).



Space plants, in a uniform field, 200 half-sib families (HSF), in 20 grid blocks with at least 25 plants per HSF. At flowering, self 8 to 10 of the best plants within the 3 to 4 best HSF in each block. At harvest, identify the one best HSF per block and select the 5 selfed plants in it (see circled plants in the exploded view of the grid blocks). Thresh the heads separately.

Bulk equal parts of seed from selfed plants within families (keep plant remnant seed separately for variety production) to produce 20 bulks, one for each selected family.

2. Off-season (recombination).



In the off-season, plant family bulk rows of at least 50 plants each row. Bag 5 or more plants in each row for 4 or 5 days. Collect pollen daily from all rows (exclude off-types), blend and pollinate the bagged plants, thus making half-sib seed. Harvest 10 half-sibs from each row. This provides the 200 HSF for the next cycle of selection. (Note that sister half-sibs are not to go in the same grid block.) A bulk of part of all 200 HSF makes the C_1 bulk.

Variety production

In the next main season, grow head rows (S_1 families) in family groups from the individual selfed plants selected from the grid blocks. Use only remnant seed for this. Identify the best single S_1 family from the best 10 HSF groups. Using remnant seed of the S_1 generation, make up a bulk for intermating and increase of the new variety. Other variations exist for making varieties.

bulk rows becomes the C_1 bulk stock.

2. *Without isolation (as shown in Diag. 1).* The same method is followed as in 1 above but the bulk spreader rows are optional. In each S_1 row for 4 or 5 days at the average flowering period, bag 5 plants daily, avoiding off types. Pollinate these as they become female receptive with bulk pollen collected daily from all rows (or the bulk). At harvest, save the best 10 of these half-sibs from each row. The C_1 bulk can be produced by pooling equal amounts of seed from each S_1 family using some of the seed of all half-sibs.

Cycle 2

Repeat the procedure of cycle 1 starting with the half-sib families from the previous random-mating generation.

Formation of Varieties

In the following main crop season grow in separate rows (but in family groups) progeny of the 5 plants (but again keep some remnant seed) selfed in each of the better 50% of the half-sib families identified in the previous main season test. If a total of 20 families were selected, this would mean 5 x 20 = 100 S_1 rows would be grown in family groups. Choose the best S_1 row from each of a minimum of 6 families and use the remaining seed of each of these to random mate to form a variety. More than one variety can be made, if more than about 10 S_1 families are outstanding, or if they fall into 2 or more phenotypic classes. While seed of this generation can be used in a preliminary yield test, a further random mating generation is needed to bring the variety performance near to its normal level and to produce seed for more definitive testing. The principles involved in the formation of these varieties is to first use the half-sib progeny test to identify the best of the selected families. (The number of families selected for variety synthesis would be less than need to remake the population bulk for which it is necessary to retain a wider range of variability). Then select within these, taking advantage of the variation between individual selfs within a family, which will be most usefully expressed in the main season, where differences in disease reaction, etc., can best be evaluated.

References

Andrews, D.J., K.N. Rai, and Pheru Singh. 1982. Recurrent selection in pearl millet populations. All India Coordinated Millet Improvement Workshop, Coimbatore. ICAR. New Delhi.

Burton, G.W. 1982. Improved recurrent restricted phenotypic selection increases bahiagrass forage yields. Crop Sci. 22: 1058-1061.

Burton, G.W. 1983. Breeding pearl millet. Plant Breeding Review 1: 162-182.

Gardner, C.O. 1961. An evaluation of effects of mass selection and seed irradiation with thermal neutrons on yield of corn. Crop Sci. 1: 241-245.

ICAR. 1984. All India Co-ordinated Millet Improvement Project Workshop. Junagadh, April 1984. Coordinators Review. ICAR. New Delhi.

ICRISAT. 1983. Pearl millet breeding. pp. 66-117. In Annual report for 1982. International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics. Patancheru, A.P., 502 324, India.

INTSORMIL. 1985. Fighting hunger with research. J.F. Winn (ed.). INTSORMIL. USAID, UN-Lincoln.

Kansas State University. 1984. Pearl millet: A potential crop for Kansas. Kansas Agric. Exp. Stn. Bull. No. 77.

Singh, P., K.N. Rai, J.R. Witcombe, and D.J. Andrews. 1986. Population breeding methods in pearl millet improvement. Z. Pflanzenzuchgt. (in press).

Discussion (Session III)

Question (pour Andrews, par Persaud)

Pourriez-vous donner votre avis sur le niveau d'adaptation aux stress abiotiques que l'on pense trouver dans les variétés locales?

Réponse

Les gènes pour l'adaptation existeront naturellement, mais vu que la plupart des ses caractèristiques seront génétiquement complexes, la sélection dans des conditions naturelles n'aura pas retenu l'expression dans la forme la plus forte possible—on aura la possibilité de les améliorer par le moyen de la sélection. Ceci est surtout applicable au mil, qui, du fait qu'il est fortement fécondé par la pollination croisée, tend à retenir de telles caractéristiques aux niveaux intermédiaires d'expression.

Commentaire

Bien que la sécheresse puisse se produire à tout moment, certaines périodes sont plus défavorables que d'autres. Donc il sera plus important de tester les variétés à cette étape de croissance physiologique. Puisque la réaction à la photopériode qui contrôle les conditions de floraison détermine la croissance de l'étape végétative à celle de la floraison, il est très difficile d'évaluer les variétés sensibles à la photopériode, *à moins* qu'elles ne soient plantées à l'*époque normale*. Ainsi, nous devons concentrer notre attention sur la reproduction de conditions de sécheresse pendant la saison normale. Voici ce qui est suggéré: a) contrôler soigneusement les cas normaux de sécheresse, b) créer des conditions d'écoulement pour accentuer le stress dû à la sécheresse, c) avoir une gamme de densité des plantes pour créer le stress. Par exemple, par des plantations en forme d'éventail.

Commentaire (par Fussell)

Oui, l'on peut utiliser différents traitements agronomiques pour créer des conditions de stress dû à la sécheresse sur différentes variétés.

Question (for Andrews, by Persaud)

Would you comment on the level of adaptation to abiotic stresses expected in indigenous varieties?

Response

Genes for adaptation of course will exist, but since most of these traits will be genetically complex, selection in natural conditions will not have maintained the expression in the strongest form possible—it will be possible to improve them by breeding. This particularly applies to pearl millet, which being strongly cross-pollinated, tends to maintain such traits at intermediate levels of expression.

Comment

Although drought may come at any time, certain times are more damaging than others. Thus it will be more important to test varieties at that physiologic growth stage. Because photoperiod response controlling flowering conditions growth from vegetative to flowering stages, it is very difficult to evaluate photoperiod sensitive varieties *unless* they are planted at the *normal time*. Thus our attention must be focused on managing drought during the normal season. Suggestions are: a) closely monitoring normal drought occurrences, b) creating run-off conditions to accentuate drought stress, c) having gradients of plant densities to create stress, e.g. by fan design plantings.

Comment (by Fussell)

Different agronomic treatments can be used to impose drought stress on a range of varieties. As Mr. Andrews mentioned, high plant density

Comme l'a mentionné M. Andrews, une haute densité de plantes imposera une situation de stress hydrique sur une gamme de variétés, et leur réaction à cela pourrait être interprètée comme "réaction à la sécheresse".

Commentaire (par Magah)

Compte tenu des conditions pluviométriques, caracterisées par une répartition incertaine et mauvaise, qui s'imposent au Sahel, il me semble plus opportun d'accorder davantage d'importance à la régulation du développement des plantes plutôt qu'au comportement des plantes en cas de stress hydrique à un stade donné. Il faudrait en effet développer des variétés qui ont une bonne capacité de reprise, lorsque la situation pluviométrique se rétablit.

Commentaire

On a trouvé des différences distinctes dans la capacité de reprise, et la rapidité avec laquelle le sorgho se remet lorsque le stress dû à la sécheresse disparaît. Les sorghos qui pendant la pré-floraison ont une bonne tolérance à la sécheresse, se remettent bien plus rapidement, et avec une quantité d'humidité moindre, que ne le font les variétés à tolérance post-floraison.

Commentaire (par Magah)

Le temps d'application des engrais n'est pas une contrainte importante par rapport aux difficultés d'approvisionnement en engrais et à leur coût.

Commentaire (par Ouattara)

Concernant l'utilisation des engrais, l'enquête sur l'utilisation des intrants agricoles commandée par le Projet Productivité Niamey, et à laquelle j'ai participé, a montré entre autres que la disponibilité en argent cash des paysans en début de saison des pluies semble le facteur le plus limitant. La mise en place de structures de crédit agricole est très importante si on veut améliorer l'utilisation des engrais par les paysans.

will impose a moisture stress situation on a range of varieties and their response to this could be interpreted as a drought response.

Comment (by Magah)

Taking into account the predominant rainfall conditions of the Sahel which are characterized by a distribution which is unpredictable and poor, it seems to me expedient to attach more importance to regulating the development of plants, rather than to their behavior in cases of water stress at a given stage. In effect, varieties must be developed which have a good capacity for recovery when the rains return.

Comment

We have found distinct differences in recovery ability and rate of recovery in sorghum when severe drought stress is relieved. Sorghums with preflowering drought tolerance recover much more rapidly and to smaller amounts of moisture, than do post-flowering tolerant types.

Comment (by Magah)

The timing of fertilizer application is not an important constraint in comparison with the difficulties involved in fertilizer distribution and its cost.

Comment (by Ouattara)

Concerning fertilizer use, the survey on the use of agricultural inputs in which I participated for the Niamey Production Project showed, among other things, that the availability of cash among farmers at the beginning of the rainy season seems to be the most limiting factor. The establishment of an agricultural credit infrastructure is a very important factor in the improvement of the use of fertilizers by farmers.

Question
(pour Andrews et Rosenow, par Gonda)

De touts temps les chercheurs ont imposé la sécheresse aux plantes à un stade donné. Pourquoi ne pas imposer la sécheresse aux plantes dès leur semis, et leur imposer un calendrier d'irrigation qui va de 2 à 3 semaines, ou même 5 semaines après le semis, essayant ainsi d'imiter la nature au Sahel en général et au Niger en particulier.

Réponse

Semer antérieurement à la période normale, par exemple en Mars, offrirait de bons moyens d'induction fiable et de gestion des conditions de sécheresse *in situ*. Il ne faudrait probablement pas semer plus tôt, autrement les conditions de semis seraient trop fraîches et les journées pas suffisamment longues. De surcroit, semer après la fin de la saison, par exemple en Octobre, ne serait pas satisfaisant pour une réaction à la sécheresse qui ait un sens réel.

Question (pour Andrews, par Van der Ploeg)

La recherche sur les graminées a démontré que celles du Sahel arrêtaient de pousser en cas de sécheresse. Est-ce également le cas pour le mil?

Réponse (par Andrews)

Cela se passe avant l'initiation de l'inflorescence, pas après. Il en est de même pour le mil. La réponse en ce qui concerne les graminées est similaire à ce que nous avons observé dans le mil à grain. C'est-à-dire certaines variétés arrêtent de croître (avant la floraison) à cause de la sécheresse. Cependant, d'autres continuent à se développer malgré le stress hydrique.

Commentaire (par Fussell)

Avant même l'initiation de panicules, le mil arrêtera sa croissance en cas de sécheresse. Il recommencera à pousser dès qu'il y aura signe d'allégement du stress. Aussi, il serait

Question (for Andrews and Rosenow, by Gonda)

Researchers have always imposed drought upon plants at a given stage. Why not impose drought on plants from planting onward and also impose an irrigation schedule that goes from 2 to 3 weeks, or even 5 weeks, after planting, thus attempting to simulate natural Sahelian conditions, and those of Niger in particular.

Response

Planting earlier than the normal time, say in late March, would offer good possibilities of reliably inducing and managing drought conditions *in situ*. Planting should probably not be earlier, or seeding conditions would be too cool and the days not long enough. Also, planting after the season is over, for example in October, would not be satisfactory for meaningful drought responses.

Question (for Andrews, by Van der Ploeg)

Research on grasses proved that Sahelian grasses can completely stop growing in case of drought. Is this same phenomenon found in millet?

Response (by Andrews)

This occurs before the initiation of inflorescence and not after. It is the same for millet. The response in grasses seems similar to what we observed in grain millet, i.e. some varieties cease apparent growth (before flowering) in response to drought. However, others continue to develop regardless of drought stress.

Comment (by Fussell)

Even before panicle initiation, millet will arrest its growth and development if drought occurs. It will begin growing again after the release of the stress. Therefore, there is a real

nécessaire de diviser ce problème de croissance de plantes en deux stades. On peut de cette façon résoudre le problème plus facilement.

Question (pour Andrews, par Gonda)

Pendant votre étude sur la résistance à la sécheresse des génotypes du mil, avez-vous eu à établir une relation quelconque entre le cycle et la résistance à la sécheresse?

Réponse

Une résistance réelle, qui diffère d'une tendance à éviter la sécheresse n'a rien à voir apparemment avec la durée du cycle, c'est-à-dire que l'on peut trouver une résistance au stress hydrique dans les variétés à courts et longs cycles. Pour une comparaison, ces variétés doivent être analysées au même stade physiologique, par exemple avant la floraison.

Question (pour Andrews, par Axtell)

Vous avez présenté des données qui démontrent une baisse en rendement lorsque l'on fait pression sur une population pour la résistance au mildiou. Pourriez-vous donner votre avis sur ce sujet et expliquer comment le sélectionneur tient compte des priorités dans un programme de sélection?

Réponse

Dans un système de sélection pratique, qu'il s'agisse de pedigree ou de sélection récurrente, il y a toujours un compromis au niveau des préférences pour les différentes caractéristiques. Ce genre de caractéristiques sont inconsciemment mis en comparaison l'un contre l'autre par le sélectionneur, mais parfois les priorités varient selon les circonstances. Dans deux cycles successifs de la population mentionnée ci-dessus, dans le 1er cycle le rendement avait reçu beaucoup plus d'importance et dans le deuxième la résistance au duvet du mildiou. Ceci avait produit les effets attendus: un premier rendement plus élevé, un deuxième rendement moins

need to divide up the problem of plant growth into two stages. In this way we can more easily deal with the problem.

Question (for Andrews, by Gonda)

During your study on drought resistance of pearl millet genotypes, did you establish any relationship between cycle and resistance to drought?

Response

True resistance to drought, as distinct from avoidance, does not appear to be related to length of cycle, i.e. resistance to moisture stress can be found in short cycle and long cycle varieties. To be comparable we should compare such varieties at the same physiologic stage, e.g. preflowering.

Question (for Andrews, by Axtell)

You presented data which showed a decrease in yield when pressure was put on a population for downy mildew resistance. Can you comment on this and explain how a breeder balances priorities in a breeding program?

Response

Practical selection, whether it be in a pedigree system or in recurrent selection, is a compromise between preferences for various traits. Such traits are usually unconsciously balanced against each other by the breeder, but sometimes different priorities are given according to circumstance. In two successive cycles in the one population referred to, in the first cycle yield was given the most importance, in the second, downy mildew (DM) resistance. This had the expected effects—good advance for yield at first, less for yield in the second but good increase in DM resistance. But, it demonstrates the flexibility of recurrent

élevé, mais avec un niveau de résistance au mildiou plus important (élevé). Mais, ceci démontre la flexibilité de la sélection récurrente sur les populations à fécondation fortuite. La même population était capable de se conformer (répondre) successivement à deux différentes directives de sélection. Fréquemment, une augmentation modérée peut être obtenue pour plusieurs traits (caractères) en une seule fois.

Question (pour Andrews, par Adamou)

Comment évaluer les progrès réalisés en modifiant une méthode de sélection dans les pays saheliens si l'on dépend des pluies, sachant que les quantités des pluies et les répartitions de celles-ci sont différentes d'une année à l'autre?

Réponse

Je pense que la sélection récurrente dans les populations est la méthode la plus efficace, et la mieux adaptée pour parer aux effets des changement de conditions climatiques durant et entre les saisons. Cependant, des observations soigneuses et continues en ce qui concerne la croissance de la descendance dans les champs sont nécessaires. Tout système de sélection peut ne donner aucun résultat, à moins que le sélectionneur n'observe soigneusement la descendance, pour ainsi pouvoir interpréter les anomalies de cette saison particulière. L'imposition d'un système théorique de sélection ne tenant pas compte des interprètations courantes serait inutile.

Question

Quelle est l'impact de la déprédation des insectes sur les variétés de mil résistantes ou tolérantes à la sécheresse?

Réponse

Je ne connais aucune relation existant entre les attaques de maladies ou d'insectes et la résistance au stress hydrique. Cependant, il pourrait peut-être y avoir une réponse au

selection on random mating populations. The same population was able to respond to two different selection directions successively. Frequently, moderate advance can be made for several traits at once.

Question (for Andrews, by Adamou)

How should one evaluate the actual progress resulting from a modification of a method of selection in the Sahelian countries if one is dependent on natural rainfall, when it is clear that the amount and distribution of rainfall differs from one year to another?

Response (by Andrews)

I believe recurrent selection in populations is the most effective method, best able to accommodate the effects of changing environmental conditions within and between seasons. But close and continued observation of the progeny's growth in the field is required. Any selection system is likely to be ineffective unless the breeder closely observes the progeny, and is thus able to interpret the peculiarities of that particular season. The imposition of a theoretical selective system, regardless of current interpretations, will be unsuccessful.

Question

What is the impact of insect damage on millet varieties which are resistant or tolerant to drought?

Response

I do not know of any strong relationships between pest and disease attacks and resistance to drought stress. There may however be some response due to reduction in leaf area (hence

problème due à la réduction de feuilles (donc réduction et conservation de l'humidité du sol) ou la destruction des tiges, qui entrainera de nouveaux tallages, coincidant peut-être avec le renouvellement de la provision d'humidité.

Commentaire (par Fussell)

Je ne suis pas tout à fait d'accord avec le Dr. Andrews. L'application de quantités judicieuses d'engrais améliorera l'efficacité de l'utilisation d'eau. La plante soumise à la sécheresse, en cas d'application d'une trop grande quantité d'engrais. Avec la mauvaise pluie enregistrée en 1984 (la pire jamais enregistrée), nous avons observé quand même une réponse au phosphore avant que l'eau ne devienne l'élément le plus limitant. Le phosphore en particulier aide à améliorer: (1) la croissance des racines, (2) l'humidité des premiers 30 cm du sol qui est perdue par évapo-transpiration, à moins d'être utilisée par la plante. La croissance vigoureuse d'une culture qui a reçu de l'engrais est en meilleure position pour utiliser cette humidité qu'une culture qui n'a pas reçu d'engrais. Il est préférable que la plante utilise cette humidité que de la voir perdue dans l'atmosphère.

Question (pour Gonda, par Andrews)

Pourquoi les paysans n'utilisent-ils pas des engrais dans la culture des céréales?

Réponse (par Gonda)

1) Les engrais coûtent très cher.
2) Peu d'engrais sont disponibles.
3) Il n'y a pas de liquidité au moment où il faut acheter l'engrais.

reduction and conservation of soil moisture) or destruction of stems, which would cause new tillering, which may coincide with renewed moisture supply.

Comment (by Fussell)

I disagree somewhat with Mr. Andrews. Judicious quantities of fertilizer will improve water use efficiency. Large quantities of fertilizer will subject the plant to the risk of drought. In 1984, with the worst rainfall year on record, we still observed a response to P before water became the more limiting element. Phosphorus in particular improves (1) root growth, and (2) the use of the top 30 cm of soil moisture which is lost to soil evaporation unless used by the crop. A vigorously growing, fertilized crop has a better opportunity to use this moisture than an unfertilized crop. It is much better to put this moisture through the plant than to lose it to the atmosphere.

Question (for Gonda, by Andrews)

Why do farmers not use fertilizers on cereals?

Response (by Gonda)

1) Fertilizer cost is very high.
2) Availability is low.
3) There is no cash at the time when fertilizer should be purchased.

Techniques and Concepts of Collaborative Drought Tolerance Research on Sorghum in West Africa

Darrell T. Rosenow
Texas A & M University

and

Gebisa Ejeta
Purdue University

Abstract. Recent emphasis on field screening of sorghum under severe drought stress has led to important developments in the understanding of drought tolerance. Two distinctly different types of stress response have been identified and are directly related to the stage of growth when stress occurs. One type (pre-flowering) is expressed when plants are stressed prior to flowering during head development, while the other (post-flowering) is expressed when severe moisture stress occurs during the grain filling stage. Plant symptoms indicating either a desirable or undesirable reaction to these two types of stress can be visually rated in field nurseries. Excellent sources of tolerance to each type of stress have been identified. Most lines which possess a high level of tolerance at one stage tend to be susceptible at the other stage. However, some do possess good levels of tolerance at both stages. Efforts are underway to combine the two types of tolerance into the same line. The use of field screening nurseries with different degrees and type of stress is suggested as an effective drought screening technique. Close attention should be given to the stage of growth when stress occurs. Collaborative research among researchers in drought prone areas of the world with extensive germplasm and information exchange is encouraged and should be very useful in developing sorghums with enhanced drought tolerance.

Techniques et Concepts d'une Recherche Collaborative sur la Tolérance à la Sécheresse du Sorgho en Afrique de l'Ouest

Résumé. L'accent récemment mis sur la sélection du sorgho soumis à des conditions sévères de sécheresse au champ, a amené d'importants développements dans la compréhension de la tolérance à la sécheresse. Deux types distincts de réponse au stress ont été identifiés et sont directement liés au stade de croissance sujet au stress. Le premier type (pré-floraison) se manifeste quand les plantes sont soumises au stress avant la floraison et pendant la formation de l'épi, alors que le second (post-floraison) s'exprime chez les plantes soumises à un sévère stress hydrique pendant le remplissage du grain. Les symptômes indiquant une réaction désirable ou indésirable à ces deux types de stress peuvent être visuellement évalués au champ. D'excellentes sources pour chacun des deux types de stress ont été identifiées. La plupart des lignées qui possèdent un haut niveau de tolérance à l'un des stress tendent à être sensible à l'autre. Cependant, certaines lignées possèdent un bon niveau de tolérance durant les deux stades. Des efforts sont entrepris pour combiner les deux types de tolérance dans une même lignée. L'utilisation des pépinières de sélection au champ avec différents degrés et types de stress sont proposés pour une technique efficace de la sélection à la sécheresse. Une attention particulière doit être consacrée au stade phénologiques sujet au stress. La collaboration entre les chercheurs dans les régions du monde prédisposées à la sécheresse ainsi que les échanges extensifs de plasma germinatif et d'informations sont encouragés, et doivent être très utiles au développement des sorghos avec une meilleure tolérance à la sécheresse.

Introduction

Drought stress is a universal constraint to sorghum and millet production worldwide. Most of the sorghum growing area in West Africa in general and Niger in particular is drought prone. Therefore, adequate production under drought stress is essential. Improved drought tolerance through breeding would be a major contribution to increasing or stabilizing production.

Development of sorghum with improved tolerance is receiving increased emphasis in the US and internationally. Only in recent years have large sorghum breeding and screening nurseries been devoted specifically to selection for improved drought tolerance. Recent emphasis on field screening under severe drought stress has led to significant developments in our understanding of drought tolerance. We have developed some selection and screening techniques and concepts which we believe are useful internationally in breeding for improved drought tolerance. In this paper, we will discuss some of the breeding and screening techniques we use and their application to West Africa.

Concepts

Three important growth stages are recognized as they relate to drought stress: (1) the seedling establishment/early vegetative stage; (2) the pre-flowering stage (head differentiation to flowering); and (3) the post-flowering stage.

Recent sorghum research in Texas and other locations has placed an increased emphasis on understanding drought response. We have identified two distinct types of stress responses in sorghum which are related to stage of growth when stress occurs. The 'pre-flowering' or 'early season' response occurs when plants are under significant moisture stress prior to flowering. Specifically, this growth period is from panicle differentiation, or very shortly thereafter, until flowering. The other distinct response, called 'post-flowering' or 'late-season', occurs when plants are under severe moisture stress during grain filling stage.

Plant symptoms indicating either a desirable or undesirable reaction to these two types of stress are visually rated in the field. Symptoms of pre-flowering drought stress susceptibility include: leaf rolling; uncharacteristic leaf erectness; leaf bleaching; leaf tip and margin burn; delayed flowering; 'saddle' effect — only end plants next to alleyways produce a panicle; poor panicle exsertion; panicle blasting and floret abortion; and reduced panicle size. Tolerance to pre-flowering drought stress is indicated by alternative conditions in each instance.

Symptoms of post-flowering drought stress susceptibility include premature plant (leaf and stem) death or plant senescence, stalk lodging, stalk rot (charcoal rot, *Macrophomina phaseolina*), and sometimes a significant reduction in seed size, particularly at the base of the panicle. Tolerance is indicated when plants remain green and fill grain normally. Such green stalks are resistant to charcoal rot and stalk lodging. The cultivars are referred to as having good 'stay-green' or as 'non-senescing'. The post-flowering response is most obvious and distinct in plants which have been grown under favorable soil moisture conditions until flowering, with a severe water deficit developing during grain fill. When water stress develops gradually and occurs over the entire season, distinct stress responses may not be as obvious. Often there is a blending of the two types of stress responses.

High yielding genotypes with a large grain sink size relative to the vegetative portion of the plant are more susceptible to post-flowering drought stress than are low grain yielding genotypes. Susceptibility to charcoal rot is predisposed by severe water stress during the latter stages of grain fill. Because this strong relationship exists, charcoal rot is treated as a post-flowering drought stress problem. Rather than inoculating stalks with charcoal rot infected toothpicks, genotypes are rated for presence or absence of premature leaf and plant death when they are under water stress at or near maturity.

Excellent sources of tolerance to each type of stress have been identified. High levels of both types of tolerance are generally not found in the same genotype. Many genotypes with excellent pre-flowering drought tolerance are susceptible to post-flowering drought stress. Likewise, many lines with high levels of tolerance to post-flowering drought are susceptible to pre-flowering drought stress.

Breeding and screening techniques

The association of major physiological and morphological traits with drought tolerance has been studied by several workers,with several excellent reviews. Technology exists for the evaluation of many traits but breeders have made little use of the techniques to select for improved drought tolerance in sorghum.

Significant variability exists in the drought response of different sorghum genotypes. A number of breeding and screening techniques have been tried or proposed for sorghum. Several of these involved screening for certain physiological or morphological traits using laboratory or field screening methods, in combination with selection of other desirable plant and grain traits. Only limited breeding effort has been placed on drought tolerance as a primary breeding objective. In most cases, selection is first practiced for yield, adaptation, and disease and insect resistance. This is often done under favorable moisture conditions, with only the surviving genotypes evaluated for drought tolerance or adaptation under severe drought stress.

Many sorghum breeders believe that the most rapid breeding progress can be made by practicing early generation selection under optimum or near optimum conditions where reliable expression of yield can be obtained. This concept is supported by studies in other crops on heritability of yield and rate of genetic advance. Extreme variability in timing and amount of rainfall, along with variability in soil type, depth, fertility, pH, and water content contribute to a strong genotype X year or genotype X location interaction for drought response, especially under low rainfall conditions. Present knowledge of the distinctly different reactions to drought stress at different growth stages explains much of the lack of progress in the past in selecting sorghum under dryland, low-rainfall conditions.

Our approach to breeding for drought tolerance in sorghum is to practice early generation selection under naturally occurring dryland, low-rainfall conditions. Duplicate nurseries are evaluated under irrigation where yield potential may be expressed. Large amounts of diverse germplasm are evaluated in field screening nurseries at several locations having different stress environments, different planting dates, and different water regimes. This approach helps to insure stress at different stages of growth.

Selected progeny from the field nurseries are further evaluated under rainout shelters and a line-source irrigation gradient system. Regulation of moisture stress at different growth stages is essential for significant progress in breeding for drought tolerance.

At the pre-flowering screening nurseries, the combination of sandy soil and high summer temperatures create pre-flowering drought stress. The Chillicothe, Texas location, consistently produces severe pre-flowering stress, especially in plantings made in mid or late June.

In the post-flowering stress nurseries, irrigation is applied during the early growth stages to produce good growth and yield expression. Irrigation is terminated prior to anthesis which allows moisture stress to develop beginning near the flowering stage.

In nurseries where post-flowering drought tolerance is evaluted, we subjectively rate each entry or plot for the amount of premature leaf and plant death. Ratings are made on a 1 to 5 scale where 1 = completely green, to 5 = dead. Ratings are normally made at or soon after physiological maturity, but can be made anytime that difference among genotypes appear. Percentage of plants lodged due to stress is also taken. In West Texas, the nursery is often left standing for an extended period following maturity to allow stalk lodging to occur. This facilitates the identification of entries which have stalks weakened by water stress. Knowledge of maturity is critical because sorghum has a period just prior to post-flowering stress. Plants a few days earlier or later in maturity may show little if any premature senescence. Therefore, flowering notes are taken on all plots and comparisons are made only among entries of similar maturities.

In nurseries where severe water deficits occur prior to flowering during panicle development, subjective ratings can be recorded whenever distinct differences appear. Rating is done on a 1 to 5 scale where 1 = excellent and 5 = very poor. Prior to heading, ratings can be made on leaf stress symptoms such as rolling, excessive erectness, bleaching, and firing. Ratings can be made separately, but they are often combined into a single

overall drought susceptibility rating. Leaf rolling is normally the first visible symptom of drought stress. Excessive leaf erectness usually follows. Some cultivars have erect leaves in the absence of stress, so care must be used when evaluating this trait. The leaf angle of the lower leaves generally indicates whether or not a cultivar has genetically controlled normally erect leaves. Leaf bleaching refers to a loss in green color during the hottest portion of the day, causing a bleached effect. Care must also be used when scoring this trait because there is a range from dark to light green leaf color even in the absence of stress. Leaf margin and tip burn is usually the last vegetative drought response to appear. Scoring on the early vegetative response is most efficient within related germplasm. Widely diverse material may give rather different appearing responses, with a poorer relationship of symptoms to eventual performance. Some cultivars are very susceptible to another kind of leaf necrosis called leaf firing, where large sections of the leaf die rapidly and usually at about flowering time. This type of leaf firing does not appear to correlate well with final yield. Drought induced leaf necrosis is characterized by the absence of anthocyanin pigment and is thus distinctly different from coloration due to other causes, such as disease or insect injury.

Later appearing symptoms caused by water stress prior to flowering include delay in flowering, panicle and floret blasting, poor panicle exsertion, reduced panicle size, and the 'saddle' effect. These symptoms can be rated individually or in combination. Delay in flowering is evaluated by comparison with non-stressed plantings. These late appearing symptoms are the best evaluation of pre-flowering drought tolerance even though ratings may be made at or after maturity. Evaluation of pre-flowering drought tolerance in very early maturing genotypes is difficult because they often escape water stress.

In field screening nurseries, we use standard checks every five or ten plots. Alternating every fifth plot with a pre-flowering tolerant (post-flowering susceptible) line such as TX7078 or TX7000 and a post-flowering tolerant (pre-flowering susceptible) line like SC35-6 provides a reference for comparison. By comparing ratings with those of the adjacent checks, adjustment for variability within the field can be made. If possible, we furrow-dike between beds in our dryland nurseries to encourage uniform water penetration and soil moisture. We use short (5 — 6 m), single row plots in most screening nurseries. Advanced material is replicated. Multiple-row plots are used only for special studies.

In addition to field screening, we use a sprinkler irrigation gradient system in the dry environment of West Texas to manipulate timing and quantity of water applied. The advantage is two-fold: (a) the evaluation of plant response to a wide range of stress under otherwise identical conditions; and (b) manipulation of onset, cessation, and degree of stress. In these evaluations, it is important to recognize the different drought stress responses before interpreting results from the gradient system. Disadvantages of the system are the influence of wind on water distribution and the inability to control precipitation. The amount and frequency of irrigation may be less than ideal. However, reaction under the system in West Texas correlates well with our field evaluation.

Rainout shelters are also used to supplement evaluations made in field nurseries. Untimely rains often prevent evaluation or restrict these evaluations to short periods during the growing season. Rainout shelters can be used to greatly accelerate and improve the efficiency of selection by controlling both timing and amount of water applied, while otherwise maintaining a near-normal environment. Pre- and post-flowering stress ratings under shelters have corresponded well with known field reactions. Single-row plots of 400 breeding selections can be evaluated for pre-flowering drought stress in one 40 ft x 60 ft (about 12 m x 18 m) shelter.

In Sudan, drought screening nurseries similar in many respects to those used in West Texas have been successfully used. Breeding material is screened in large field screening nurseries and subjectively rated. One nursery is under sandy soil, very low rainfall conditions, where stress prior to flowering is usually severe. The other is under heavy soil and higher rainfall, but it often becomes very dry during grain fill.

Drought tolerant lines selected in Sudan and Texas perform very much as expected at the other location. Pre-flowering tolerant

lines developed in Texas perform very well on the pre-stress location (El Obeid) in Sudan, while post-flowering tolerant lines identified in Texas also possess very good "stay green" under heavy soil (Gadambalia and Wad Medani) in Sudan. Although there is less information in this regard in West Africa, from limited 1984 and preliminary 1985 observations, it appears that several drought tolerant sorghums identified as drought tolerant in Sudan and Texas show excellent drought stress tolerance in Niger. Thus, we believe that drought tolerant germplasm exchange can be very beneficial.

Summary and conclusions

1. The empirical approach, utilizing large field screening nurseries, subjective scoring, and the principles described in this paper, is a drought screening technique that has proven very successful.

2. Utilization should be made whenever possible of the local environment in the regular growing season. It is important to know the normal rainfall pattern, soil type, soil problems, and as much about all constraints to growth and production, so as not to confuse other constraints with moisture stress.

3. Be familiar with and be able to recognize the various responses of sorghum when stress occurs at the three major stages of growth.

4. Breeders must understand and be able to distinguish between drought tolerance and other aspects of adaptation. If possible, other serious constraints should be removed, or minimized.

5. Know the stage of growth when stress occurs, and make selections and interpretations accordingly.

6. We encourage the use of diverse germplasm, multi-locations with different stresses, quick visual ratings, screening for drought tolerance in early generations, exchange of drought tolerant germplasm among sorghum workers, and constant exchange of information. Extensive yield testing is not the best use of time and resources, and visual ratings are sufficient until final evaluations.

7. Hybrid vigor enhances seedling and pre-flowering stress tolerance and the use of hybrids should be considered as a way to reduce the effects of serious moisture stress.

8. The need for a better understanding of mechanisms of drought resistance as well as on the nature and inheritance of resistance is recognized. Such basic studies are encouraged and could contribute to the development of more rapid and efficient screening techniques.

9. The excellent tolerance found in many local cultivars in Africa should be used extensively in African drought breeding programs. These stable producers can be converted to photoperiod insensitive types and their grain to stover ratios changed. Intercrosses of such converted lines can be made in temperate zones with elite, high yielding sorghums. Such material can then be returned for selection and utilization.

10. Collaborative research programs on drought tolerance can be of great mutual benefit to both the U.S. and African programs.

Discussion (Session III)

Commentaire (par Andrews)

Il y a de grandes différences dans la résistance par reprise après que la sécheresse se soit allégée (c'est-à-dire la production de nouvelles talles porteuses de grain). Ceci est indépendant de l'expression antérieure de résistance ou de sensibilité, mais la résistance par reprise ne peut être détectée, qu'il n'y ait une forte réduction de production sur les tiges primaires. Je crois que la résistance par reprise ne s'exprime que pour le mil, comme après la production des panicules du sorgho; il est inhabituel de produire de nouvelles talles basales qui auront le temps de laisser mûrir les grains.

Question (pour Rosenow, par Chetima)

Question générale de terminologie mais toujours dans le cadre des deux exposés que nous venons de suivre; il s'agit de la tolérance à la sécheresse et de la résistance à la sécheresse; d'après ce que j'ai compris les deux termes sont équivalents; mais selon l'exposé du Dr. Rosenow, j'ai cru comprendre qu'il existe une résistance réelle à la sécheresse à un certain stade du cycle végétatif de la plante. Pourriez-vous m'éclairer?

Réponse

J'utilise les termes de "tolérance" et de "résistance", de manière interchangeable. Nous avons tenté de réduire la tolérance à la sécheresse, à la tolérance à certaines étapes de croissance particulières. Pour le sorgho, on distingue trois étapes de croissance distinctes: la plantule, l'étape de pré-floraison (épiaison à la floraison), et celle de post-floraison (développement des graines). Dans notre programme, nous sommes parvenus à identifier des génotypes à taux de tolérance élevé à l'étape de pré-floraison, et des génotypes dont le taux de tolérance était élevé à l'étape de post-floraison, grâce à l'usage de pépinières de criblage d'un type particulier. Nous avons également réussi à réunir les deux types de tolérance en faisant,

Comments (by Andrews)

There are strong differences in recovery resistance after drought is relieved (i.e. production of new tillers which bear grain). This is independent of earlier expression of resistance or susceptibility, but recovery resistance cannot be detected unless there is a strong reduction in yield on the primary stems. I believe recovery resistance is only expressed in pearl millet, as after head production in sorghum it is unusual to have *new* basal tillers produced which will have time to mature grain.

Question (for Rosenow, by Chetima)

A general question about terminology, but still within the framework of the two papers that were just presented, pertaining to drought tolerance and drought resistance: To my understanding, the two terms are equivalent, but according to Dr. Rosenow's presentation, I was led to understand that there existed an actual resistance to drought at a certain stage of the vegetative cycle of the plant. Could you clarify this?

Response

I use the terms "tolerance" and "resistance" to mean the same thing. We have tried to break drought tolerance into tolerance at specific stages of growth. In sorghum we recognize three distinct growth stages: seedling, pre-flowering (head differentiation to flowering), and post-flowering stages (grain development). In our program, we have been able to identify genotypes with high levels of tolerance at the pre-stage and those with tolerance at the post-stage, through the use of specific screening nurseries. We also have been successful in combining the two types of tolerance by testing under both pre- and post-stress nurseries and selecting within families that perform well under both.

en pepinière, des tests de pré- et de post-stress, et en sélectionnant parmi les familles celles dont la performance est bonne dans les deux cas.

Question (pour Rosenow, par Ouendeba)

Des variétés et lignées (mil et niébé) résistantes à la sécheresse, sélectionnées en Arizona ont eu un mauvais comportement dans les conditions du Niger (Kolo et Ouallam). A quoi est dû ce phénomène? La technique utilisée en Arizona ne serait-elle pas efficace pour la résistance au stress hydrique au Sahel? Dans les conditions naturelles, la sécheresse peut frapper à tout moment: après le semis, au tallage, à l'épiaison ou après la floraison. La sélection pour la sécheresse au cours d'une de ces phases de croissance, va-t-elle aboutir à une variété résistante à la sécheresse?

Réponse

Nous avons également observé pour le sorgho l'echec complet des lignées tolérantes à la sécheresse développées aux Etats-Unis, une adaptation généralement pauvre, ou des carences sévères de certaines parcelles. Nous avons néanmoins également trouvé une excellente correspondance à la tolérance au stress dû à la sécheresse, à travers divers environnements, comme par exemple l'ouest du Texas et le Soudan, quand l'impact de la sécheresse est la première contrainte. On sait que le test ultime doit être fait dans des conditions naturelles, non seulement sous le stress hydrique, mais sous toutes les autres contraintes qui se produisent normalement dans la région dans laquelle la variété peut être utilisée. Nous croyons cependant, que pour parvenir à améliorer la tolérance à la sécheresse, il nous faut séparer ce qui est sécheresse, *per se*, des autres problèmes tels que le pH du sol, le manque de fertilité, la toxicité nutritive, etc.

Commentaire (par Adamou)

Les niveaux de sécheresse sont différents. Je pense que la sélection pour la sécheresse doit tenir compte non seulement de la plante

Question (for Rosenow, by Ouendeba)

The drought resistant varieties and lines of millet and cowpeas bred in Arizona have performed badly under Niger's conditions (Kolo and Ouallam). What is the cause of this phenomenon? Shouldn't the techniques used in Arizona be effective for resistance to water stress in the Sahel?

Under natural conditions, drought can strike at any time—after planting, at tillering, during filling or after flowering. Will breeding for drought resistance during the course of one of these growing phases result in a drought resistant variety?

Response

We have also observed, in sorghum, complete failure of U.S.-developed drought tolerant lines, overall poor adaptation or severe deficiencies in certain traits. However, we have also found excellent correspondence of drought stress tolerance across diverse environments such as West Texas and Sudan, when drought stress is the primary constraint. We recognize that the ultimate testing must be done under natural conditions, under not only moisture stress, but under all the other constraints which normally occur in the area where the variety may be used. We believe, however, that to make improvements in drought tolerance, we must sort out what is drought, *per se*, from other problems such as soil pH, infertility, nutrient toxity, etc.

Comment (by Adamou)

The levels of drought are different. I think that breeding for drought must take into account not only the plant but also its

mais aussi de son environnement (sol, température, etc.). Il faut aussi considérer le moment et l'importance de la sécheresse. Je pense qu'il faut étudier plus profondement cette idée de recherche pour la résistance à la sécheresse, car un matériel considéré résistant dans une zone de 500 mm de pluie ne peut pas résister dans des conditions de 200 ou 300 mm de pluie surtout si la température est très élevée.

Commentaire (par Gonda)

En effet, entreprendre un travail d'étude sur la résistance à la sécheresse pendant la contresaison nous confrontera au problème du photopériodisme. Donc pour éviter ce problème il faudra penser à construire des abris en combinaison avec des serres assez larges dans lesquelles les conditions de température et d'humidité seront contrôlées aussi que la longueur du jour. Sinon, en tout cas dans le Sahel, nous ne pourrions travailler qu'en contresaison afin d'éviter toute perturbation de l'expérience par des pluies inattendues.

environment (soil, temperature, etc.). One must also consider the timing and severity of the drought. I think it is necessary to study in more depth the idea of research for drought resistance, because a plant considered resistant in a zone of 500 mm rainfall cannot survive under conditions with 200-300 mm of rainfall, especially with very high temperatures.

Comment (by Gonda)

Indeed, in undertaking a drought-resistance study during the off-season, we would be confronted with the problem of photoperiodism. So in order to avoid this problem we should think about constructing shelters in conjunction with fairly large greenhouses in which the temperature and humidity would be controlled, as well as the duration of daylight hours. If not, we would only be able to work in the off-season, in the Sahel in any case, in order for the experiment to be free of all disturbances caused by unexpected rainfall.

Recherche Agronomique des Cultures Pluviales au Niger: Le Programme en cours et les Perspectives de d'Avenir

K.C. Reddy
PARA

J. van der Ploeg
Association Néderlandaise
d'Assistance en Développement

J. Gonda
INRAN

Résumé. L'agriculture au Niger dépend principalement des pluies et elle est confrontée à de sérieuses contraintes telles que la pauvreté des sols, l'insuffisance et la répartition irrégulière des pluies ainsi que le manque de moyens tractions convenables. Le programme agronomique de l'INRAN se met à l'oeuvre pour résoudre ces problèmes à travers un réseau national de stations de recherche. Le système de billonnage cloisonné s'est montré une méthode plus efficace de la conservation de l'eau que celle du système traditionnel dans les champs aux sols sablo-argileux ou argileux. De même, l'association culturale de mil et niébé a mieux utilisé la pluviométrie que la monoculture de mil ou de niébé. La rotation des cultures légumineuses-céréalières et l'application de quantités moyennes d'azote et de phosphate commerciaux donnent des résultats bénéfiques sans beaucoup de risques, mais à condition que des précautions adéquates soient prises pendant l'application. Pour faire face au problème chronique du manque de main-d'oeuvre au moment des semis et du sarclage, des planteurs poussés à la main et le système de cultures associées sont toujours à l'étude. On peut y trouver un moyen de réduire la demande des manoeuvres pour les deux opérations. Des stratégies alternatives de production sont en train d'être mises au point contre les aléas climatiques. De nouvelles technologies sont spécifiquement développées pour répondre aux besoins des différentes zones du pays pour un nouveau pas dans la recherche en milieu rural.

Agronomic Research on Rainfed Crops of Niger: The Program in Progress and Future Needs

Abstract. Niger agriculture is mainly rainfed and faces serious production constraints like poor soils, insufficient and improperly distributed rainfall and inadequate farm power. The agronomy program of INRAN addresses these issues from a national network of research stations. In situ water management technique, tied-ridge system, has shown better water conservation compared to traditionally cultivated flat system on sandy clayey soils. Similarly, millet/cowpea intercropping system has better used rainwater than either millet or cowpea in pure crop systems. Legume-cereal crop rotations and medium quantities of commercial N and P_2O_5 with adequate precautions in application are profitable and less risky. To counter the chronic labor shortage problem at planting and weeding time hand-push seed planters and intercropping systems are being examined as a means of reducing labor needs for these two operations. Alternative production strategies are being prepared for unforeseen weather conditions. New production technologies under development are more situation-specific with the newly added extra research step of "on-farm" research.

Introduction

L'agriculture au Niger dépend presque entièrement des pluies. Environ 95 pour cent des cultures vivrières du pays sont produites sur des terres peu arrosées; et la moindre fluctuation pluviométrique cause une pénurie alimentaire.

Au Niger, l'évapotranspiration potentielle annuelle moyenne dépasse la précipitation moyenne annuelle qui varie de 150 à 900 mm. La plupart des sols sablonneux comprennent une quantité négligeable de matière argileuse et sont extrêmement peu fertiles (Ouattara et Persaud, 1985). Ces zones subissent souvent une sécheresse périodique et une érosion du sol. Le mil et le niébé sont les cultures principales dans ces zones alors que l'arachide et le sorgho arrivent loin derrière eux (Tableau 1).

La réussite de la production des cultures dans ces zones arides et semi-arides dépend largement de la répartition et de la quantité de précipitations. Des rendements maigres et variables, voire nuls, sont les problèmes les plus communs dans cette région. Les précipitations irrégulières, les sols non-fertiles, et les pratiques agronomiques traditionnelles rendent très difficile l'amélioration du rendement des cultures.

Cependant, les résultats préliminaires des recherches de l'Institut National de Recherche Agronomique du Niger (INRAN) indiquent que les paysans peuvent augmenter leurs rendements. Ce document identifie quelques nouvelles possibilités visant l'amélioration des rendements et des priorités de recherche.

Les priorités de la recherche agronomique

Les éléments de base de la recherche agronomique à l'INRAN sont:

a) La conservation des ressources de base de la production: le sol et l'eau.

b) L'utilisation efficace de ces ressources pour la production agricole.

c) L'élaboration de plans d'action pour faire face aux aléas climatiques.

1. La gestion du sol et de l'eau.

On essaie de sauvegarder les les sols et l'eau principalement par des techniques culturales. Durant la saison agricole 1984 où les pluies ont été insuffisantes à Tarna, des configurations de sillons et de billons sur les sols sablo-argileux ont permis de prolonger la vie du sorgho par rapport au sol plat, non-labouré et cultivé traditionnellement (Reddy *et al.*, 1985a, p. 26). Dans le même champ, pendant l'hivernage 1985, d'après les relevés de la sonde à neutron, la quantité d'eau disponible dans les billons cloisonnés dépassait significativement celle des traitements plats ou billonnés simples.

Au Burkina Faso, l'équipe de Semi-Arid Food Grain Research and Development (SAFGRAD)/Université de Purdue, a montré sans équivoque que les billons cloisonnés conservent l'humidité d'une manière plus efficace que les parcelles plates et d'ailleurs ils aident à porter au maximum l'efficacité des apports d'azote (Ohm *et al.*, 1985). Toutefois, Nicou (1984) a indiqué que les billons cloisonnés ne sont pas utiles partout; leur utilité dépend de la texture, de la structure et de la déclivité du sol. Par exemple, à Tarna pendant la saison agricole 1985, une pluie de 80 mm qui avait duré trois heures de temps n'a causé aucun ruissellement dans une grande partie des champs expérimentaux à l'exception de quelques cas où le sol contient quelques 10%, ou plus d'argile. Donc, les billons cloisonnés ou d'autres formes de configuration de la terre pour la conservation de l'eau (*in situ*) peuvent être utilisés au Niger dans les zones à sol argileux ou sablo-argileux (les sols de bas-fond et Guéza). Comme l'information agronomique de base concernant l'effet des billons cloisonnés et d'autres systèmes de billonnage à propos de la conservation de l'eau est disponible, il sera utile

Tableau 1. La superficie occupée par les céréales et légumineuses au Niger, moyenne, 1979-1981.

Cultures	Superficie (ha)
Mil	3 018 000
Sorgho	824 000
Niébé	1 095 000
Arachide	184 000

Source: Club du Sahel, 1982.

d'entamer des études sur leur applicabilité en milieu rural, en particulier, là où les cultivateurs sont confrontés aux problèmes de ruissellement.

Les études menées à l'INRAN et ailleurs ont surtout quantifié les effets de la conservation de l'eau au moyen de la configuration de la terre, faisant relativement peu d'observations concernant des effets sur l'érosion du sol. Il est admis que la configuration de la terre mène à la réduction de l'érosion continuelle par le vent et aussi réduit la perte du sol due au ruissellement. Néanmoins, ces effets doivent être étudiés à long terme pour mieux comprendre les effets des différentes configurations de la terre.

Une autre voie de recherche est l'amélioration de l'utilisation efficace de l'eau par les cultures. Un système de culture associée avec 100% de population de mil pur et 50% de population de niébé pur (type intermédiaire) utilise l'eau plus efficacement que le mil pur cv CIVT ou le niébé pur cv TN 88-63 (Tableau 2). Les autres interactions des cultures similaires à propos de densité, géomètrie et type de plante sont en train d'être examinées pour une meilleure utilisation de l'eau.

2. La gestion des cultures

a) Cultures et variétés

La recherche sur la gestion de production des cultures tient compte des problèmes climatiques communs: (a) le retard de la saison des pluies, (b) l'irrégularité des pluies, (c) la sécheresse à la fin de la saison et (d) l'insuffisance des pluies.

Pour faire face aux effets de la sécheresse à la fin de la saison et l'insuffisance des pluies, les sélectionneurs de l'INRAN sélectionnent des variétés précoces. Dans la section agronomie ces variétés précoces sont testées pour leur performance dans différents types de sol et de conditions climatiques. Par exemple, on teste sept variétés de mil pour leur adaptabilité dans les zones à pluviométrie moyenne de moins de 400 mm de pluies à travers les tests multilocaux. Quelques-unes de ces variétés, comme le 'Moro' et 'HKP3' ont pu produire des rendements convenables cette saison à Ouallam (station expérimentale à faible pluviométrie). Ceci veut dire que sans tenir compte de leurs rendements potentiels ces variétés assurent une récolte utile même dans les zones où la pluviométrie. Ceci veut dire que sans tenir compte de leurs rendements potentiels ces variétés assurent une récolte utile même dans les zones où la pluviométrie varie de 150 à 300 mm. De même, des variétés de sorgho ont été testées pour leur précocité et pour leur adaptabilité dans deux sols différents, les sols sablonneux et les sols argileux (Reddy *et al.*, 1985b).

Tableau 2. Production des graines pour chaque unite d'eau par différentes systèmes des cultures.

Systèmes des cultures	Graines/mm d'eau/ha (kg)
Mil pur	2,8
Niébé pur	1,12
Mil en association	2,8
Niébé en association	0,4

Source: Reddy et al., 1985a.

Au sujet des problèmes relatifs au retard des pluies, aucune recherche n'a été entamée. Cependant, toutes les variétés de céréales qu'on a sélectionnées pour la précocité conviennent au cas où les pluies sont tardives. Une autre possibilité concerne la culture du niébé pur au lieu des céréales quand les pluies sont retardées au delà de la dernière semaine de Juillet. Ce concept de cultures alternatives ou de variétés pour affronter le retard des pluies doit être minutieusement exploré. A la longue, les projets de développement et le Service de l'Agriculture devraient être équipés de plans alternatifs et de semences pour chaque région du pays; pour une saison normale et pour une saison à démarrage tardif. Les études à propos des dates de semis des cultures seront utiles pour arriver à la solution de ce problème chronique dans quelques zones du pays.

Les longues interruptions pendant la saison et l'insuffisance des pluies sont les causes fréquentes de la non-réussite des cultures. Les cultivateurs pratiquent la culture associée pour éviter ce type de risque habituel. Pour mieux comprendre et améliorer la culture associée traditionnelle, une série d'études sur ce sujet a été commencée en 1984. A partir de ces études quelques recommandations sur la fertilité, la densité, et la géométrie du mil/niébé en culture associée sont proposées (Reddy *et al.*, 1985a) et ont fait l'objet de tests dans les champs de 85 cultivateurs pendant la campagne agricole 1985 (Ly *et al.*, 1985).

Tableau 3. Le rendement des différentes cultures semées à différentes dates pendant la campagne, 1985.

Date de semis (1985)	Rendement de graine (kg/ha)			
	Mil tardif cv Samno	Mil hâtif cv HK Bengou	Niébé cv TN88-63	Sorgho cv Hamo Beri
Juin 19	1070	910	160	2000
Juin 24	970	540	60	1770
Juillet 2	710	430	10	1320
Juillet 22	730	240	0	1200
Août 2	600	200	0	200
Août 15	470	210	0	0
LSD	420	131	101	700
CV (%)	30	147		36

Source: Reddy, K.C., 1986.

Fondamentalement ces systèmes assurent la réussite d'au moins une des deux cultures selon le moment de l'incidence de la sécheresse. Par exemple, pendant cette saison à Maiguéro, un village au sud du département de Maradi, le mil a mûri et a produit des grains comme lors d'une année normale, tandis que le niébé indéterminé, cultivé en association n'a pas produit de grains à cause de la sécheresse à la fin de la saison. Le niébé aurait réussi si la sécheresse était arrivée plus tôt pendant la saison. Pour la sécheresse au milieu de la saison, la réduction de populations des cultures est une pratique très utile. Pendant la campagne 1984, les parcelles d'arachides avec des populations inférieures ont montré un développement meilleur que les parcelles à population normale. Cependant tous ces aspects nécessitent d'être systématiquement vérifiés avec une sécheresse imposée artificiellement.

b) Le temps des semis

Le semis des céréales à temps est très important (Tableau 3): (a) pour avoir de jeunes plantes vigoureuses et (b) pour éviter les sécheresses à la fin de la saison. Le semis à temps est un semis qu'on fait quand une première pluie importante mouille le sol (même 7 mm de pluie dans le cas du semis du mil). Pendant une saison de pluie normale le démarrage de la pluie normale varie d'une région à une autre. La première quinzaine de Juin est le commencement habituel de la saison des pluies à Tarna. Un quelconque delai des semis après une pluie utile, mène à la perte de N minéralisable et par conséquent les jeunes plantes manquent de vigueur et perdent de la saison qui pourrait résulter sa fin en sécheresse.

Les cultivateurs dans ce pays connaissent l'importance des premières fortes pluies. De ce fait, il font leurs semis avec les pluies hors de saison qui viennent en Mars ou Avril. Cependant le problème principal qui empêche le semis quand les premières pluies utiles viennent est le manque d'équipement efficace pour semer. Le semis traditionnel consomme en moyenne deux fois plus de temps que celui utilisant la traction animale (Tableau 4) et souvent vers la fin de la journée la densité de semis devient très faible. L'efficacité d'utilisation de la traction animale a été établie depuis des années. Néanmoins, elle n'est pas très populaire chez les cultivateurs de petite échelle en raison de sa profitabilité contestable. Alors, la situation demande qu'on cherche d'autres outils praticables tel que les équipements des semoirs poussés à la main.

L'association du niébé et de l'arachide au mil et au sorgho est très commune. Les temps de semis de ces légumineuses avec les céréales est fonction des sols, des caractèristiques des variétés et du type de pluie. Pour la meilleure répartition du travail les cultivateurs sèment les légumineuses environ trois semaines après les semis des céréales. Pour mieux exploiter les

Tableau 4. Le temps consommé pour semer en sol sablonneux et argileux (vallée) par différentes sources de traction.

Source de traction	Temps consommé pour semer	
	Sol sablonneux (hr/ha)	Sol argileux (hr/ha)
Humaine	11	24
1 Boeuf	6	7
2 Boeufs	8	11

Source: Reddy et al., 1985a.

ressources agronomiques et humaines, il faudrait des études systématiques. Actuellement nous semons des légumineuses 1 à 3 semaines après le semis des céréales, selon les conditions climatiques.

c) La densité des cultures

Il existe des recommandations sur la densité des semis seulement pour les cultures céréalières et légumineuses améliorées au niveau de fertilité optimale et en culture pure. Pendant la campagne de 1984, des études à propos des densités dans les systèmes de cultures associées au niveau de la fertilité optimale ont été entamées (Reddy *et al.*, 1985a, p. 10-19). En 1985 différents niveaux de fertilité et la pluviométrie sont inclues dans ces essais en vue de trouver la densité optimale pour chaque niveau de fertilité, pluviométrie et système de culture donnée (Reddy *et al.*, 1985b).

Les cultivateurs utilisent des densités basses, environ 30% à 50% des densités recommandées pour les cultures céréalières (Swinton, 1985). Un tel stratagème marche bien si les pluies sont erratiques et l'agriculteur pratique la culture associée avec peu d'intrants. Ce stratagème approprié pour la situation décrite ci-dessus s'écroule si les pluies sont abondantes et là où le sol est suffisamment fertile. Comme déjà indiqué, les densités recommandées par l'INRAN supposent une fertilité optimale, la culture pure et au moins 500 mm de pluie pendant la campagne agricole. Ces deux stratagèmes extrêmes des cultivateurs et des chercheurs devraient changer afin de permettre une augmentation significative de la production. On peut résoudre ce problème en préconisant 2 ou 3 niveaux de recommandations selon des variables comme la fertilité, le système de culture, et la précipitation.

d) La fertilité

La fertilité du sol du Niger est extrêmement pauvre sauf pour quelques exceptions (Ouattara et Persaud, 1985). La teneur en N des sols est à peu près 0,02%, C.E.C. est à peu près 2 meq/100g, et le P_2O_5 disponible est moins de 1.00 ppm. Les apports d'engrais azotés et phosphorés sont recommandés pour toutes cultures de céréales. Sauf en cas de faibles précipitations comme celle de 1984, les céréales répondent significativement aux niveaux des engrais recommandés et le niébé répond au phosphore. Le prix des engrais au Niger est parmi le plus bas dans le monde. Au prix du l'un des marché en 1984, un kilo de mil suffisait pour acheter un kilo de N au Niger, alors que dans les autres pays, il faut plusieurs kilos de céréales pour acheter un kilo de N. Néanmoins, il est rare que les cultivateurs achètent et appliquent les engrais commerciaux au Niger (Tableau 5). Par exemple, aucun des 26 co-opérateurs des essais de culture associée du village de Maiguéro n'a apporté d'engrais commerciaux dans ses champs en 1985.

Cet usage insuffisant des engrais est une contrainte sérieuse pour augmenter les rendements des cultures, parce que la plupart des pratiques agronomiques améliorées exigent un niveau minimum de substance nutritive. Les raisons pour lesquelles les cultivateurs ne s'intéressent pas aux engrais sont nombreuses. Ils se plaignent souvent, du manque de disponibilité des engrais à porter sur une distance raisonnable, du manque d'argent, et du manque de temps libre pour appliquer les engrais. D'ailleurs le manque de méthodes d'application convenables aboutit à des réponses maigres des cultures aux apports d'azote.

La plupart de ces problèmes est avec l'infrastructure et ils sont répandus dans les pays en voie de développement. Ainsi, il fallait développer des technologies intermédiaires jusqu'à ce que le pays et ses paysans soient prêts pour une modernisation de nature grandiose. Les besoins des cultures en engrais peuvent être résolus par des moyens variés comme par l'application de matière organique, l'application de fumier de parc et l'utilisation des systèmes de cultures de base des

Tableau 5. Le taux d'utilisation de l'engrais au Niger, 1981.

Engrais utilisé	1980 (kg)	1981 (kg)
Par chaque citoyen	1	2
Par chaque hectare	1,7	2

Source: Club du Sahel, 1982.

légumineuses (soit l'assolement des cultures, soit la culture associée) et l'application d'engrais commercial. On doit prendre des précautions pour obtenir un résultat maximum pour chaque unité d'engrais appliqué en mettant les engrais à une distance de 10 cm de profondeur et en économisant l'eau de pluie autant que possible.

Pour résoudre ces problèmes on a entamé plusieurs études en 1984 et encore en 1985. On a noté des réponses significatives pour l'application du fumier de parc et l'assolement des céréales avec légumineuses. Aucune preuve certaine n'est encore disponible sur les avantages d'une association des cultures céréalières et légumineuses. La documentation dans ce domaine donne des résultats qui ne concordent pas. Singh et Das (1985) en Inde ont constaté qu'en récoltant le niébé comme fourrage en système de culture associée de mil/niébé, la contribution du niébé était d'au moins 20 kg de N au mil associé. Cependant, Kanwar et Rego (1983) en Inde ont rapporté qu'il n'y avait pas de preuve certaine pour le transfert présent de N aux céréales par les légumes en sorgho/pois d'Angole et en mil/arachide. Dans les systèmes d'assolement des céréales et des légumineuses l'apport du P à la légumineuse et de N aux céréales permet de partager les dépenses des engrais.

Actuellement, on est en train de chercher de nouvelles méthodes d'application d'engrais qui pourraient économiser le temps d'application. Quelques nouvelles méthodes ont déjà donné des économies substantielles en temps d'application. Celà devrait soulager la contrainte du travail en appliquant les engrais. A partir des recherches actuelles sur la gestion des substances nutritives, il sera possible de mettre au point des recommandations d'engrais comprenant deux ou trois sources d'engrais spécifiques à chaque sorte de système de culture et aux précipitations.

e) Le contrôle des mauvaises herbes

Il est important de désherber à temps pour conserver le peu de ressources disponibles dans une région aride. Ce fait est apprécié des cultivateurs du Niger. Cependant à cause des contraintes de main-d'oeuvre, chaque année une grande superficie des cultures semées est désherbée très tard ou pas du tout pendant la saison. Le matériel de la traction animale comme le cultivateur canadien à trois dents ou cinq dents est susceptible d'être employé seulement par les agriculteurs possédant des animaux de trait dans ce pays. L'utilisation répandue de la traction animale pourrait accompagner le développement du pays car les cultivateurs peuvent utiliser leurs animaux pendant la saison morte pour transporter les matériels des villages aux villes et vice versa.

Entre temps, quelques pratiques pour économiser les temps de ces travaux doivent être recherchées. Par exemple, le niébé rampant intercalé avec le mil plus écarté dans le village de Maiguéro a diminué le temps exigé pour le deuxième désherbage pendant la campagne 1985. Similairement, le niébé en culture pure avait plus d'herbes graminées que le niébé intercalé avec le mil à Tarna. Le premier désherbage et l'application de N aux céréales peuvent être combinés. L'écartement de plus large jusqu'à 1,5 m en cultures intercalées doit faciliter l'emploi de l'équipement de la traction animale pour le premier désherbage. Certaines de ces observations seront étudiées en détail à l'avenir.

L'organisation de la section

La section d'agronomie de l'INRAN est actuellement située à Tarna. Pendant les deux dernières années, les programmes d'agronomie étaient initier dans sept installations de la recherche d'INRAN: Kolo, Bengou, Kalapaté, Ouallam, Chikal, Diffa et Magaria. Les tests de variétés des cultures ont été menés à peu près sur 120 différents endroits du pays avec la coopération du Ministère de l'Agriculture et des projets de développement. La méthode de recherche et de perfectionnement technologique a été étendue au delà de la station de recherche traditionnelle et des tests multilocaux à l'instar

d'un nouveau programme de recherche en milieu rural en coopération avec la section Economie Rurale de l'INRAN. Actuellement, il y a 85 tests installés en milieu rural en quatre endroits différents du pays pour évaluer et modifier notre technologie de la culture associée.

L'accent actuel de la section est sur (a) la technologie des intrants à coût minimal ou gratuit, (b) l'accomodation des systèmes de cultures traditionnelles et (c) le développement de la technologie spécifique à la situation climatique. Bien que quelques travaux fondamentaux de physiologies soient réalisés pour comprendre les mécanismes d'utilisation des ressources dans les cultures associées, l'accent est mis sur l'agronomie simple.

Conclusion

1) Le programme de l'agronomie à l'INRAN reconnait: (a) la fertilité, (b) l'eau et (c) la traction agricole, comme les trois contraintes stratégiques de la production des cultures dans les régions aride et semi-aride du Niger.
2) Les résultats initiaux des expériences diverses exécutées dans les stations et points d'Appui de l'INRAN et approximativement 200 endroits en milieu rural, indiquent plusieurs technologies prometteuses.
3) On est en train de mettre l'accent sur les technologies moins coûteuses comme les semences améliorées et l'azote fixé par les légumineuses.
4) La méthode de recherche est étendue dans des stations de recherche et aux tests multilocaux en milieu rural pour créer des technologies plus appropriées pour des situations spécifiques.

Bibliographie

Club du Sahel. 1982. Développement des cultures pluviales au Niger. Sahel D (82) (CILSS and OCDE publication).

Kanwar, J.S. and T. J. Rego, 1983, Fertilizer News, 28(9), p. 33.

Ly, S., R. Deuson, M. Goubé, G. Numa, K.C. Reddy, and S. Swinton. 1985. L'évaluation d'un programme de recherche sur le système de production agricole à l'Institut National de Recherche Agronomique du Niger. Document présenté au symposium sur la recherche et la vulgarisation sur système de production agricole tenu à Kansas (USA) du 13 au 16 Octobre, 1985.

Nicou, R. 1984. Travail du sol et résistance à la sécheresse. Dans: La sécheresse en zone intertropicale pour une lutte intégrée, p. 313-326. Acte du colloque "Résistance à la sécheresse en milieu intertropical: quelle recherche pour le moyen terme?" organisé à Dakar du 24 au 27 Septembre 1984, par le Centre de Coopération Internationale en Recherche agronomique pour le développement (CIRAD-GERDAT) et l'Institut Sénégalais de Recherche Agricole (ISRA). Conseil international de la langue française 103, Rue de Lille-75007, Paris.

Ohm, H.W., J.G. Nagy, and C.R. Pardy, 1985. SAFGRAD—Farming Systems Research Unit, Burkina-Faso, 1985 annual report. Purdue University, West Lafayette, USA.

Ouattara, M. et N. Persaud. 1985. Contraintes liées au sol et à l'eau et adaptation à ces contraintes par les paysans locaux lors de la production céréalière en culture pluviale. Paper présenté à l'atelier de sorgho et mil, organisé par INTSORMIL, INRAN et NCRP à Niamey, Niger, du 13 au 17 Octobre, 1985.

Reddy, K.C., A. Oumara, et A. Timbo. 1985a. Rapport de l'agronomie générale, campagne 1984. Institut National de Recherche Agronomique du Niger, B.P. 429, Niamey, Niger, 55 p.

Reddy, K.C., J. Van der Ploeg, A. Oumara, A. Timbo, and S. Abdou. 1985b. Agronomy program, 1985. Niger National Agricultural Research Organisation (INRAN), B.P. 429, Niamey, Niger.

Reddy, K.C. 1986. Rapport provisoire de la campagne 1985 de la Section Agronomie Générale de l'Institut National de Recherche Agronomique du Niger (INRAN), B.P. 429, Niamey, Niger. Rapport présenté à la réunion du Département de Recherche Agronomique (DRA) de l'INRAN tenu au Centre National de Recherche Agronomique (CNRA), Tarna, Niger, du 10 au 14 Février 1986.

Singh, R.P. and S.K. Das. 1984. Nitrogen management in cropping systems with particular reference to rainfed lands of India. All-India co-ordinated research project for dryland agriculture, Saidabad, P.O. Hyderabad, 500 659, A.P. 56 p.

Swinton, S.M. 1985. Les ressources agricoles des exploitations dans trois villages représentatifs de l'arrondissement de Madarounfa en 1984. Institut National de Recherche Agronomique du Niger, B.P. 240, Maradi, Niger.

Discussion (Session III)

Commentaire (par Adamou)

Je pense qu'il est difficile au Niger de fixer une date exacte de semis en hivernage vu les caprices des précipitations. Que le semis soit précoce ou tardif, il peut être sujet à un échec. Il semble plus sage de recommander tout simplement l'utilisation des premières pluies pour le semis.

Comment (by Adamou)

I think it is difficult in Niger to fix an exact planting date for the rainy season, in view of the unpredictability of precipitation. Whether planting be early or late, it could be subject to failure. It seems wiser to simply recommend taking advantage of the first rainfall for planting.

Commentaire (par Reddy, pour Oumarou)

C'est une méthode spécifique pour échapper à la sécheresse de la fin de la saison. En semant tôt, nous arriverons à éviter cette sécheresse spécifique et non pas n'importe quelle sécheresse.

Comment (by Reddy, for Oumarou)

This is a specific, late-season drought escape I am talking about. Planting early will eliminate specifically the late-season drought, not simply any kind of drought.

Commentaire (par Rosenow)

Le problème pour l'analyse de l'effet de la sécheresse pendant la contresaison, réside en cela que les types sensibles à la photopériode ne peuvent pas être évalués pour le stress durant les étapes de croissance où s'exprime la production de grains. L'expression de la sécheresse pendant les étapes tardives de croissance, dépend en grande partie de l'expression de la production. Pour le sorgho sensible à la photopériode, l'expression de la production est drastiquement touchée par les jours courts pendant la contresaison. Le triage, pendant la contresaison, pour la tolérance à la sécheresse parmi les plantules ou dans les premières étapes de croissance devrait néanmoins être efficace.

Comment (by Rosenow)

The problem with drought screening during the off-season is that photoperiod sensitive types cannot be evaluated for stress during the stages of growth in which grain yield is expressed. Drought expression during the later stages of growth is largely dependent on yield expression. In photoperiod sensitive sorghums, yield expression is drastically affected by short days during the off-season. Screening for seedling or early vegetative drought tolerance during the off-season, however, should be effective.

Commentaire (par Rosenow)

Une bonne approche consiste à utiliser de grands abris contre la pluie pendant la saison normale de croissance. L'analyse hors saison devrait sans doute se limiter à l'émergence, aux jeunes plantes et aux étapes végétatives précoces.

Comment (by Rosenow)

One good procedure is to use large rainout shelters during the regular growing season. Off-season screening should probably be limited to emergence, seedling, and early vegetative stages.

Question (pour Reddy, par Maiga)

J'aimerais que Mr. Van der Ploeg donne quelques précisions comment peut-on éviter la sécheresse à la fin de la saison?

Question (for Reddy, by Maiga)

I would like Mr. Van der Ploeg to give some details as to how one can avoid drought at the end of the season.

Réponse

Ceci est très simple. Les cycles des cultures sont fixes. Une semaille tardive a pour résultat une perte de temps pour la croissance. Par exemple: si on sème le 15 juin au lieu du 7 juillet on aura plus de possibilités d'éviter la sécheresse qui vient à la fin de septembre. Le mil semé le 15 juin sera en train de terminer sa floraison au moment de la sécheresse de septembre. Le mil semé le 7 juillet ne sera pas en train de finir sa floraison et va souffrir de cette sécheresse de la fin de saison.

Commentaire

Axtell: La discussion de ce matin au sujet de la sécheresse est un parfait exemple de l'avantage de la collaboration dans la recherche génétique. La lignée P898012 dont le Dr. Rosenow disait qu'elle avait à la fois une tolérance de pré- et de post-floraison, a été retenue par le programme de Purdue parce qu'elle avait une bonne qualité de grains. Nous ne sommes parvenus à découvrir ses qualités de tolérance à la sécheresse que grâce au triage au Niger et au Soudan. Cette lignée pourrait être bénéfique pour tous nos programmes de sorgho (au Niger, au Soudan, et aux E.U.) grâce à notre recherche en collaboration.

Fussell: Pour la question du triage pendant la saison pluvieuse, il serait possible de le faire en choisissant un site qui a une pluviométrie très basse. Puis on devrait mettre en place un système d'irrigation.

L'ICRISAT a développé un programme de triage pour la tolérance à la sécheresse au centre de l'ISC, mais seulement pour le stade d'établissement de la culture de mil. Ceci était le résultat du manque d'un bon système d'irrigation, mais ce problème va être résolu dans les deux ans à venir. Nous effectuons nos triages pour la tolérance à la sécheresse pendant le stade d'établissement des cultures pendant la contresaison et, nous avons eu à évaluer les effets de la sécheresse en ce qui concerne la température et l'humidité.

Nous pensons maintenant être en possession de techniques pour trier les génotypes du mil, pour trouver leur réponse aux problèmes de température et de sécheresse au stade d'établissement.

Response

This is very simple. Crop cycles are fixed. Planting late causes loss of growing period. To give you an example, planting on 15 June compared to planting on 7 July will have more chance of avoiding a drought that comes in the month of September. Millet planted June 15 will be finishing its flowering by the September drought. Millet planted July 7 will not be finishing its flowering and will suffer from this late-season drought.

Comment

Axtell: This discussion on drought this morning is a perfect example of the advantage of collaborative research in plant breeding. The line P898012 which Dr. Rosenow discussed as having both pre- and post-flowering drought tolerance was maintained in the Purdue program because it had good grain quality. We only discovered its merit for drought tolerance because of screening in Niger and Sudan. This line may be of benefit to all our sorghum programs (Niger, Sudan and U.S.) because of our research collaboration.

Fussell: On the question of screening during the rainy season, this may be achieved by selecting a site that naturally has a very low rainfall. Irrigation facilities then have to be developed there.

ICRISAT has developed a drought screening program at the ISC, but only in the crop establishment stage of pearl millet. This has been necessitated by the lack of good irrigation facilities, although this problem will be overcome in the next two years. We do our drought screening in the crop establishment stage in the off-season and have worked on both the aspects of temperature and moisture effects of drought.

We feel that now we do have capabilities to screen millet genotypes for their response to temperature and drought at the crop establishment stage.

Persaud: A propos du commentaire du Dr. Fussell sur l'efficacité de l'utilisation d'eau, il faudra préciser que ceci dépend de la définition. Si vous définissez l'efficacité de l'utilisation d'eau comme production/unité d'eau transpirée, vous ne trouverez aucune réponse à l'application d'engrais. Cependant, si vous définissez l'efficacité de l'utilisation d'eau comme production/unité d'eau evapo-transpirée, vous trouverez une réponse à l'application d'engrais.

Question (pour Reddy)

Au Niger, la question de la fertilisation est considérée de façon distincte selon les régions:

—la partie sud pour laquelle la pluviométrie est assez bonne et pour laquelle la recommandation 45 kg N et 45 kg P_2O_5 est recommandée;
—la partie nord pour laquelle il n'est pas actuellement recommandée d'engrais.

Quant a l'effet des engrais sur le mil, c'est surtout l'azote qui peut avoir un effet négatif si une sécheresse intervient juste après l'application. Enfin je voudrais qu'on précise les grandes lignes de la recherche en agronomie générale retenues par l'INRAN car ce qui a été présenté ne semble pas en tenir compte.

Réponse

Je ne conteste pas les recommandations de densité actuelles de l'INRAN sur les différentes cultures. Je voudrais souligner que ces recommandations sont basées sur une fertilité optimale et aussi, une pluviométrie approximative de 500 mm. Ces suppositions ne sont pas toujours vraies en pratique. Aussi, nous suggèrons des recommandations à deux ou trois étapes, en tenant compte des différentes pluviométries et fertilités.

Persaud: On the comment Dr. Fussell made on water-use efficiency: it depends on how you define it. If you define W.U.E. as production/unit water transpired you will find no response of W.U.E.; if as production/unit water evapotranspired then you will find a response of W.U.E. to fertilizer application.

Question (for Reddy)

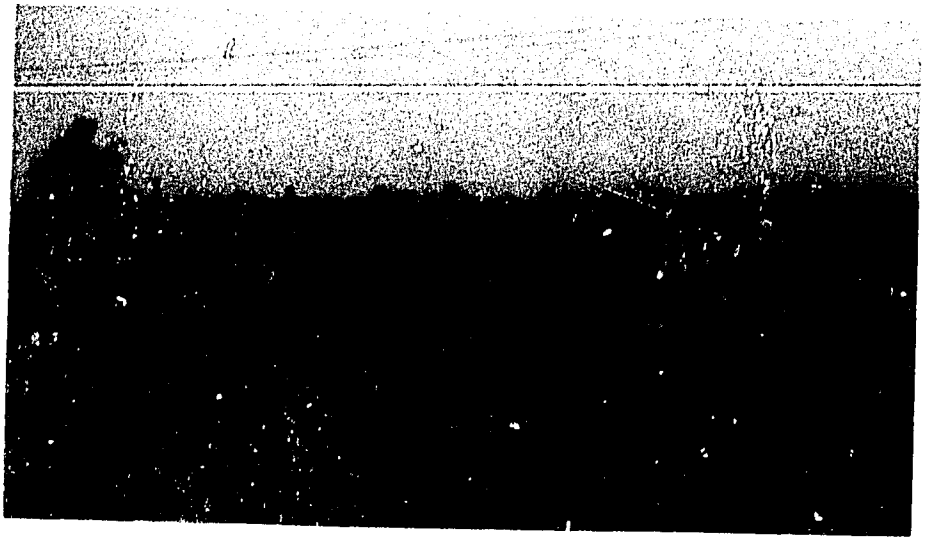
In Niger the question of fertilization practice needs to be considered according to specific regions:

—the southern part where rainfall is rather good and for which 45 kg N and 45 kg P_2O_5 is recommended;
—the northern part where fertilizer is not currently recommended.

As to the effect of fertilizer on millet, nitrogen especially can have a negative effect if drought occurs soon after application. Finally, I would like someone to specify the major areas of research in general agronomy by INRAN which were not discussed here.

Response

I am not in dispute with the present INRAN density recommendations for various crops. What I like to point out is that these recommendations are based on optimal fertility and also rainfall of approximately 500 mm. These assumptions are not always true in practice. So, we recommend a 2- or 3-tier set of recommendations considering different rainfall and fertility levels.



Session IV

Environmental Constraints Tied to the Development of Millet and Sorghum Crops

Moderators,
Mr. Ouattara Mamadou
and
Mr. Ly Samba

Contraintes Liées au Sol et à l'Eau et Adaptations à ces Contraintes par les Paysans locaux lors de la Production Céréalière en Culture Pluviale

M. Ouattara
INRAN

et

N. Persaud
TROPSOILS

Résumé. Les contraintes majeures liées à l'eau et au sol pour la production du mil et du sorgho au Niger ont été discutées. Les contraintes majeures sont la non-fiabilité de la pluviométrie, l'évaporation atmosphérique élevée et le faible potentiel agronomique aussi bien chimique que physique des Sols du Niger, particulièrement ceux cultivés en mil. Les adaptations agro-écologiques à ces contraintes des paysans locaux au Niger et dans la sous-région grâce à une longue pratique des cultures céréalières ont été brièvement discutées. La prise en compte des contraintes dues à l'environnement et des adaptations locales à ces contraintes peut aider dans l'orientation des programmes de recherche destinés à stabiliser et à améliorer la production céréalière au Niger et dans les tropiques semi-arides.

Soil and Water Constraints and Adaptations to These Constraints by Farmers in Rainfed Cereal Production

Abstract. The major soil and water related constraints to rainfed production of millet and sorghum in Niger are discussed. The major constraints are the unreliability of rainfall, the high atmospheric evaporation rates, and the low agronomic potential, both from the chemical and physical viewpoint, of the soils of Niger, especially those soils used for millet production. The agroecological adaptations to these constraints which have been developed empirically by cereal farmers in Niger and the African semi-arid tropics over centuries of cereal cultivation are briefly discussed. An awareness of these constraints and of the local adaptations to them can help in the orientation of research programs whose goals are to stabilize and improve cereal production in Niger and the semi-arid tropics.

Introduction

Le mil (*Pennisetum typhoides*) et le sorgho (*Sorghum bicolor* L.) sont les deux principales céréales cultivées dans les tropiques semi-arides (TSA) de l'Afrique de l'Ouest. C'est dans ces régions habitées par l'homme depuis fort longtemps, que le mil a été domestiqué, il y a quelque 5000 ans. Le sorgho a été introduit en Afrique de l'Ouest à une date relativement récente à partir de l'Ethiopie en passant par le Soudan. Du point de vue écologique, les TSA de l'Afrique de l'Ouest représentent un habitat transitoire entre l'habitat aride du désert du Sahara au Nord et l'habitat tropical humide au Sud (Bradley, 1977). La zone agricole du Niger, qui fait partie intégrante des TSA de l'Afrique de l'Ouest (Figure 1) concentre la majorité des six millions d'habitants du pays. Elle se présente sous la forme d'une bande située au Sud, longue de 1.300 kilomètres d'Ouest en Est, de largeur variable, se rétrécissant vers l'Est.

Les terres semi-arides du Niger et des autres pays de l'Afrique de l'Ouest ont été relativement peu étudiées comparativement à celles des régions tempérées et subtropicales (Hall *et al.* 1974) et elles sont mal connues du point de vue agroécologique. La pression démographique croissante, les changements climatiques et socio-économiques de ces dernières années menacent gravement les écosystèmes fragiles des zones semi-arides du Niger. D'où la nécessité de développer une nouvelle stratégie de production de mil et de sorgho qui concilierait les besoins d'une population croissante et la faiblesse intrinsèque des ressources naturelles. Une meilleure connaissance des contraintes de l'environnement et des adaptations des paysans locaux à ces contraintes peut constituer un apport appréciable dans la définition de la nouvelle stratégie.

Les contraintes liées à l'eau dans la production céréalière en culture pluviale

Les systèmes de production céréalière en cultures pluviales au Niger sont fortement influencés par les caractéristiques des saisons des pluies. La pluviométrie moyenne annuelle, la régularité des pluies et la longueur de la saison des pluies croissent progressivement du Nord au Sud (Figure 1). L'isohyète 250 mm est habituellement pris comme limite pour l'agriculture

Tableau 1. Pluviométrie moyenne mensuelle et coefficients de variation pour cinq stations au Niger classées par ordre croissant de latitude, pour la période allant de Mai à Septembre.

Station	Latitude Nord	Nombre d'années données	Pluviométrie moyenne annuelle	Moyennne mensuelle (mm) et coefficients de variation (%)				
				Mai	Juin	Juillet	Août	Sept
Gaya	11°59'	53	830,7	67,9	118,7	190,5	258,3	155,3
				62	39	43	34	36
Niamey	13°29'	41	585,3	34,6	78,8	160,9	192,3	97,2
				85	48	41	38	56
Filingué	14°21'	53	448,5	19,3	53,9	126,0	175,7	66,2
				124	66	44	50	68
Agadez	16°59'	63	147,5	5,8	9,0	41,2	76,0	13,5
				198	151	62	54	119
Bilma	18°41'	62	17,4	0,3	1,2	2,6	9,3	2,3
				433	300	177	137	257

pluviale. Au-delà de cet isohyète, les cultures doivent être irriguées ou alors situées dans des zones édaphiquement favorables.

Dans la zone d'agriculture pluviale, les risques d'échec des cultures sont élevés à cause d'une grande variabilité de la pluviométrie aussi bien dans le temps que dans l'espace. La longueur des saisons des pluies est également variable d'une année à l'autre, comme l'est la longueur des périodes sèches entre deux pluies au cours d'une même saison (Cochemé et Franquin, 1967). Le tableau 1 montre des analyses simples de données pluviométriques de cinq stations réparties selon des latitudes croissantes.

La variabilité de la pluviométrie est plus grande au début et à la fin de la saison pluvieuse et augmente du Sud au Nord. Bien que les coefficients de variation portés au tableau 1 décroissent vers le milieu de la saison des pluies, ils restent quand même élevés.

Le tableau 2 montre les probabilités de recevoir au moins 10, 20 et 40 mm de pluie cumulée par décade du 1er mai au 30 septembre pour cinq stations situées à des latitudes croissantes. Ces résultats illustrent les risques élevés liés à l'agriculture pluviale au Niger. Pour une quantité d'eau décadaire cumulée donnée (10, 20 ou 40 mm), si on définit les décades pour lesquelles la probabilité est supérieure à 75% comme période de pluviométrie fiable, cette période est très courte pour les trois valeurs de pluviométrie décadaire et pour les cinq stations. Si l'on considère 20 mm comme le minimum décadaire cumulé nécessaire à la croissance des plantes, la période de pluviométrie faible est approximativement de 100 jours pour Gaya, la station la plus humide, et décroît avec la latitude. Les données de la figure 2 font encore

Tableau 2. Probabilité (pour cent) de recevoir au moins un total décadaire de 10 mm, 20 mm ou 40 mm, pour cinq stations du Niger pour la periode allant de Mai à Septembre.

Mois	Décade	Probabilité (%) de recevoir au moins 10 mm					20 mm					40 mm				
		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Mai	1	49	12	6	1	1	26	4	3	0	0	9	2	0	0	0
	2	56	39	15	3	0	32	19	5	0	0	9	2	0	0	0
	3	73	56	30	11	0	49	29	13	7	0	32	14	3	1	0
Juin	1	84	60	45	6	0	67	39	25	1	0	35	26	11	0	0
	2	88	75	54	7	1	77	48	27	3	1	47	26	8	1	0
	3	92	82	61	12	0	77	63	38	3	0	37	14	16	1	0
Juillet	1	94	92	71	12	0	75	82	50	6	0	60	36	22	0	0
	2	86	95	89	49	3	81	87	72	20	1	66	70	35	3	0
	3	96	100	91	66	5	92	82	81	53	0	77	68	54	17	0
Août	1	98	92	93	74	6	96	92	74	50	1	84	63	47	22	0
	2	100	97	93	73	16	100	95	81	58	8	83	70	52	31	3
	3	96	95	88	61	10	96	90	74	33	3	83	63	38	6	0
Septembre	1	98	92	79	25	5	90	85	57	9	1	75	46	25	10	
	2	92	78	57	12	3	83	65	38	7	1	62	36	11	3	0
	3	77	53	44	4	0	64	29	20	1	0	35	4	3	0	0

1. Gaya (11°59' latitude nord)
2. Niamey-aérodrome (13°29' latitude nord)
3. Tahoua (14°54' latitude nord)
4. Agadez (16°59' latitude nord)
5. Bilma (18°41' latitude nord)

mieux ressortir les risques, elles comparent les pluviométries moyennes décadaires et les évapotranspirations potentielles (ETP) pour l'année 1985 de quatre des cinq stations étudiées plus haut. Les ETP estimées ont été calculées en utilisant l'approche Penman et les méthodes de calcul de la FAO (Frère et Popov, 1980). La longueur de la saison des cultures peut être définie comme la période pendant laquelle la pluviométrie dépasse 0.5 x ETP (Cochemé et Franquin, 1967). La figure 3 montre que cette saison des cultures décroît avec la latitude.

Le caractère peu fiable et irrégulier de la pluviométrie constitue la plus sévère contrainte liée à l'eau pour les cultures pluviales. Ceci se reflète dans les rendements instables de mil et de sorgho enregistrés d'une année à une autre. Cette contrainte est aggravée par la demande évaporative élevée qui limite la période des cultures (cf Figure 2) et par le fait que le profil du sol est complètement sec au début de la saison des pluies. Le semis pourra être effectué avec succès seulement lorsque la pluviométrie aura permis d'amener le sol à un degré d'humidité permettant la germination. Si on considérère une pluie de 15 mm comme nécessaire pour effectuer le semis, les probabilités d'une telle pluie durant les mois de mai et juin pour Gaya est respectivement 46% et 57%. Ces valeurs ont été obtenues à partir de l'analyse de relevés effectués entre 1950 et 1965, une période relativement humide en Afrique de l'Ouest (Kerr, 1985). Les probabilités pour obtenir 10 mm et 15 mm en une seule pluie à Niamey sont 28% et 20%, pour le mois de mai et 25% et 19% pour le mois de juin. Les valeurs correspondantes pour Tahoua sont 14% et 8%, et, 18% et 10%. Ces résultats montrent combien il est peu sûr d'avoir une quantité d'eau suffisante en une seule pluie pour commencer le semis. Ceci constitue une sévère contrainte liée à l'eau, résultant dans des re-semis fréquents, des levées irrégulières et des rendements médiocres de mil et de sorgho.

Les contraintes liées à l'eau sont toutes dues aux caractéristiques de la pluviométrie dans les tropiques semi-arides. Elles sont renforcées ou aggravées par plusieurs autres contraintes liées au sol et qui ne sont pas moins importantes.

Les contraintes liées au sol dans la production céréalière en culture pluviale

La plupart des variétés de mil et sorgho cultivées au Niger ont des exigences édaphiques assez différentes. Alors que le mil pousse sur des sols sableux, dans des conditions hydriques presque marginales, le sorgho préfère en général des sols plus lourds, à pédo-climat nettement plus humide. Les contraintes liées au sol seront donc analysées séparément pour chacune des cultures.

1. *Les contraintes liées aux sols cultivés en mil*

Le mil constitue la principale culture au Niger (3.058.000 ha en 1984). Elle est pratiquée presque exclusivement sur les sols à texture sableuse.

Les sols sableux de la zone agricole se sont développés sur des ergs associés à différentes phases arides du quaternaire de la sous-région et dans les lits des grandes vallées sèches (Dallol). Il se répartissent du point de vue classification en sols ferrugineux (peu lessivés, lessivés), en sols brun-rouges et des sols peu évolués constitués d'apports. Dans la classification USDA (Soil Taxonomy), ils sont classés comme ustalfs, psamments et ustults. Les variations au sein de ces sols sont associées aux type et degré d'évolution pédogénétique (lessivage de bases, illuvation d'argile, individualisation de sesquioxydes, etc.).

Les contraintes liées à ces sols sont nombreuses et elles s'expriment selon des intensités variables en fonction des sols et même des précédents culturaux. Elles constituent des facteurs limitants aussi bien au niveau des exigences des cultures qu'au niveau des exigences de la conservation.

La matière organique se présente à des taux en général très faibles dans tous les sols à mil du Niger (cf Tableau 3); cela explique la fragilité de ces sols (sensibilité à l'érosion, faible capacité de réserve chimique et de rétention en eau).

Le pH ne constitue pas une contrainte majeure en lui-même. Il est faiblement acide à neutre pour les sols brun-rouges, et est moyennement acide pour la majorité des sols ferrugineux (pH 5 à 6). Dans le sud de pays, des pH compris entre 4 et 5 peuvent être rencontrés dans les horizons de profondeur, mais il n'a pas été démontré une toxicité liée au pH ou à l'aluminium sur le mil.

La réserve chimique est très faible aussi bien pour les cations (Ca, Mg, K) que pour les autres éléments (N et P). Le Tableau 3 montre

que pour tous les sols à mil, l'ORSTOM a trouvé des sommes de bases inférieures à 2 meq/100 gm de terre. Ces valeurs sont confirmées par toutes les études pédologiques effectuées jusqu'à présent par l'INRAN et TROPSOILS. Concernant l'azote et le phosphore, les essais de fertilisation menés par l'INRAN, l'IFDC et le Programme Engrais Nigérien (FAO) ont montré une forte réponse du mil à l'azote et au phosphore sur de nombreux sols à mil du Niger.

La texture est très sableuse. Le Tableau 3 montre que pour la majorité des sols à mil, le taux d'argile + limon est inférieur à 10%. Cette faible teneur en colloides minéraux associée à la faible teneur en matière organique mentionnée plus haut explique la faible capacité de réserve en éléments chimiques et en eau de ces sols.

Les caractéristiques hydriques et hydrodynamiques des sols cultivés en mil constituent une contrainte majeure dans la mesure ou elles rendent la culture plus vulnérable aux aléas pluviométriques mentionnés plus haut (contraintes liées à l'eau). Les sols sableux présentent en général une vitesse d'infiltration élevée (25 à 30 cm/h) et une faible capacité de rétention en eau (souvent inférieure à 100 mm d'eau pour 100 cm de sol). Si l'on considère

Tableau 3. Quelques caractéristiques analytiques moyennes des principaux sols à mil du Niger.[1]

Type de sol	Texture argile +limon (%)	Matière org. (%)	pH Surface (0-10cm)	pH Profondeur (>10cm)	Somme de bases (meq/100gm)	Saturat. (%)
Sols brun rouges peu différenciés (ergs récents)	3-5	0,3	6,4-6,7	5,4-7,0	<2	85
Sols ferrugineux peu lessivés (ergs récents)	3-5	0,2	5,6	5,2	<1	55
Sols ferrugineux peu lessivés (dallol Bosso)	3-9	0,2	5-6	5,5-6,5	<1	60
Sols ferrugineux peu lessivés, évolués (ergs anciens)	3-16	0,3	5,7	5,4	<2	56
Sols ferrugineux peu lessivés, évolués (moyen Niger)	4-10	0,2	5,5	5	<1	50
Sols ferrugineux lessivés typiques (ergs anciens)	3-6	0,2	5,9	5,2	<1	50
Sols ferralitiques intergrade-sols ferrugineux (Gaya)	15	0,6	6,2	4,6	<2	30

[1] Source: Ouattara, 1981; ORSTOM, 1965.

que l'évapo-transpiration potentielle journalière est de l'ordre de 5 à 6 mm/jour, et que du fait de l'infiltration excessive une partie de l'eau tombant sur le sol descend en dessous de la zone prospectée par les racines, la nécessité d'avoir des pluies bien réparties pour la réussite des cultures apparaît clairement (Hartman et Gandah, 1982).

En conclusion, le sol présente trois contraintes majeures à la culture du mil: faible réserve chimique, caractéristiques hydriques défavorables et relative fragilité favorisant les risques d'érosion lors d'une mise en valeur intensive. Les paysans du Niger et de l'Afrique de l'Ouest en général ont perçu clairement ces contraintes et ont adapté leur mode d'utilisation des terres en conséquence.

2. *Les contraintes liées aux sols cultivés en sorgho*

Le sorgho se classe au deuxième rang des céréales cultivées au Niger avec 1 062 000 hectares en 1984. Il est cultivé sur des sols à caractéristiques physiques et chimiques beaucoup plus variées que ceux sur lesquels le mil est cultivé. Toutefois, la plus grande partie du sorgho au Niger est cultivée sur des sols alluviaux ou des sols hydromorphes, à pédoclimat assez humide et à texture lourde. Nous nous sommes limités, pour cette revue, aux sols des vallées de la Maggia, cette région constituant la principale zone à sorgho du Niger.

Les sols des vallées de la Maggia sont constitués de sols peu évolués d'apport (fluvents) de sols hydromorphes (aquent) et de vertisols topomorphes (usterts). Tous ces sols se sont développés sur des alluvions argileuses ou schisto-calcaires.

L'étude effectuée par la SOGETHA (1963) dans la Maggia fait ressortir pour ces sols des teneurs moyennes à bonnes en matière organique (1,1 à 1,6%) des pH en général élevés (7,5 à 8), de fortes capacités d'échange (30 à 40 meq/100 gm de terre) et un fort taux de saturation (80 à 100%). Les sols développés sur calcaire et shiste ont en outre de fortes teneurs en phosphore total. Les sols de la Maggia ont donc une bonne valeur agronomique. Les efforts pour le développement de la culture du sorgho dans cette région, en ce qui concerne les sols, doivent plutôt se tourner vers la récupération des sols de glacis, qui ont aussi une bonne valeur agronomique, mais sont défavorisés du point du vue hydrique. La mise en place de banquettes et autres mesures de conservation des sols et de l'eau, l'adaptation de techniques culturales appropriées permettraient de lever ces contraintes et de mettre à la disposition des paysans de vastes étendues de sols riches.

Adaptation des paysans aux contraintes liées au sol et a l'eau pour la production céréalière

Comme il a été mentionné plus haut, le mil a été cultivé pendant des millénaires dans les tropiques semi-arides de l'Afrique de l'Ouest. Les pratiques culturales actuelles ont été développées en adaptation à certaines contraintes de l'environnement et pour assurer la subsistance dans un milieu plein d'aléas. Les paysans des TSA de l'Afrique de l'Ouest ont appris à travers de longues années de pratique, maintes et maintes observations empiriques, à adapter leur matériel agronomique et leurs méthodes culturales aux contraintes agro-écologiques de leur milieu. On a vu plus haut que les contraintes majeures liées à cette zone semi-aride de l'Afrique sont le caractère peu fiable et variable des pluies et le faible potentiel naturel de production des sols, spécialement ceux utilisés pour le mil. Entre autres adaptations des paysans à ces contraintes, on peut citer:

- choix de génotypes de mil sélectionnés en particulier pour leur adaptation aux longueurs des saisons de culture des différentes régions et pour leur résistance à la sécheresse. Ces variétés, en outre, germent très vite, elles ont une bonne capacité de tallage et produisent un abondant système de racines peu profondes.
- pratique de jachères longues, allant de 5 jusqu'à 20 années selon les régions, pour permettre à la matière organique et à la fertilité de se régénérer.
- choix de techniques culturales appropriées: des densités de semis faibles — des écartements allant de 1,5 m à 2 m sont fréquents dans les zones de faible pluviométrie — sont adoptées pour réduire la concurrence pour l'eau et les éléments minéraux. Le travail de sol peu profond minimise les pertes d'eau par évaporation et les risques d'érosion éolienne.
- les cultures associées, pratiquées sur presque 70% des surfaces cultivées en mil, constituent une adaptation face aux risques

d'échec des cultures.

En conclusion, afin d'aboutir à des résultats rapides, la mise au point de nouvelles technologies et la recherche pour le développement des cultures du mil et du sorgho doivent prendre en compte les connaissances acquises et les technologies adaptées empiriquement par les paysans.

Références

Bradley, P.N. 1977. Vegetation and Environmental change in the West African Sahel. Dans Land Use and Development. Wisner International African Institute.

Cochemé, J. and P. Franquin. 1967. An agroclimatological survey of a semi-arid area in Africa south of the Sahara. World meteorological organisation, Technical Note No. 86, WMO No. 210, TP 110.

Frère, M. and G.F. Popov. 1979. Agrometeorological crop monitoring and forecasting. FAO Plant Production and Protection paper No. 17. FAO, Rome.

Hall, A.E., G. H. Cannel, and H.W. Lawton. 1979. Ecological studies. Vol. 34, Agriculture in Semi-Arid Environments. Springer-Verlag, New York.

Hartman, R. and M. Gandah. 1982. Hydrodynamic characterization of a sand dune soil in Niger. Med. Fac. Landbouw. Rijksuniv. Gent, 47/4.: 1195-1204.

Kerr, R.A. 1985. Fifteen years of African drought. Science 226: 1453-1454.

ORSTOM. 1965. Etude Pédologique du Niger. Reconnaissance-1/500.000.

Ouattara, M. 1981. L'évaluation des sols sableux de la zone agricole du Niger. Dans Rapport sur les ressources en sols du monde No. 55. FAO.

Sogetha. 1963. Rapport d'étude pédologique de la vallée de la Maggia. Aménagement Régional de l'Ader Doutchi-Maggia. 3e partie.

Discussion (Session IV)

Question (pour Persaud ou Ouattara, par Gonda)

Il serait souhaitable d'étendre l'étude sur les risques pluviométriques à travers tout le pays, ce qui nous permettra de déterminer les zones à gros risque, afin de pouvoir prendre des précautions en ce qui concerne la vulgarisation des différentes variétés. Nous avons observé, par exemple, que dans le zone de Filingué, le semis en ne peut être fait qu'en juillet, nécessitant l'utilisation de variétés précoces.

Réponse

L'analyse des probabilités telle qu'elle a été présentée ici a été réalisée dans 43 stations météorologiques du Niger, en se basant sur des relevés s'étendant sur une période de vingt cinq ans. Nous sommes en ce moment en train de compiler ces rapports et ils seront, *mutatis mutandis*, bientôt disponibles.

Question (for Persaud or Ouattara, by Jada)

It will be desirable to extend the study on rainfall risks to include the whole country so that we could determine high risk areas and take appropriate precautions when promoting different varieties. We have noticed, for example, that in the Filingué area, planting can only be done in July, necessitating the use of early varieties.

Response

Probability analyses such as those presented here are complete for 43 rain-gauging stations with more than 25 years of records in Niger. We are in the process of compiling the reports on these studies and these will soon be available, *mutatis mutandis*.

Question (pour Ouattara, par Rosenow)

Quel était le pH des sols sableux aux stations de Tarna et Kolo? Je pose cette question afin d'aider à déterminer si la tolérance à l'acidité du sol est un facteur important dans l'acclimatation du sorgho aux sols sableux.

Réponse

N'Dounga	
0-20	pH 5,6
20-40	pH 6,0

Les pH ont été calculés en faisant la moyenne de données recueillies sur plusieurs parcelles. Dans certaines parties de la station de N'Dounga, nous avons trouvé des profils où le pH s'accroissait en fonction de la profondeur: d'environ 5,5 à la surface, le pH passait à 8 à 100 cm de profondeur.

Question (for Ouattara, by Rosenow)

What is the pH of the dune soils at Tarna Station and Kolo Station? I ask this to aid in determining if acid soil tolerance is an important component of adaptation of sorghums to dune soils.

Response

N'Dounga	
0-20	pH 5.6
20-40	pH 6.0

These pH values have been computed by averaging data from many plots. In some parts of N'Dounga Station, we have found profiles with pH increasing with depth—from about 5.5 at the surface, the pH reached 8 at 100 cm below surface.

Question (pour Ouattara ou Persaud, par Maliki)

Est-ce que les sols cultivés par la hilaire ont les mêmes problèmes que ceux cultivés par la houe?

Réponse

Du point de vue profondeur de sol travaillé, je pense que la hilaire n'est pas très différente de la houe car cette dernière ne concerne elle aussi que les premiers 10 cm de sol. Il est à noter toutefois que la hilaire est beaucoup plus répandue que la houe dans les sols sableux au Niger, d'où le plus grand l'intérêt qui lui a été porté.

Question (for Ouattara or Persaud, by Maliki)

Do soils cultivated with the *hilaire* (crescent-shaped hoe used for cultivating sandy soils) have the same problems as those cultivated by hoe?

Response

As far as the depth of the soil is concerned, I think that there is no difference between *hilaire* and hoe since both only work the first 10 cm of the soil. It should be pointed out, however, that the *hilaire* is much more widely used in the sandy soil areas of Niger. This explains the greater emphasis placed on it.

IFDC's Phosphate, Nitrogen and Sulfur Fertilizer Research in Niger: Objectives and Progress

A. Bationo
IFDC/ICRISAT

M. Gaoh
INRAN

B.C. Christianson and D.K. Friesen
IFDC

Abstract. Research was conducted at the research station and in farmer's fields under the management of the researcher in different agro-ecological zones of Niger, to study the agronomic effectiveness of phosphorus fertilizer sources. Phosphorous application resulted in a significant increase in grain yield of millet indicating that soils were P-deficient at all sites.

Partial acidulation of phosphorus rock greatly improved the initial agronomic effectiveness. It was observed that PAPR40 and PAPR50 made from the Niger Parc-W phosphate rock was, in general, as good as the imported commercial superphosphates.

The economic evaluation showed that, at subsidized prices, PAPR40 and PAPR50 were found to be as profitable as SSP. These results indicate that PAPR40 and PAPR50 could be economically competitive sources of P if supplied at a price equal to about 80% and 75% of the price of SSP, respectively. It is gratifying to report here that the government of Niger have begun to consider the technology of partial acidulation as a basis for a local phosphorous industry.

Nitrogen response in millet has varied from year to year and seems to be related to moisture. Using stable isotope, ^{15}N-labelled fertilizers, it was found that high losses occurred from all sources, independent of the time and method of application (37% losses for CAN and 53% for urea supergranule). CAN has tended to perform better than urea, and urea supergranule has been the least effective.

Future work will be aimed at determining these loss mechanisms and developing a technology to prevent them.

Studies have indicated that the practice of leaving crop residue on the soil surface gave a significant yield increase comparable to that of fertilizer. Future research must investigate this important finding.

La Recherche de l'IFDC sur les Engrais Phosphatés, Azotés et Soufrés au Niger: Objectifs et Progrès

Résumé. Des recherches sont menées dans des stations de recherche et dans les champs des paysans sous la direction des chercheurs de différentes zone agro-écologiques du Niger pour étudier l'efficacité agronomique des sources d'engrais phosphorés. L'application du phosphore (P) a donné une augmentation significative du rendement en grain du mil indiquant que les sols sont pauvres en P.

L'acidulation partielle des roches de phosphores a beaucoup amélioré l'efficacité agronomique initiale. Il est noté que PAPR40 et PAPR50 faits à partir des roches phosphates du Niger, sont généralement aussi bon que les superphosphates commercialisés et importés. L'évaluation économique a montré qu'au prix subventionné, PAPR40 et PAPR50 seront aussi profitables que le SPS. Les résultats indiquent que PAPR40 et PAPR50 peuvent être économiquement compétitifs comme source de phosphore s'ils peuvent être vendus à des prix de l'ordre de 80% et 75% respectivement, du prix du SPS. Il est important de noter ici que le Gouvernement du Niger a commencé de considérer cette technologie d'acidulation partielle comme base de l'industrie locale du P.

La réponse du mil à l'azote varie d'une année à l'autre et paraît être liée à l'humidité. L'utilisation des engrais marqués par l'isotope stable ^{15}N, a montré qu'il y a des pertes d azote quel que soit le temps et le mode d'application (37% des pertes pour l'ammonitrate de calcium (ANC) et 50% dans le cas de l'urée supergranulée). L'ANC a tendance à donner de meilleures performances que l'urée. L'urée supergranulée est la source de N la moins efficace.

Des recherches futures seront consacrées à la détermination des mécanismes de pertes et au développement des moyens pour les prévenir.

Des études ont montré que la pratique de laisser les résidus des cultures sur la surface des sols a donné une augmentation significative du rendement comparable à celle des engrais. Des recherches ultérieures doivent prendre en compte ces résultats importants.

Introduction

The International Fertilizer Development Center (IFDC) is a public, non-profit organization dedicated to increasing agricultural production in the tropics and subtropics through the development of improved fertilizers and fertilizer know-how.

Since 1982, IFDC in collaboration with International Institute of Tropical Agriculture (IITA), the International Crops Research Institute for Semi-Arid Tropics (ICRISAT), and various National Agricultural Research Centers (NARC) has undertaken a systematic research program on phosphorus, nitrogen and sulfur fertilizer sources and their management in different agro-ecological zones of sub-Saharan Africa.

Fertilizer consumption in Africa is very low and represents about 3% of the world consumption. For example, Africa uses 20 kg/ha of fertilizer nutrient compared to Asia where the average is 68 kg/ha. Almost three-fifths of the fertilizer consumed in Africa is used by Egypt and South Africa.

In 1982/83 Niger total consumption of fertilizer nutrients was 3,563 mt with a nutrient consumption per arable land of 1 kg/ha. This amount is negligible even though numerous investigators have shown that phosphorus plays an important role in food crop production in the country. It is also recognized that fertilizers have so far accounted for more than 50% of the increase in crop yields.

The overall goal of this research program is to investigate means of improving fertilizer use and efficiency to increase agricultural production.

This paper will present the objectives and progress of the IFDC's research in Niger in collaboration with the International Crop Research Institute for Semi-Arid Tropics (ICRISAT) and the Institut de Recherche Agronomique du Niger (INRAN) on phosphorus, nitrogen and sulfur fertilizers.

Review of Literature

Several investigators have shown that a lack of P constitutes a major constraint to food production in tropical Africa (Milne, 1968; Pinchot and Roche, 1972).

The sandy soils of sub-humid and semi-arid West Africa are low in P-buffering capacity (Juo and Fox, 1977; Bationa, 1982) and crop responses to P have been obtained with small P application of the order of 4-10 kg P/ha (Kang and Asiname, 1985). Responses to P are more spectacular in the semi-arid zone of tropical Africa (Hauck, 1966). Jones and Wild (1975) have reported that P deficiency occurs widely in the Savanna zone. Several investigations have indicated that in soils rich in organic matter, the release of organic P plays a vital role in plant nutrition (Nye and Greenland, 1960; Acquaye and Oteng, 1972; Agboola and Oko, 1976). The low organic matter content in the sandy soils of Niger contributes to the phosphate problem.

The cost of transportation in a landlocked country like Niger makes it necessary to use high analysis fertilizers. However, these high analysis fertilizers contain little or no sulfur. Several workers have reported sulfur response in a number of crops (Greenwood, 1975; Watson, 1964; Brand, 1970; Osiname and Kang, 1975; Kang and Osiname, 1976; Enwezor, 1976; Fox *et al.*, 1977). Kang *et al.* (1981) found that total sulfur in soil decreases in the following order: forest zone, derived savanna, and Guinea savanna. Thus, sulfur deficiency is expected to be more acute in soil from the semi-arid ecosystems.

For most countries of Sahelian Africa, it may be more economical to use phosphate rock (PR) for direct application. But the effectiveness of PR depends on its chemical and mineralogical composition, soil factors and the crop to be grown (Kwasawneh and Doll, 1978; Lehr and Mc Clellan, 1972; Chien and Hammond, 1978).

Several experiments have been carried out to evaluate agronomic effectiveness of West African indigenous rocks for direct application (Nabos *et al.*, 1974; Jenny, 1973; Bauyer, 1970; Juo and Kang, 1978; Jones, 1973; Mokwunye, 1979; Thibout *et al.*, 1980; Bationo, 1982). The results suggest that the agronomic effectiveness is low. Truong *et al.* (1978) compared several PR sources (Anecho in Togo, Arli and Kodjari in Burkina Faso, Tahoua in Niger, Taiba in Senegal and Tilemsi in Mali) and found that only Tahoua and Tilemsi PR were suitable for direct application.

The ineffectiveness of African PR is due to their low reactivity, which results in their inability to supply adequate P in soil solution for crops. Partial acidulation (PA) is one way to increase solubility of PR. The term PA50 indicates that 50% of sulfuric acid required to

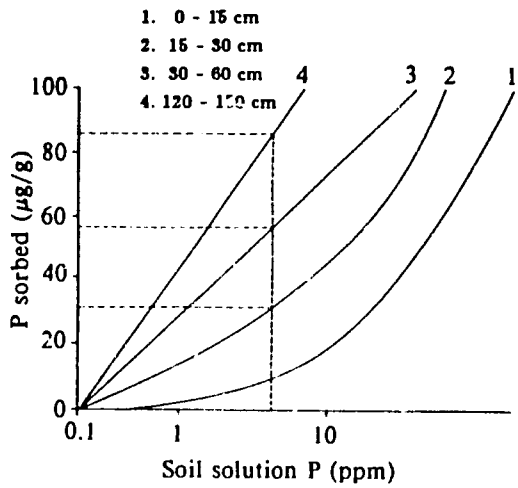


Figure 1. Phosphate sorption isotherms for Sadoré soil.

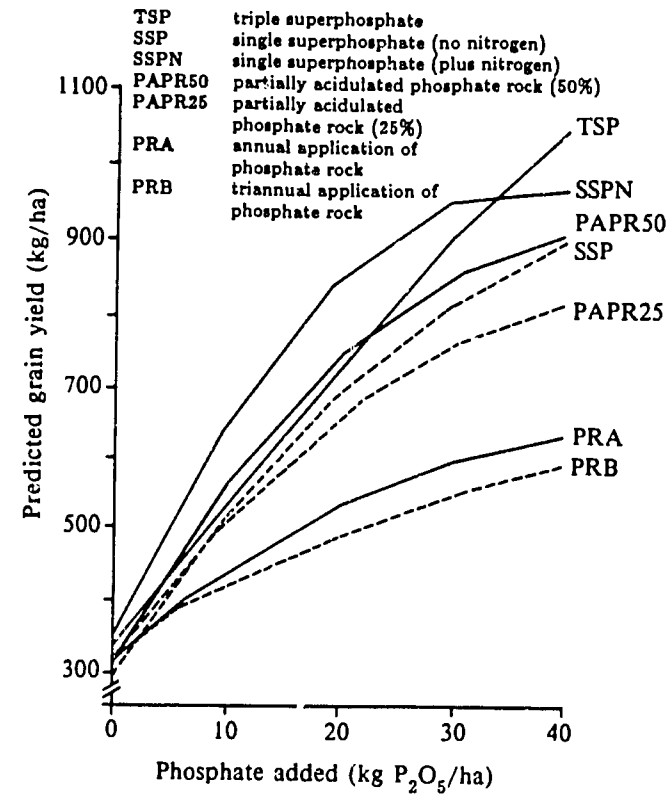


Figure 2. Relationship between predicted grain yield of millet and different doses of phosphorus, Sadoré, 1982.

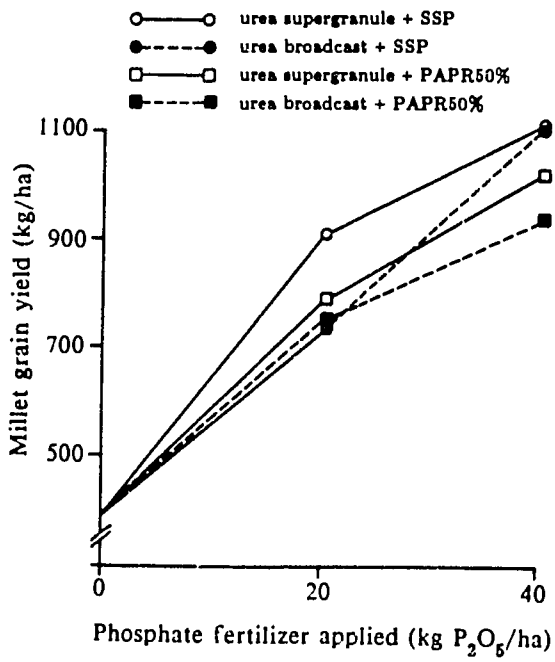


Figure 3. Effect of P (as SSP or PAPR) and urea (as supergranules), or broadcast treatment on millet yield (Gobery, Niger, 1983).

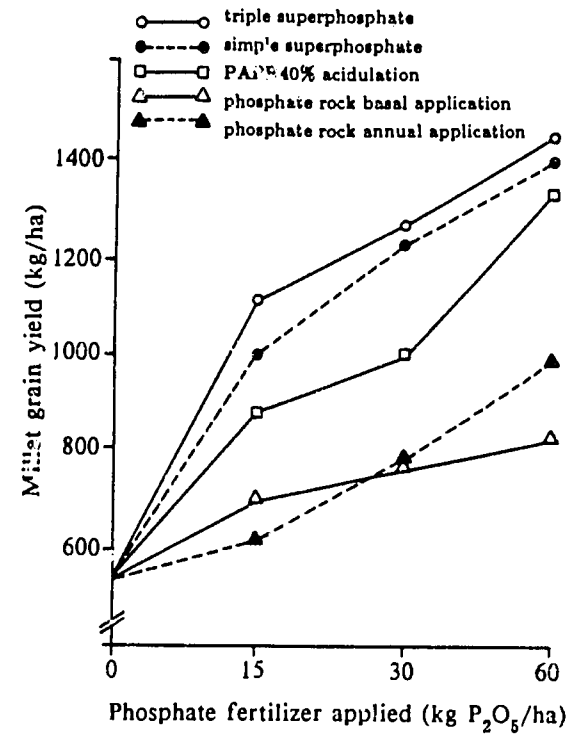


Figure 4. Effect of phosphate application rate and source on millet grain yield (Mai Gamji, 1983).

produce single superphosphate is used to make the product. The work on PAPR to date has been characterized by conflicting results. Numerous authors (McLean and Wheeler, 1964; McLean *et al.*, 1965; McLean and Balam, 1967; McLean and Logan, 1970; Misra and Panda, 1969; Lutz, 1971; Asby *et al.*, 1966) found that PAPR at various acidulation levels was equal to and sometimes better than concentrated superphosphate (CSP), whereas Terman *et al.* (1964) and Terman and Allen (1967) found that PAPR was inferior to CSP. Mokwunye and Chien (1980) reported that when an equal amount of water-soluble P in the form of PAPR or CSP was added to two alfisols from Nigeria and an escisal from Columbia, the amount of water-extractable P was higher in soil treated with PAPR.

Nitrogen is a highly mobile nutrient with various loss mechanisms such as ammonia volatilization, denitrification, leaching and run-off. With traditional shifting cultivation, farmers were able to maintain stable levels of productivity, but urbanization and population pressures have intensified cropping, and soil fertility has decreased (Nye and Greenland, 1960). A good response to N fertilizer will only occur if sufficient P or sulfur are added depending on many edaphics factors (Coulter, 1970; Traore, 1974). In a program involving 154 sorghum trials in northern Nigeria, Goldsworth (1967) found that optimum rate of N is 25 kg/ha if combined with 16-19 kg P_2O_5/ha. On the basis of a large number of trials in Northern Nigeria, FAO has recommended fertilizer rates of 80 kg N/ha and 32-80 kg P_2O_5/ha for maximum sorghum yields. In Mali, Traore (1974) reported that the absolute amounts of millet grain produced were very low, making fertilization unprofitable. Response to N was much stronger in Senegal (Ganry *et al.*, 1973).

The fertilizer rates recommended in Nigeria for millet range from 30-30-0 in Kano province to 18-13-0 in Sokoto province. In Burkina Faso 10 kg N/ha is recommended (FAO, 1982).

There are few trials where different sources of N are compared together. Ammonium sulfate (AS) has fallen into disfavor because of its strong tendency to acidify the soil after prolonged use (Bache and Heathcote, 1969; Roche, 1970).

Leaching of N in the semi-arid areas is believed to be limited due to low rainfall and split of N fertilizer is perhaps not necessary.

The use of the stable isotope ^{15}N-labeled fertilizers is indispensable in studying the fate of fertilizer N in soil-plant systems and can allow efficiency studies of different sources, methods and times of application of nitrogen. To date, little is known as to where and how much improvement in fertilizer N efficiency could be achieved. However, with a total N consumption in 1981 of 480,000 tons in tropical Africa, a 10% upward shift in efficiency would constitute a savings of at least US $19 million annually (Ganry *et al.*, 1978; Chabalier and Pinchot, 1978; Giyou and Dubernard, 1979; Chabalier and Pichot, 1979).

Work done on farmers' fields by McIntire (1983) suggested that fertilizer use under farmers' traditional practices was profitable in Niger. The adoption of new fertilizers by farmers depends in great part upon the relative profitability of fertilizer products already available in the market. Fertilizer technologies that significantly increase economic returns to farmers have a high probability of being adopted by farmers. Moreover these technologies will economically increase the productivity of fixed and limiting factors of production, expand agricultural production, and promote agricultural and economic development in a region or a country.

The economic evaluation of PR and PAPR products was carried out by calculating and then comparing the economic benefits of these fertilizers with those of single superphosphate (SSP). SSP is the most commonly used source of P in Niger. The economic benefits were calculated by subtracting the cost of fertilizer from the value of increments in crop yields associated with the use of fertilizer. Cost estimates for the PAPR products were used for this purpose. In terms of cost per unit of P_2O_5, the PAPR50 and PAPR40 were considered to be 20% and 25% less expensive than SSP, respectively. These cost estimates are based on general production cost studies conducted at IFDC. Actual costs, however, will depend on the type of rock and the cost of ground PR and sulfuric acid.

Objectives of the phosphorus, nitrogen and sulfur research program

A. Phosphorus

The field studies that were undertaken by IFC in collaboration with ICRISAT and INRAN

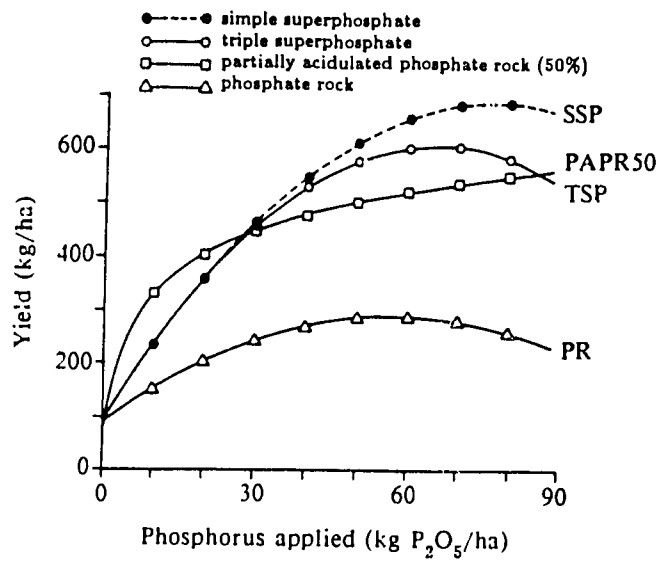


Figure 5. Effect of different sources and rates of phosphorus on millet grain yield in Gobery, 1984.

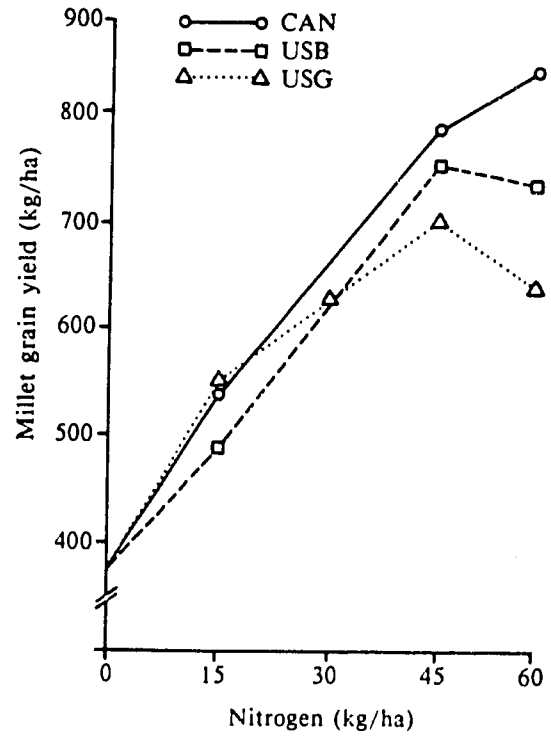


Figure 6. Relationship between millet grain yield and urea supergranule (USG), urea split banded (USB) and ammonium nitrate split banded (CAN) at Magaria, southeast Niger.

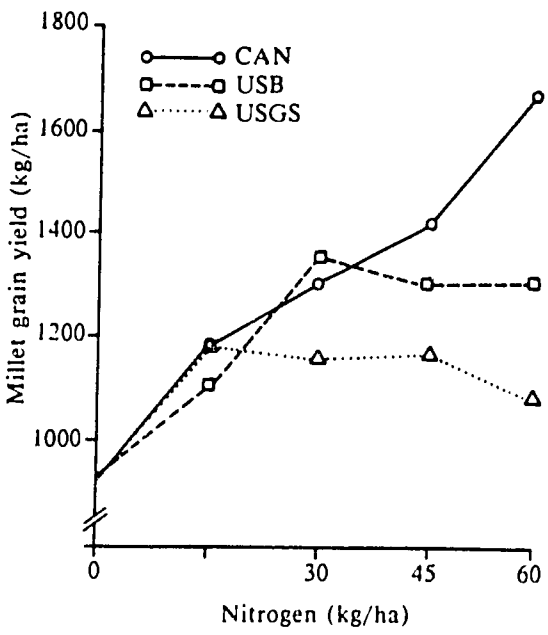


Figure 7. Relationship between millet grain yield and urea supergranule split (USGS), urea split banded (USB) and calcium ammonium nitrate banded (CAN) at Tounga, southwest Niger.

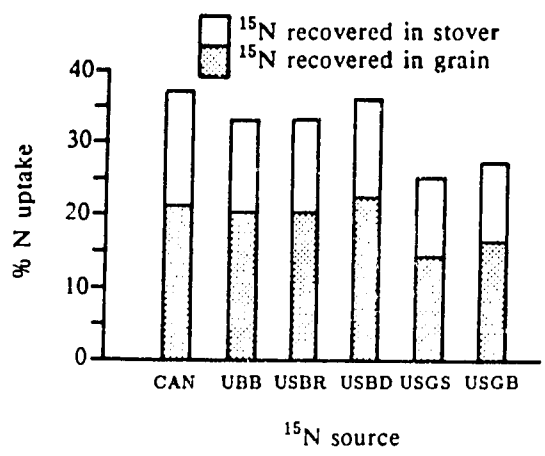


Figure 8. Plant ^{15}N uptake, Niger 1982. Symbols: CAN = CAN basal broadcast; UBB = urea basal broadcast; USBR = urea split broadcast; USBD = urea split band; USGS = urea supergranule split; USGB = USG basal.

had as a major goal to investigated means of improving fertilizer use and fertilizer efficiency in order to increase crop production in Niger.

More specifically, the objectives of the phosphorus research program were:

1. To assess the extent of phosphorus deficiency in different agro-ecological zones of Niger by evaluating the response of crops to P fertilizers.

2. To evaluate the potential of indigenous Parc-W and Tahoua phosphate rocks for direct application or production of phosphate fertilizers at minimum cost.

3. To develop management practices for a more efficient utilization of phosphorus fertilizers.

The phosphate fertilizers evaluated are Parc-W Tahoua PR, Parc-W and Tahoua PAPR acidulated at 25%, 40% and 50% (PAPR 25, PAPR40 and PAPR50, respectively), SSP and triple superphosphate (TSP).

Long term crop residue management trials were also undertaken to evaluate the long term effect of crop residue application with or without fertilizers.

In terms of management practices to improve phosphorus use efficiency, different methods of P application were evaluated: broadcast and incorporated, broadcast and unincorporated, banded, hill-placed, broadcast and ridges.

B. Nitrogen

The primary objective of the nitrogen program was to assess fertilizer source and management factors that could realistically be used by the farmer to increase food production in Niger. The more specific goals were as follows:

1. To assess the performance of commonly available N sources, such as calcium ammonium nitrate (CAN), urea (U), ammonium nitrate (AN) and ammonium sulfate (AS), under different management systems.

2. To assess the value of different methods of N application such as point-placed, banded and broadcasting.

3. To construct ^{15}N balances in order to determine the N-fertilizer uptake and losses that occur with different N sources under different management systems.

4. To determine the effect of various soil and agro-climatic factors on the performance of N fertilizers.

C. Sulfur

In previous years SSP-containing sulfur gave better performance than TSP (sulfur-free fertilizer) at different locations in Niger.

Since 1985 studies have investigated the recovery and fate of sulfur in Niger crops and soils. More specifically, the objectives are:

Table 1. Selected Chemical and Physical Properties of Soils of Niger.

Soil Characteristics	Sadoré	Gobery
Soil classification USDA	Alfisol	Alfisol
Organic matter, %	0.29	0.30
Total nitrogen, %	0.02	0.02
Soil pH (water 1:1)	5.6	5.2
Available P (Bray P-1)	3.4	2.6
CEC (meq/100 g)	1	1
Base saturation, %	60	55
Sand, %	92	95
Clay, %	6	2

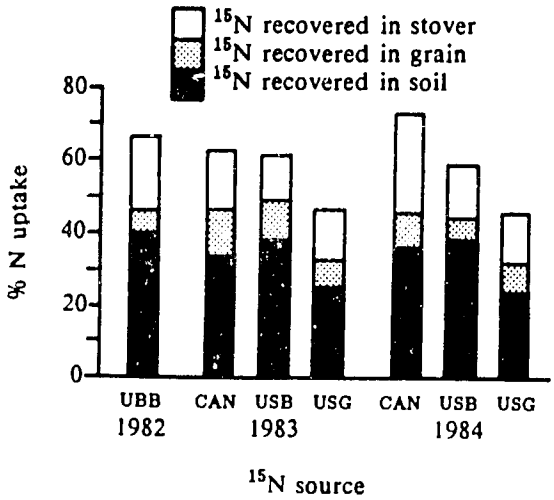


Figure 9. ^{15}N balances in Niger--1982, 1983 and 1984. Symbols: UBB = urea basal broadcast; USG = urea supergranule split; USB = urea split band; CAN = CAN split band.

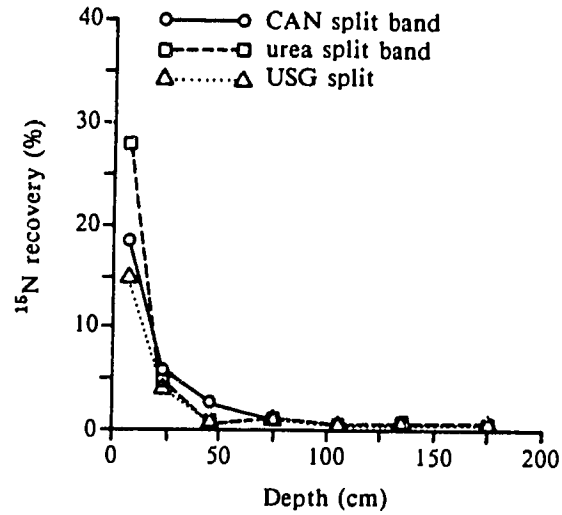


Figure 10. Recovery of ^{15}N from soil (Niger, 1983).

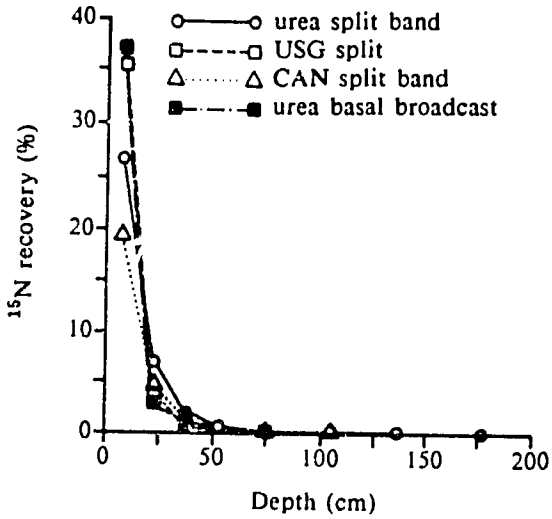


Figure 11. Recovery of ^{15}N from soil (Niger, 1984).

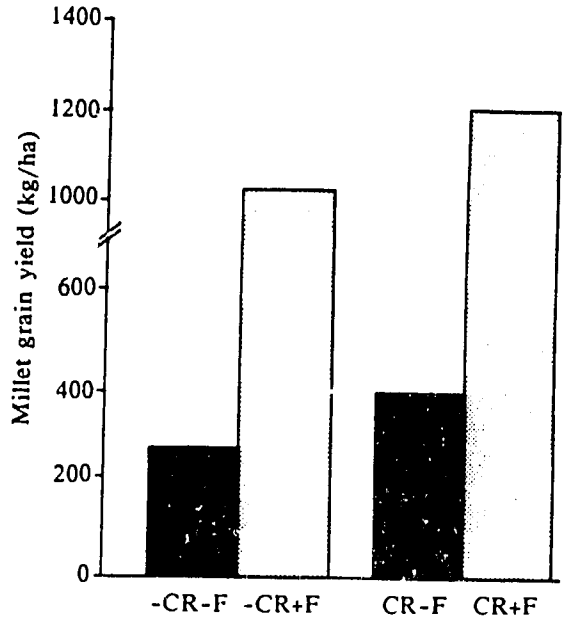


Figure 12. Effect of crop residue and fertilizer addition on millet grain yield (Sadoré, Niger, 1983.) Symbols: +CR = crop residue; -CR = no crop residue; +F = fertilizer; -F = no fertilizer.

1. Estimation of the relative efficiencies of gypsum and elemental sulfur for millet using isotope ^{35}S-labeled fertilizers.

2. Estimation of the recovery from the two sources.

3. Determination of the fate of unrecovered S from both sources from the soil profile and below-ground plant residues.

Prillet S-urea melt was also introduced in the studies but was not labelled.

Results and Discussions

A. Soils

Table 1 gives selected chemical and physical properties of two respresentative types of soils. It may be noted that these soils are very low in available nutrients. The high sand content and low organic matter result in a low phosphate fixation capacity in the surface later (Fig. 1). Therefore, low amounts of added P can result in a high level of soil solution P and application of 15, 30 and 60 kg P_2O_5/ha will result in a soil solution P level of 0.026, 0.085 and 0.25 ppm P, respectively.

B. Phosphorus

A strong response to P has been noted (Fig. 2, 3, 4, and 5). There was a significant response to both P sources and rates at on-station and off-station researcher managed trials. It is important to note from these figures that if PR perform poorly, PAPR40 or PAPR50

Table 2. Chemical Analysis of Partially Acidulated Parc-W Phosphate Rock, Wt. %.

Level of Acidulation[a]	Type of Material	Total P_2O_5	WS[b] P_2O_5	CS[c] P_2O_5
25	Granular[d]	23.8	5.4	2.8
40	ROP[e]	21.6	9.2	2.1
50	Granular[d]	20.2	9.9	1.9

[a] Indicates percentage of sulfuric acid required to produce SSP.
[b] WS = water soluble.
[c] Soluble in neutral ammonium citrate solution.
[d] Analysis reported on minus [illegible] plus 14-mesh (Tyler).
[e] ROP indicates semigranular, run-of-pile material.

Table 3. Economic Evaluation of P Fertilizer Sources, Gobery 1983.

	PA50	SSP
Prices of fertilizer (FCFA/kg P_2O_5)[a]	177	222
Prices of millet (FCFA/kg)	100	100
P rate (kg P_2O_5/ha)	30	30
Yield increment (kg/ha)	597	616
Gross benefit (FCFA/ha)	59,700	61,600
Cost of fertilizer applied (FCFA/ha)	5,310	6,600
Net benefit (FCFA/ha)	54,390	54,940
Benefit:cost ratio	11.2	9.2

[a] The cost of PA50 P_2O_5 is assumed to be 20% less than list of SSP P_2O_5.

50 seems to be almost as good as imported commerical fertilizers (TSP or SSP). Table 2 gives some chemical analysis of PARC-W PAPR.

Tables 3 and 4 give results of economic evaluation at Gobery, in 1983 and 1984. Results suggest that the net economic benefits of PA40 or PA50 are not significantly different from those of SSP. It can be concluded that PA40 and PA50 could be economically competitive sources of P for agriculture in Niger.

C. Nitrogen

Millet response to N is not as dramatic as to P and is not observed everywhere. Figures 6 and 7 show that calcium ammonium nitrate (CAN) is better than urea (U), and urea supergranule (UG, the latest method of N application) was the worst in all the trials.

Figure 8 gives plant ^{15}N-uptake at Sadoré, in 1982. It can be concluded that there is little difference among treatments. Although CAN and U tended to outperform the US treatments as observed from the grain yield. In 1982, total N-uptake ranged from 37% to 26%; and grain uptake ranged from 21% to 14%.

In 1982, with urea basal broadcast it was found that 40% of the applied nitrogen remained in the soil most of it in the surface (Fig. 9). Nitrogen losses were generally high and ranged from 37% for CAN to 53% for US-point-placed.

From Figures 10 and 11, it can be concluded that for all sources, nitrogen applied to the soil remains mainly near the soil surface.

D. Long term crop residue management.

This trial was started in 1983. Since the first year, addition of 4 t/ha of millet straw significantly increased millet yield (Fig. 12). It was expected that the straw would result in lowered yield due to immobilization of soil nutrients, particularly nitrogen. For 1985, plots receiving straw gave as good yield as fertilizer application (data not reported).

Collaborative research within TROPSOIL project will try to understand this important observation about the effect of crop residue.

Summary and conclusion

Research was conducted at the research station and in farmers' fields under the management of the researcher in different agro-ecological zones of Niger, to study the agronomic effectiveness of phosphorus fertilizer sources. Phosphorous application resulted in a significant increase in grain yield of millet, indicating that soils were P-deficient at all sites.

Partial acidulation of phosphorus rock greatly improved the initial agronomic effectiveness. It was observed that PAPR40 and PAPR50 made from the Niger Parc-W phosphate rock were, in general, as good as the imported commercial superphosphates.

Economic evaluation showed that, at subsidized prices, PAPR40 and PAPR50 were found to be as profitable as SSP. These results indicate that PAPR40 and PAPR50 could be economically competitive sources of P if

Table 4. Economic Evaluation of P Fertilizer Sources, Gobery 1984.

	PR	PA40	SSP
Prices of fertilizer (FCFA/kg P_2O_5)[a]	55	166	222
Prices of millet (FCFA/kg)	100	100	100
P rate (kg P_2O_5/ha)	30	30	30
Yield increment (kg/ha)	153	359	374
Gross benefit (FCFA/ha)	15 300	35,200	37,400
Cost of fertilizers applied (FCFA/ha)	650	4,980	6,660
Net benefit (FCFA/ha)	13,650	30,220	30,740
Benefit:cost ratio	9.27	7.1	5.62

[a] The cost of P_2O_5 supplied by PR and PA40 is assumed to be 75% and 25% less, respectively, than the cost of SSP P_2O_5.

supplied at a price equal to about 80% and 75% of the price of SSP, respectively. It is gratifying to report here that the government of Niger have begun to consider the technology of partial acidulation as a basis for local P industry.

Nitrogen response in millet has varied from year to year and seems to be related to moisture. Using stable isotope ^{15}N-labelled fertilizers, it was found that high losses occurred from all sources, and were affected by both time and method of application (37% losses for CAN and 53% for urea supergranule). CAN has tended to perform better than urea. Urea supergranule has been the less effective.

Future work will be aimed at determining these loss mechanisms and developing a technology to prevent them.

Studies have indicated that the practice of leaving crop residue on the soil surface, gave a significant yield increase comparable to fertilizer and future work must put more importance to this important finding.

References

Acquaye, D.K., and J.W. Oteng. 1972. Factors Influencing Status of Phosphorus in Surface Soils of Ghana. Ghana J. Agric. Sci. 5: 228.

Agboola, A.A., and B.D.F. Oko. 1976. An Attempt to Evaluate Plant Available P in Western Nigeria Soil Under Shifting Cultivation. Agron. J. 69: 798-801.

Ashby, D.L., W.E. Fenster, and O.J. Attoe. 1966. Effect of Partial Acidulation and Elemental Sulfur on Availability of Phosphorus in Rock Phosphate. Agron. J. 58: 621-625.

Bache, Y., and R.G. Heathcote. 1969. Long Term Effects of Fertilizers and Manure on Soil and Leaves Cotton in Nigeria. Exp. Agri. 5: 241-247.

Bationo, A. 1982. Utilisation des Isothermes d'Adsorption du Phosphore Pour Evaluer le Besoin en Phosphore du Maïs (*Zea mays* L.) du Niébé (*Vigna unguiculata* L.) et du Soja (*Glycine max.* L.) sur Quelques types de sols et dans Différentes Zones Ecologiques de l'Afrique de l'Ouest. Université Laval. Thèse de Doctorat.

Bouyer, S. 1970. Note Relative aux Essais Effectués par l'IRAT sur l'Utilization du Phosphate du Togo en Agriculture. DOC. IRAT Rome, 25 p.

Braud, M. 1970. Sulfur Fertilization of Cotton in Tropical Africa. Sulfur Inst. J. 5: 3-5.

Chabalier, P.F. and J. Pichot. 1978. Nitrogen Fertilizer Utilization in a Two Year Rotation of Rice-Maize. Cotton in Central Ivory Coast. In Rice in Africa. I.W. Buddenhazen and G.J. Persley, eds. Academic Press, pp. 303-306.

Chabalier, P.F. and J. Pichot. 1978. Utilization of Fertilizer Nitrogen by Maize Crops in the Ivory Coast. In Isotopes and Radiation in Research on Soil-plant Relationships. IAEA. Vienna, Austria, pp. 33-47.

Chien, S.H., and L.L. Hammond. 1978. A Comparison of Various Laboratory Methods for Predicting the Agronomic Potential of Phosphate Rock for Direct Application. Soil Sc. Soc. Am. J. 42: 935-939.

Coulter, J.K. 1970. Soils of Central Africa. A Review of Investigations on Their Fertility and Management. Rothamstad Experimental Station, Harpenden, Herts., United Kingdom.

Enwezor, W.O. 1976. Sulfur Deficiency in Soils of Southeastern Nigeria. Geoderma 15: 401-411.

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). 1982. Review of Fertilizer Trial and Demonstration Results. Africa. Land and Water Division. W/N 5420.

Fox, R.L., B.T. King, and D. Nangju. 1977. Sulfur Requirements of Cowpea and Implications for Production in the Tropics. Agron. J. 69: 201-205.

Ganry, F., J. Bidean, and J. Nocoli. 1973. The Effect of Nitrogenous Fertilizers and Organic Materials on Yield and Nutritional Value of Souna III Millet. Technical Report. Institute for Agricultural Tropical Research in Senegal (Bambey-Senegal).

Ganry, F., G. Guiraud, and Y. Domergues. 1978. Effect of Straw Incorporation on the Yield and Nitrogen Balance in the Sandy Soil-Pearl Millet Cropping System of Senegal. Plant Soil 50: 647-662.

Gigou, J. and J. Dubermard. 1979. Study of the Fate of Fertilizer Nitrogen on Soil Plant Relationships. International Atomic Energy Agency.

Goldsworth, P.R. 1967. Response of Cereals to Fertilizers in Northern Nigeria. I. Sorghum. Expl. Agric. 3: 29-40.

Greenwood, M. 1951. Fertilizer Trials With Groundnuts in Northern Nigeria. Emp. J. Agric. 19: 225-241.

Hauck, F.W. 1966. Fertilizer Needs and Effectiveness With Tropical Crops in West Africa. FFHC Bulletin. FAO, Rome.

Jenny, F. 1973. Expérimentation Agronomique sur les Phosphates Naturels de Tilemsi (Mali) en Conditions de Culture Sèche. Agron. Trop. 28: 1070-1078.

Jones, M.J. 1973. A Review of the Use of Rock Phosphate as Fertilizer in Francophone West Africa. Samaru Misc. Paper 43, I.A.R., P.M.B. 1044. Zaria, Nigeria.

Jones, M.J., and A. Wild. 1975. Soils of the West African Savanna. Comm. Agric. Bureaux Technical Commun. No. 55.

Juo, A.S.R., and R. L. Fox. 1977. Phosphate Sorption Characteristics of Some Benchmark Soils of West African. Soil Sci. 124: 370-376.

Juo, A.S.R., and B.T. Kang. 1978. Availability and Transformation of Rock Phosphates in Three Forest Soils From Nigeria. Comm. Soils Plant Analysis 9(6): 495-505.

Kang, B.T., E. Okoro, D. Acquaye, and O.A. Osiname. 1981. Sulfur Status of Some Nigerian Soils From the Savanna and Forest Zones. Soil Sci. 132(3): 220-227.

Kang, B.T., and O.A. Osiname. 1976. Sulfur Response of Maize in Western Nigeria. Agron. J. 68: 333-336.

Kang, B.T., and O.A. Osiname. 1979. Phosphorus Response of Maize Grown on Alfisols of Southern Nigeria. Agron. J. 71: 873-877.

Kawasawneh, F.E., and E.C. Doll. 1978. The Use of Phosphate Rock for Direct Application to Soils. Adv. Agron. 30: 159-206.

Lehr, J.R., and G. H. McClellan. 1972. A Revised Laboratory Reactivity Scale for Evaluating Phosphate Rocks for Direct Application. Bulletin Y43. Tennessee Valley Authority. Muscle Shoals, Alabama, U.S.A.

Lutz, J.A., Jr. 1971. Comparison of Partially Acidulated Rock Phosphate and Concentrated Superphosphate as Sources of Phosporus for Corn. Agron. J. 63: 919-922.

McIntire, J. 1983. ICRISAT Annual Report, 1982. p. 367-368.

McLean, E.O., and B.S. Balam. 1967. Partially Acidulated Rock Phosphate as a Source of Phosphorus to Plants: III. Uptake by Corn From Soils of Different Calcium Status. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 31: 811-814.

McLean, E.O. and T.J. Logan. 1970. Source of Phosphorus for Plant Growth in Soil of Differing Phosphorus Fixation Tendencies. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 34: 907-911.

McLean, E.O., and R.W. Wheeler. 1964. Partially Acidulated Rock Phosphate as a Source of Phosphorus to Plants. I. Growth Chamber Studies. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 28: 545-550.

McLean, E.O., R.W. Wheeler, and J.D. Watson. 1965. Partially Acidulated Phosphate as a Source of Phosphorus to Plants: II. Growth Chamber and Field Corn Studies. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 29: 626-628.

Milne, M.K. 1968. Annotated Bibliographies on Soil Fertility in West Africa. Common W. Bur. Soils. Harpenden, England.

Misra, U.K., and N. Panda. 1969. Evaluation of Partially Acidulated Rock Phosphate in a Lateritic Soil. Indian J. Agric. Sci. 39: 353-361.

Mokwunye, U. 1977. Phosphorus Fertilizers in Nigerian Savanna Soils. I. Use of Phosphorus Sorption Isotherms to Estimate the Phosphorus Requirement of Maize at Samaru. Trop. Agric. (Trinidad) 54: 265-271.

Mokwunye, U. 1979. Phosphorus Fertilizers in Nigerian Savanna Soils. II. Evaluations of Three Phosphate Sources Applied to Maize at Samaru. Trop. Agric. (Trinidad) 56: 65-68.

Mokwunye, A.U., and S.H. Chien. 1980. Reactions of Partially Acidulated Phosphate Rock With Soils From the Tropics. Soil Sci. Soc. Am. J. 44: 447-482.

Nabos, J., J. Charoy, and S. Pichot. 1974. Fertilization Phosphates des sols du Niger. Utilisation des Phosphates Naturels de Tahoua. Agron. Trop. 29: 1140-1150.

Nye, P.H., and D.J. Greenland. 1960. The Soil Under Shifting Cultivation. Common W. Bur. Soils Technical Comm. No. 51. Harpenden, England.

Osiname, O.A., and B.T. Kang. 1975. Response of Rice to Sulfur Application Under Upland Conditions. Comm. Soil Sc. Plant Anal. 6: 585-598.

Pichot, J., and P. Roche. 1972. Le Phosphore dans les Sols Tropicaux. Agron. Trop. 27: 939-965.

Terman, G.L., and S. E. Allen. 1967. Response of Corn to Phoshporus in Underacidulated Phosphate Rock—Superphosphate Fertilizers. J. Agric. Food Chem. 15: 354-358.

Terman, G.L., E.C. Moreno, and G. Osborn. 1964. Acidulation of Phosphate Rock in Soil. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 28: 104-107.

Thibout, M.F. 1974. Etude de la fumure minerale intensive des Céréales et du rôle specifique de la matière organique dans la fertilité des sols au Mali. Agron. Trop. 5: 567-586.

Truong, B., J. Pichoy, and P. Bennard. 1978. Caractérisation et comparaison des Phosphates Naturels Tricalciques d'Afrique de l'Ouest en vue de leur Utilisation Directe en Agriculture. Agron. Trop. 32: 136-145.

Watson, K.A. 1964. Fertilizers in Northern Nigeria: Current Utilisation and Recommendations for Their Use. Afr. Soils 9: 5-20.

TROPSOILS' Soil Physics and Water Conservation Research in Niger

Robert G. Chase
TropSoils

Abstract. TropSoils is a US/AID funded project consisting of a consortium of 4 universities with projects in Brazil, Indonesia, Niger and Peru. Texas A & M has researchers working on this project in College Station and Lubbock, Texas plus two located in Niger. The program goal is to devise improved techniques of soil management for the developing countries in the tropics through collaborative efforts with other research projects and institutions.

Research done to this date in Niger by this author has shown:

1. Barren, crusted, forest soils can be revegetated in a single rainy season by tillage plus mulching with tree branches. Simple tillage, without mulching results in fair biomass stands the first year but soil so treated regains its crust in later seasons. Mulching alone gives the poorest results the first year, but gains better results in succeeding years, finally approaching the level of the combination treatment in the third year. This is due to the capture and stabilization of wind blown sand, leaves and seeds, considerable termite activity and a decrease in surface soil temperatures, all of which elevate soil moisture under the mulch as compared with the control or tillage treatments without mulch (after the first year). The thin, sandy, easily erodable "A" horizon is the controlling factor in the gain or loss of vegetation in the Sahelian forests.

2. Crop growth variability over short distances causes crop loss to farmers and poor research results. Soil acidity, exchangeable aluminum and exchangable acidity are all highly correlated with poor millet growth but application of a certain combination of nutrients (N, P, S, Ca, and Mg) without lime gave a response in pot studies where liming alone did not. It appears that the "A" horizon of certain sandy soils become toxic and/or deficient and its removal or burial with either blowing sand or "B" horizon soil decreases the negative growth effects.

3. Sand, which when carried by the wind injures and buries young millet plants, can be stabilized by a tool developed in West Texas. Animal drawn prototypes have been built locally and used successfully in Niger. The latest model is fitted with removable planting tynes which make properly spaced holes for planting and fertilizer placement while stabilizing soil between rows, speeding up traditional planting.

4. The temperature of the soil at a depth of 50 cm in Sahelian agricultural fields is 5°C and 15°C warmer than the temperatures at the same depth in India and Texas, respectively, where crop plants are frequently selected for use in Africa. These differences in temperature can cause substantial differences in soil chemistry and plant physiology.

5. The degeneration of Sahelian forests is a process that may feed upon itself. Soils that become barren of vegetation exhibit higher rates of runoff, resulting in drier soils. Dry soils elevates soil and air temperature. In the forest soils studied, soil temperatures 2 cm below the surface were more than 20°C higher than those in the vegetated areas. Humidity differences between these areas during the rainy season were 10% or more during the days. Hot, dry air results in an additional evaporative loss from the remaining vegetation, removing what soil moisture exists at a higher rate, accentuating the negative effects of dry periods.

La Recherche de TROPSOIL sur la Physique des Sols et la Conservation de l'Eau au Niger

Résumé. TROPSOILS est un projet financé par l'USAID qui comprend un consortium de quatre universités avec des projets au Brésil, en Indonésie, au Niger et au Pérou. L'université du Texas A&M a des chercheurs qui travaillent à ce projet dans la station de l'université à Lubbock, Texas, et deux autres chercheurs au Niger. L'objectif du projet est d'inventer des techniques améliorées pour la gestion des sols dans les pays tropicaux en voie de développement à travers la collaboration avec d'autres projets de recherche et d'autres institutions.

La recherche menée par l'auteur jusqu'à présent au Niger a montré que:

1) Les sols forestiers, croûtés et nus peuvent être revégétés en une seule saison pluvieuse en addition au mulching par des branches d'arbres. Le labour simple, sans mulch, donne une production moyenne de biomasse la première année, mais le sol redevient croûté à la fin de la saison. Le mulch seul donne des résultats médiocres la première année mais permet l'obtention de meilleurs résultats les années suivantes, s'approchant de ceux obtenus par la combinaison labour/mulch la troisième année. Ceci est dû à la capture et à la stabilisation des sables, des feuilles et des graines, une activité importante des termites et une baisse des températures à la surface des sols. Tous ces facteurs contribuent à l'augmentation de l'humidité dans le sol sous le mulch par rapport au témoin ou aux traitements labours sans mulch (après la première année). L'horizon "A", qui est mince, sableux, facilement érodable, est le facteur contrôlant le gain ou la perte de la végétation des forêts saheliennes.

2) La variabilité de la croissance végétale pendant de courtes périodes cause une perte de récolte à l'agriculteur et l'obtention de mauvais résultats de recherche. L'acidité du sol, l'aluminium échangeable, et l'acidité échangeable sont hautement corrélés avec la faible croissance du mil mais l'application de certaines combinaisons des éléments nutritifs (N, P, S, Ca et Mg) sans chaux a donné des réponses dans des études en pôts contrairement à la chaux seule. Il apparait que l'horizon "A" de certains sols sableux devient toxique et/ou carencé et son dégagement ou sa couverture par des sables emportés par le vent ou par l'horizon "B", diminue ses effets négatifs sur la croissance.

3) Les sables qui, emportés par le vent abiment et enterrent les jeunes plantes du mil, peuvent être stabilisés par un outil développé à l'Ouest du Texas. Des prototypes tirés par les animaux sont fabriqués et utilisés localement avec succès au Niger. Le dernier modèle est équipé de dents détachables qui creusent des trous équidistants pour semer et appliquer les engrais, en même temps que stabiliser le sol entre les sillons, ce qui permet d'accélérer le semis traditionnel.

4) La température du sol à 50 cm de profondeur dans les champs du Sahel est de 5° et 15°C plus élevée que la température des sols à la même profondeur en Inde et au Texas, respectivement, où les lignées des différentes cultures sont fréquemment sélectionnées pour l'utilisation en Afrique. Ces écarts thermiques peuvent entraîner de grandes différences dans la chimie du sol et la physiologie des plantes.

5) La dégénération des forêts saheliennes est un phénomène qui peut être auto-entretenu. Les sols qui deviennent nus ont un fort taux de missellement ce qui les rend plus secs. Les sols secs, à leur tour, favorisent l'augmentation de la température de l'air et du sol. Les sols étudiés dans ces forêts ont une température de 20°C plus élevée à une profondeur de 2 cm que la température des sols couverts de végétation. Les différences d'humidité entre ces régions pendant la période pluvieuse sont de plus de 10%. L'air sec et chaud entraîne une perte d'eau supplémentaire par évaporation, ce qui diminue d'autant plus l'existente humidité du sol et accentue les effets négatifs des périodes sèches sur la végétation.

The TropSoils Project is a soil management Collaborative Research Support Project (CRSP) funded by USAID. It has been active in Niger since 1981 and has had in-country scientists since 1983. At present there are two senior soil scientists and three graduate students in Niger. Related research is also being carried out in Texas A & M. For general information on the project see Appendix A.

In country research

This report is restricted to the research the author has been involved in to date in Niger. Only a few of the projects undertaken will be discussed here. The author's overall research activities are outlined in Appendix B.

I. Sources of crop variability. *Collaborators: International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics (ICRISAT), INRAN's Department de Recherches Ecologiques (DRE).*

Research results at the ICRISAT Sahelian Center (ICS) and elsewhere in the Sahel continue to suffer from high in-plot variability. Losses in crop yield in farmers' fields due to this factor are also substantial. As an example of this problem, yield differences in two adjacent plots in a field uniformly sown and fertilized are shown in Table 1.

The poorest areas comprise 4.7% of a 2 ha field studied at the ISC as compared with 9% of the area with substantially greater than average yields. There would undoubtedly be a considerable impact on total yield in farmers' fields if areas of intermediate yields also responded to amendments found useful in bringing poor areas into production.

Results to date

Research has shown that the poorest yielding soils have lower pH and higher exchangable acidity and aluminum than soils in higher yielding areas. Samples from a transect between good and poor yielding sites showed a regular decrease in both exchangeable acidity and exchangeable aluminum as the good site was approached (Fig. 1). Exchangeable aluminum was highly correlated to exchangeable acidity (Fig. 2). These factors were also found related to poor crop yield in a farmer's field (Table 2.).

In subsequent pot studies, however, these soil properties were shown not to be the most important limiting factors. These studies showed that an application of a combination of minerals (P,N,S,Ca and Mg) was required for 3-week millet plants grown in treated poor soil to surpass yields of those grown in untreated good soils. Lime was not required, although the phosphate applied does have the ability to rapidly remove Al from soil solution. No combination of fertilizers and lime was able to surpass growth in fertilized good soils. These results suggest that the poor soils are influenced by micronutrient deficiencies, soil microbiological problems and/or soil physical problems.

Research to date has also indicated how to counteract the problem. It appears that, contrary to most soils, it is the "A" horizon in the Labucheri soil series (Classified as a Psammentic Paleustalf: sandy, siliceous, isohyperthermic) which develops this growth-suppressing quality. Burial of the "A" horizon with soil from the "B" horizon or with sufficient depths of blowing sand appears to reduce or eliminate the negative effect on yield. Simple mulching of poor areas in fields with millet stalks may be sufficient to collect enough blowing sand to cover poor soils and restore crop growth. These hypotheses will be studied during the next year.

Table 1. Millet yields measured in two 7 m x 5.25 m plots separated by one meter in a research field uniformly planted and fertilized at the ICRISAT Sahelian Center in 1984, demonstrating high variability over short distances.

	Total hills	Hills surviving	Number heads	Head weight (kg/ha)	Grain weight (kg/ha)	Stalk weight (kg/ha)
Poor:	49	11	37	158	12	470
Good:	49	44	157	1302	1030	2340

Two TAMU graduate students are presently working on the cause and treatment of this problem, one in the laboratory at College Station, Texas and the other with pot and field studies here in Niger.

II. Soil Surface Stabilization. *Collaborators: ICRISAT, Wageningen Tillage Laboratory (WTL), Project Productivite (PP), International Livestock Center for Africa (ILCA), INRAN's Kolo farm.*

Sand blasting and burial of millet seedlings continue to limit successful plant establishment in the Sahel, forcing farmers to replant at later, less advantageous dates. The "sandfighter" is a tool that has been used successfully in West Texas to protect young cotton plants from similar damage. There, it stabilizes sandy soil by forming small but closely spaced holes and clods which decrease wind speed near the soil surface and entrap moving sand particles. In Texas, the tool must be drawn across the field by a tractor immediately after a rainfall to be effective. This procedure must be repeated after each rainfall until the crop is sufficiently large to suppress wind erosion by itself.

Results to date

The instrument was introduced to the Sahelian region in June 1983 for two reasons: (1) to see if the sandfighter can be used to stabilize the Sahelian soils and (2) to see if it can be adapted to animal traction, that is, if it can work effectively at lower speeds.

1. *The sandfighter in Africa.*

The tractor-drawn sandfighter was shown to be successful in stabilizing the sandy soils at the ICRISAT Sahelian Center and at INRAN's Kolo Station. The tool can cause crop damage if drawn over millet plants, therefore inter-row treatment must be used. It was also seen during a heavy 1983 rain that the sandfought fields have a higher infiltration rate than a field that had not been sandfought after the previous rain. This may be due to several factors including:

a) The destruction of any surface crusts that may be formed from rainfall action on these sandy soil surfaces.

b) An increase in surface water storage due to holes made by the tool. In this experiment, the holes alone could hold nearly 7 mm of rainfall.

c) An increase in soil surface area caused by the roughened surface. In this experiment, surface area was increased 18% due to the holes and clods combined.

2. *Adaptation to animal traction.*

Prototype animal-drawn sandfighters have been designed and built locally and have been shown to work well at animal traction speeds. However, if the sandfighter is to be useful in protecting millet seedlings, it must be used at

Table 2. Soil chemical parameters in a farmer's field as a function of crop yield.

	pH (H_2O)	pH (KCl)	Exchangeable acidity	Exchangeable aluminum
Poor millet yield:				
Mean	5.06 a	3.99 a	0.423 b	0.170 b
Std. Err.	0.12	0.08	0.017	0.035
Coef. of Var.	3.97	3.42	7.22	35.8
Good millet yield:				
Mean	5.86 b	4.74 b	0.157 a	0.000 a
Std. Err.	0.10	0.14	0.003	—
Coef. of Var.	3.06	5.20	3.68	—

*Means followed by the same letter are not significantly different at the 99% level of confidence.

the same time as planting—as soon after a rainfall as possible. The direct competition for labor between planting and sandfighting at this critical period would preclude the use of the sandfighter at the time when it would do the most good in protecting germinating millet seedlings.

A new form of animal-drawn sandfighter has been developed with removable planting tynes. The tynes cut four rows of paired holes on each rotation, leaving a 1.3 m x 0.75 m plant spacing pattern. The paired holes are spaced about 10 cm apart for proper seed and fertilizer placement. While making the holes, the machine stabilizes the soil between the rows of paired holes. The planting tynes can later be removed to allow for additional sandfighting after plant emergence. This new sandfighter was used during the 1985 rainy season. Approximately one hectare was planted/sandfought and traction and speed tests were done by ILCA researchers. These tests indicate that this version of the sandfighter can stabilize one-half hectare per hour while eliminating the need for the local planting data. To make these same holes for seed and fertilizer would take a farmer several times longer using traditional techniques. The use of the sandfighter would help to relieve the costly labor bottleneck at this crucial time in the planting season.

More work must be done in developing the present model into a more effective, more useful and less expensive machine (commerical cost in Niamey is 70,000 CFA for the present prototype). AID/Niger's Project Productivite has a copy of the newest model and will be working on its manufacture and improvement.

III. Soil Temperature, Soil Moisture and Climate. *Collaborators: ICRISAT, Forest and Land Use Planning Project (FLUP).*

Results to date

1. *Agricultural soils.*

Climatological data (air temperature and humidity, wind speed and direction, rainfall and insolation) have been collected at the ICRISAT Sahelian Center on a two-hourly basis over a 22 month period ending 26 April, 1985. Four replications of three surface treatments were established under a millet crop on a Labucheri series soil at the ISC site: control, a reflective white surface and a black burned-rubber surface. This was done to permit a comparison of the effects of three different temperature regimes on millet growth and water balance. Within each plot, soil temperature profiles (surface, 2, 5, 10, 20, 50, 100 and 150 cm) were taken at two hour intervals from 10 July 1983 until the end of the cropping season and thereafter, daily maximum and minimum temperatures were recorded. Temperatures at two and three meter depths were taken periodically. Soil moisture profiles to three meters depth were taken regularly throughout the year using the neutron probe.

Preliminary review of the data shows that the soil temperatures at the three meter depth remained around 31°C all year. Soil temperatures to 150 cm were significantly influeced by both surface treatments (Fig. 3). Temperature fluctuations at the soil surface and at 50 cm depth over a 28 hour period during the rainy season are shown in Fig. 4. In addition, soil moisture profiles to 3 m show continued drying of the entire profile throughout the dry season (Fig. 5).

This study has shown that, during the cropping season, the soil at 50 cm depth is about 15°C and 5°C warmer than soil at like depth in Texas and India respectively, both of which are important areas for breeding millet and sorghum varieties for use in the Sahel.

2. *Forest soils.*

In the Guesselbodi forest, soil temperature profiles have been taken at 2, 5, 10, 25, 50, 100, 200 and 250 cm depths within a vegetated area, in a crusted zone, and in a crusted zone mulched with branches. Here, also, soil moisture movement was monitored by neutron attentuation techniques.

Although these data are still being analyzed, soil temperature profiles at the time of maximum and minimum surface soil temperature show that, even before the rainy season began and little live vegetation existed in the wooded area, the effect of the trees was substantial (Figure 6). During the rainy season, temperature differences between vegetated and barren areas approached 20°C (Fig. 7). As seen in this figure, the effect of the vegetation on stabilizing the climatic environment is also pronounced.

The degeneration of Sahelian forests is a

process that may feed upon itself. Soils that become barren of vegetation exhibit higher rates of runoff, and become drier. As seen here, dry soils elevate soil (and air) temperature. Humidity differences between vegetated and barren areas during the rainy season reached 10% or more during the day. Hot, drier air from the enlarging barren areas results in an additional evaporated loss from the remaining vegetation, increasing the rate of removal of what soil moisture exists and accelerating the rate of death of trees and other plants during dry periods.

In another experiment, discussed below, mulching barren forest soil surfaces had a positive effect on soil moisture. This is partly due to a decrease in soil temperature. This effect was demonstrated in an experiment where the soil temperature at a depth of 2 cm was recorded for a month before and after a branch mulch was placed on the soil's crusted surface. The experimental soil was usually around 5°C colder than the crusted control soil before mulching, this difference being due to partial shading of the first site during the morning. Once mulched, temperature fluctuations in the mulched soil decreased and differences in soil temperature when compared with the control increased to 12°C within a few days (Fig. 8).

IV. Rejuvenation of barren, crusted forest soil. *Collaborators: ICRISAT, INRAN's DRE, FLUP, Dr. Eric Boudouresque, Botanist, formerly with the University of Niamey (U of N).*

1. *Forestry.*

The drought experienced in 1984 (240-260 mm rainfall in the vicinity of Niamey) after the wetter 1983 season (approximately 540 mm) provided an ideally contrasting environment to evaluate the effects of the drought on reforestation experiments started in 1983 at the Guesselbodi Forest near Niamey.

Twenty parcels were established in May, 1983 (10 protected from and 10 exposed to grazing) and were not re-treated in 1984. Six additional parcels were prepared in 1984, equally divided between the protected and grazed areas. In both years, neither fertilizers nor seeds of any kind were used. The four treatments imposed on this shallow, crusted, barren forest soil (classified as a *typic paleustult*, sandy-skeletal siliceous isohyperthermic) were:

a. Control (unaltered: crusted, barren);
b. Mulch only (with tree branches);
c. Hand tillage only (to 10-15 cm depth);
d. Combination of tillage and mulch.

Soil moisture to 30 cm was determined at approximately 20-day intervals throughout the 1984 rainy season in all plots. Surveys of plant species and biomass produced in the plots and along fixed transects across the natural forest areas were made at the end of each rainy season.

Results to date

Biomass yield: The pronounced decrease in biomass production found in the first-season plots established in 1984 as compared with the biomass of the first-season plots from the previous year is testimony to the severity of the drought and the decrease in windy storms in 1984 (Table 3). Storms are important because they blow sand, leaves, and seeds in to the plots. The branch mulch stabilizes these windblown materials. These materials appear to be the controlling factor in providing an environment conducive to vegetal establishment.

Biomass stands in adjacent vegetated areas are a reasonsable standard of comparison for evaluating treatment performance each year. The combined-treatment plots established in 1983 performed well in that year compared wtih naturally vegetated areas. These same plots appear to have done better in 1984 than in 1983 when compared with the natural vegetation (Table 3).

The mulch-only plot, the poorest of the three treatments in 1983, improved considerably with respect to native vegetation in 1984. The fact that mulched plots continue to improve with time may be due to a combination of factors including the stabilized sand and leaf much held within the plots, termite activity, decreased soil surface temperatures as discussed above and protection from rain impact, all of which were related to mulching with branches.

In the 1983 season, tillage-only was the second best treatment. Its residual effect was greatly diminished in the 1984 season due to several factors including a reformation of the

surface crust and a loss of much of the debris that had collected in the vegetation from the previous year. This loss of debris resulted in an increase in surface soil temperatures.

Soil moisture: Soil moisture in plots newly established in 1984 showed the same pattern as was found in 1983: tillage in newly treated plots was the most effective treatment for increasing surface soil moisture (Fig. 9). In the second season, however, mulching had the greater effect in increasing soil moisture as the tilled soils crusted over and the mulched soils continued to collect debris and attract termintes (Fig. 10).

Although this year's results are still being analyzed, it appears that the trend of decreasing productivity in the tilled soils and increasing productivity in the mulched soils was continued in the 1985 season. One can conclude that the energy-consuming practice of tillage is not as effective in the regeneration of degraded, barren forest soils as simple mulching with tree branches, a waste product of commercial firewood harvesting.

In addition, these studies have shown that the contraction or expansion of this fragile forest ecoystem is highly dependent on the loss or recapture of a thin, easily eroded "A" horizon of sandy soil overlying the easily crusted, shallow, heavier-textured "B" horizon. The proper management of this sandy layer must be central to any forestry work in this type of environment.

This experiment will be followed for at least two more years and supplemented with others (Appendix B) in order to help the FLUP Project prepare a comprehensive management implementation plan for Sahelian forests.

2. *Agroforestry.*

The forests are central to the survival of the farmers and herders alike. The FLUP project is actively studying several practical methods to rejuvenate degraded forest areas. One method, begun this year, is the use of crop production as an incentive to farmers to participate in soil and water management techniques as well as to provide a source of organic matter to further protect and upgrade the soils. (This year, millet, sorghum, groundnut, cowpea, and safflower have been grown for demonstration.) In another collaborative effort, the surface of one of the poorest, most barren soils available in the Guesselbodi forest (70% rocks by weight) was modified using contoured rock and soil walls plus water-harvesting holes in which millet and sorghum were planted. Both of these methods have been used in traditional agriculture in Africa. Due to a delay in fertilizer application, the harvest was poor this year, but forage was produced at this site for the first time in many years. Other studies carried out at the same forest by the FLUP project have shown conclusively that crops can be profitably grown in areas that are degraded and otherwise ignored by farmers (Juan Seve, personal communication).

V. Soil Water Relations. *Collaborators: ICRISAT, INRAN's DRE.*

Under the TropSoils grant, J. Landeck completed his M.S. thesis studying the relative

Table 3. Estimated biomass yields (kg/ha) from parcels established in 1983 (20 plots) and in 1984 (6 parcels).

Treatments	Newly established plots						Second season plots		
	1983 season			1984 season			1983 plots in 1984 season		
	Mean	SE	CV	Mean	SE	CV	Mean	SE	CV
Control	0 a	-	-	0 a	-	-	0 a	-	-
Mulched	214 b	63	131	45 b	45	245	152 b	42	125
Tilled	440 c	112	114	96 b	91	231	32 a	12	159
Combination	961 c	141	65	78 b	28	89	307 c	56	82
Natural vegetated areas	890	na	na	195 c	31	72	195	31	72

*Means followed by the same letter are not significantly different at the 95% level of confidence.

water relations in four of the five soil series found at the ISC (Texas A and M University, Department of Soil and Crop Sciences, August 1984). In a follow-up demonstration trial, three of the four plots were again planted in millet and fertilized (drilled). All received 100 kg urea/ha in a split application. Phosphorus was applied at three rates: 0, 100 and 200 kg SSP/ha. The results are shown in Table 4.

The great differences in the response to fertilizer shown in Table 4 emphasize the importance of routine soil analyses for agricultural recommendations which are not yet available to farmers in Niger. Because these soil chemical differences are not immediately evident from the soil's surface, careful characterization is also recommended for selection of research sites.

Future Research Goals

There are many areas of research in Niger and the Sahel which require the attention of soil physicists. These include, but are not limited to:

1. Associating all agricultural, agroforestry and forestry work, past present and future, with the chemical and physical properties of the soils involved. Without such data all research is site-specific. Following the provisions of an agreement being drawn up presently between TropSoils and SAFGRAD, multi-locational research will be done on well defined soil types, permitting subsequent tests of transferability onto similar soiis.

2. Studying practical means of water harvesting and supplemental irrigation. While work with irrigated crops is outside the mandate of TropSoils, supplemental irrigation is not. This method of crop support holds much promise in improving crop stands and crop yields. In a collaborative agreement being drawn up between CARE, FLUP and TropSoils, water running off the degraded forested and rocky soils above the Maggia Valley will be directed onto land that cannot at present be used. This land will be contoured to redistribute and retain this water for infiltration and subsequent use by a millet crop. These methods can aiso be used on presently cropped lands to increase crop yield, particularly in dry years.

3. Regeneration or degraded lands. Study of soil regneration techniques, as is at present being carried out by FLUP, CARE, TropSoils and others, must continue. Practical means must be found that will be simple, effective and attractive to farmers. Some methods already exist, as discussed in this paper, and others are being developed rapidly. Evaluation of alternative methods of land reclamation and their long-term effects on the ecosystem is needed to properly extend this information.

4. Find inexpensive ways to upgrade croplands. The TropSoils work on variabilty to date and work done on the effects of mulching by IFDC at ICRISAT indicate that there are synergistic relationships between millet stalk mulch, fertilizer and the soil environment which may become far more attractive once they are better understood and quantified. Plans are presently being drawn up between TropSoils and IFDC for a collaborative experiment on this subject to be carried out at ICRISAT.

Table 4. Millet head weights (kg/ha) as a function of soil type and phosphorus fertilizer application.

Phosphorous Fertilizer Application (kg SSP/ha)	Soil Series			
	Labucheri	Zogoti	Dayobou	Tondi
0	149 a	64 a	204 a	23 a
100	298 b	195 b	511 b	255 b
200	282 b	301 c	490 b	271 b
Std. Err.	26.0	31.8	45.4	48.0
Coef. of Var.	41.4	58.9	43.7	78.5

*Values in each column followed by the same letter are not significantly different at the 95% level of confidence.

Appendix A: Project Background

TropSoils is a collaborative research program whose goal is to develop improved soil management technology for the developing countries of the tropics. It is carried out under USAID funding by a consortium of U.S. Universities in four different countries of the tropics. These are:

Cornell University
—Brazil (acid savannas)

North Carolina State Univ.
—Peru (humid tropics)

Texas A & M University
—Niger (semi-arid tropics)

University of Hawaii
—Indonesia (humid tropics)

The project was initiated in 1981 as a 5 year contract, regularly renewable with no set ending date.

In Niger, as with the other TropSoils countries, collaborative agreements are made with national and international institutions. These agreements serve to position TropSoils scientists in the midst of the most active research in each country or region, permitting a more efficient use of the modest in-country funding available to this project. In return, the TropSoils scientist adds the important soil related aspect of research to existing agricultural and soil/water conservation research. The soils and their properties are the common denominators for any agricultural and soil/water conservation study and provide the most accurate basis for informed transfer of learned technology from the area of research to other areas.

The TropSoils scientists located here are "backstopped" by Texas A & M University (TAMU). Backstopping consists of locating, purchasing and shipping needed equipment, parts, books, references, etc. In addition, on-campus faculty members lend their expertise to particular problems by making short on-site visits or by working on related problems in the laboratory on the TAMU campus.

As part of the graduate faculty, in-country TropSoils scientists have graduate students who do their thesis research as a part of the TropSoils in-country effort. These include TropSoils-funded national scientists going to the associated University for advanced degrees. These students provide additional support to the project, additional information to our scientific knowledge and an increasing cadre of national and international researchers available to work on the serious soil-related problems in the tropics.

Texas A & M University has placed two senior soil scientists in Niger, this author and Dr. Naraine Persaud. While I fulfill an agreement between TropSoils and ICRISAT, Dr. Persaud fulfills an agreement between TropSoils and INRAN. This does not limit our association to these institutions, however, and we each profit from collaborative work with the other's institution, and with many other projects and institutions throughout the country and the region.

Our research work is restricted to the soil physical aspects of dry land agriculture and soil/water conservation. Within these broad guidelines, individual projects are flexible. The complete list of individual research projects to be carried out both in-country and on campus consists of 50 titles.

Appendix B: Proposed soil physics research projects.

Project and Experiment		Collaborating Institutions	Duration
12. Spatial Variability			
12201	Causes of variability of agricultural soils in the Sahel.	ICRISAT/INRAN	1983-1988
12202	Precision field plot variability.	ICRISAT	1984-1985
12203	Soil physical and chemical properties within and outside vegetated areas in the Gusselbodi forest.	FLUP/INRAN/ICRISAT	1984-1986
12204	Optimum distance between samples for various soils parameters in a Labucheri soil.	ICRISAT/INRAN	1984-1985
13. Water and Energy Balance			
13101	Soil temperature regimes and modification.	ICRISAT/FLUP	1983-1985
13201	Water and energy balance of a Nigerien agricultural soil.	ICRISAT	1983-1985
13401	The water and energy balance within a "Tiger-Bush" forest and its relationship with adjacent barren soil.	ICRISAT/FLUP	1986-1989
13402	The infiltration rates of crusted, naturally vegetated and modified forest soils in the Guesselbodi forest.	ICRISAT/U of N WTL/INRAN	1985-1986
13403	Relative water utilization of scrub vegetation of the Sahel and its evaluation as dryland windbreak material.	ICRISAT	1987-1989
14. Soil Mapping and Classification			
14301	Impact of dust on properties of soils.	ICRISAT/INRAN/TAMU	1985-1989
21. Soil Surface, Profile Modifications			
21101	Evaluation of the effectiveness of a sand INRAN (Kolo) fighter in crop establishment and weed control.	ICRISAT/ILCA/WTL	1988-1989
21102	Evaluation of the effectiveness of a sand-fighter in enhancing water distribution and infiltration.	ICRISAT	1986-1989
21103	Modification of the sandfighter to meet the needs of the Sahelian farmer.	ICRISAT/Proj Productivité	1983-1986
21301	Rejuvenation of crusted soils in "Tiger-Bush" areas of Niger.	FLUP/ICRISAT/U of N	1983-1989
21302	Determination of the optimum density of mulch in rejuvenation efforts in the Guesselbodi forest.	FLUP/ICRISAT/U of N	1985-1986
21303	Optimum plot size and location relative to clumps of vegetation for forest rejuvenation efforts.	FLUP/ICRISAT	1986-1988

21304	The effect of mulch and fertilizers on the survival of planted tree seedlings.	FLUP/ICRISAT	1985-1987
21401	Methods to reduce small scale soil related crop variability and yield loss.	ICRISAT	1985-1989
22. Microclimate Modification			
22302	Evaluation of the effects of a dryland shrub windbreak on microclimate, soil moisture balance and crop growth.	ICRISAT	1987-1989
23. Fertility/Water Interactions			
23101	Millet root distribution and water use as a function of phosphorus rate and placement.	I.F.D.C.	1984-1985

Discussion (Session IV)

Question (pour Chase, par Chetima)

Concernant l'utilisation des "sandfighters" sur des sols sableux, je me demande si elle n'a pas tendance à favoriser des pertes d'eau par percolation profonde, donc au-delà des profondeurs utiles de sol exploitées par les racines des plantes à un certain stade donné de leur croissance? Si oui, avez-vous envisagé une étude de ces machines dans des cas de zones où les pluies sont peu fréquentes. Car, dans de telles conditions, je suppose que les "sandfighters" créent une situation difficile l'évolution normale des plantules.

Réponse

Les sandfighters déplacent une quantité relativement faible de sol, et les trous qu'ils creusent ne font pas plus de 5 cm de profondeur. Ceci accroît l'évaporation (et l'infiltration) du sol, mais je doute que cela puisse avoir un impact sérieux sur le développement racinaire du millet ou du sorgho dont les racines poussent à une plus grande profondeur.

L'effet d'une infiltration croissante au point d'en arriver à une perte d'eau par drainage profond constitue rarement un problème dans les sols cultivés. Le problème qu'on rencontre souvent est plutôt celui du manque d'eau dans le profil dû à une perte d'eau par ruissellement. Les sandfighters peuvent s'avérer utiles dans la réduction du ruissellement.

Question (pour Chase, par Gonda)

Vous avez remarqué que le mil a accusé un meilleure rigueur de développement dans une zone où des échantillons de sol ont été prélevés, et que par la suite les trous créés ont été comblés par du sable. Cette vigueur de croissance n'était-elle pas due au fait que ces trous comblés de sable servaient d'endroit de réserve en eau et la faible compacité du sol dans le trou avait favorisé le développement racinaire; pour ainsi dire une meilleure exploitation du sol en profondeur?

Question (for Chase, by Chetima)

When we consider the use of sandfighters on sandy soils, I wonder if it doesn't lead to losses of water by deep percolating, therefore, putting the water beyond the depth of top soil used by plant roots at a given stage of plant growth. If the answer is yes, have you thought of using these machines in areas where it rains less frequently? In that case, I guess that sandfighters create a difficult situation for the normal evolution of seedling.

Response

The sandfighter moves a relatively small amount of soil and makes holes not deeper than 5 cm deep. This does increase the soil surface area to evaporation (and infiltration) but I doubt that it has serious impact on root development of millet or sorghum, whose roots grow much deeper.

The effect of increasing infiltration to the point of water loss by deep drainage is seldom a problem here in cropped soils. The usual problem is the lack of water in the profile due to loss by water runoff. The sandfighter may be useful in decreasing runoff.

Question (for Chase, by Gonda)

You have remarked that millet has shown more vigorous development in an area where samples of soil were taken and sand subsequently filled the holes that were left. Can't we say that these holes filled with sand served as areas of water reserve, and that the non-compact state of the soil in the hole favored root development? In other words, it allowed a better use of the soil depth.

Réponse

Ces sols ont un taux d'infiltration de 100+ mm/h. En 1985, contrairement a l'année 1983, quelques orages de beaucoup d'intensité, accompagnés de vent fort se sont produits. Je ne crois pas que le ruissellement ait deposé les sols pauvres sur les bonnes parties du champ. (En plus, on ne remarque aucun trou. Ce qui laisse croire que le sol emporté par ruissellement a été remplacé par le vent de sable.)

Question (pour Chase, par Gonda)

Nous avons assisté à une démonstration selon laquelle les sols jugés pauvres et délaissés par les paysans peuvent être encore utilisés. Mais comment envisagez-vous de vulgariser ces méthodes (utilisées à petite échelle) à grande échelle au niveau du paysan qui, lui, possède plusieurs hectares? (Car le "mulching" peut être une méthode à gros risque dans l'avenir constituant une menace de désertification.)

Réponse

L'incitation est un aspect très important en vulgarisation. Apporter du "mulch" sur les sols de forêt était perçu comme une recommandation faite par le gouvernement en échange contre la permission de couper du bois de chauffe. Une production elevée et un rendement garanti pendant les années les moins pluvieuses (grâce à la recolte de l'eau provenant des surfaces nues) doivent encourager les paysans à utiliser les "micro-catchments" sur les sols sujets à l'érosion. De toute façons le gros du travail, pour cela, est fait pendant la saison sèche.

Commentaire (par Andrews)

A propos du "captage en miniterrasse" dont a parlé le Dr. Chase: la pratique qui consiste à construire de petits barrages de terre ou de pierres dans les zones où le sol est dégradé et où il y a risque d'écoulement d'eau, est une très vieille pratique que l'on retrouve du proche-orient jusqu'à la vallée de l'Indus. Il s'agit donc d'une pratique qui a derrière elle un long passé de réussite.

Response

These soils have an infiltration rate of 100+ mm/hr. Unlike 1983, few storms in 1985 were high intensity with high winds. I doubt that water ran off the poor soil and into the good area. (In addition, no hole was left. The removed soil was completely replaced by blowing sands.)

Question (for Chase, by Gonda)

We attended a demonstration which showed that the poor soils abandoned by farmers can still be used. But can you tell us how you intend to promote on a large scale these methods (used on a small scale) to a farmer who owns several hectares? (Because mulching could be a very risky practice in the future, given the threat of desertification.)

Response

Incentives are a very important aspect of extension. Mulching of forest soils was seen to be a requirement of the government in trade for permission to cut wood commercially. High production and guaranteed yield during the driest years (due to water harvesting from barren surfaces) should encourage farmers to use microcatchments on presently eroding lands. Most of the labor for this is done in the dry part of the year, anyway.

Comment (by Andrews)

In reference to Dr. Chase's "mini-terrace catchments," the practice of building small soil or stone catchments in degraded soil, where runoff may occur, is a very ancient practice from the Near East right through to the Indus Valley. Therefore, it has a long history of success.

Question (for Chase, by van der Ploeg)

Avez-vous une idée de la quantité de sol capturée par ces paillages, et du temps que cela nécessite pour régénérer les zones forestières?

Réponse

La quantité de sol (essentiellement sableux dans sa texture) recueillie, soit sur des sols cultivés (avec des tiges de mil par exemple), soit en zone forestière en utilisant des branches d'arbres, est fonction de beaucoup de facteurs parmi lesquels la quantité de paillis utilisée, la fréquence et la vitesse des vents au cours des tempêtes. La régénération des sols forestiers était presque achevée la première saison sur les parcelles labourées et paillées lors de la saison venteuse de 1983.

Le paillis va en s'améliorant année après année jusqu'à ce que, après trois années, il devienne presque aussi bon que le labour associé au paillis.

Commentaire (par Ouendeba)

Le travail de recherche entrepris par le Dr. Chase pour récupérer des terres devenues infertiles donc incultes, est une opération bien connue dans l'Ader (département de Tahoua); en effet dans cette région rocailleuse, on rencontre d'importantes superficies devenues infertiles à cause de l'érosion (eau et vent); les paysans délimitent de petites parcelles avec des pierres (parcelles ayant 10 à 15 m de large et 20 à 30 m de long) dans le but de fixer le sable apporté par le vent et de réduire l'érosion due à l'eau. Ces parcelles sont laissées pendant un certain nombre d'années pour permettre la constitution d'une couche de sol où sera semé du sorgho ou du mil. Un autre pratique est utilisée dans le département de Tahoua—c'est la construction de longues banquettes sur les flancs des collines pour récupérer des surfaces cultivables et réduire l'érosion due aux averses de pluie.

Commentaire (par Chetima)

L'on dit que la recherche recommande une première pluie de 15 à 20 mm pour effectuer les semis, mais nous avons semé cette année avec une première pluie de 8 mm et les choses marchent très bien.

Question (for Chase, by van der Ploeg)

Do you have any idea of the amount of soil captured by this mulching and how much time it will take to regenerate forest areas?

Response

The quantity of soil (basically sand size in texture) captured in either agricultural soils (with millet stalks, for example) or in the forest using tree branches is a function of many things, including the amount of mulch used and the frequency and windspeed of storms. Regeneration of forest soils was nearly complete the first season in the tillage and mulch plots in the windy 1983 season. Mulch only improves year after year until, after three years it is nearly as good as the tillage and mulch treatment.

Comments (by Ouendeba)

The research undertaken by Dr. Chase to reclaim soil which has become infertile and therefore abandoned is a well known practice in Ader (in the Department of Tahoua). In effect, in this stony region, we encounter significant areas that have become barren due to erosion (water and wind). The farmers delineate small plots with stones (plots of 10 to 15 m width and 20 to 30 m length) in order to hold the sand carried by the wind and reduce water erosion. These plots aren't cultivated for a few years in order to allow the creation of a layer of soil in which sorghum or millet will be sown. Another practice used in the Tahoua Department is terracing of hillsides to reclaim arable land and reduce erosion due to heavy rainfall.

Comment (by Chetima)

It is said that research recommends waiting for a first rain of 15 to 20 mm before sowing. However, we planted this year with a first rainfall of only 8mm, and things are working out well.

Situation Actuelle de la Recherche Socio-économique à l'Institut National de Recherches Agronomiques du Niger

Ly Samba
INRAN

Robert Deuson et Scott Swinton
PARA

Résumé. Le Département de Recherches en Economie Rurale (DECOR) de l'Institut National de Recherches Agronomiques du Niger (INRAN) concentre ses activités de recherche sur l'étude des systèmes de production agricole. Cette étude se fait en deux étapes. La première étape constitue une phase d'observation dont le but est de délimiter des domaines et des sites d'interventions. Pour ce faire, un enquête par sondage précède un suivi approfondi des sites-cibles. Par ailleurs, des équipes pluridisciplinaires mènent également des enquêtes de reconnaissance rapide afin d'identifier les contraintes principales pour la production.

La deuxième étape est faite d'interventions en milieu réel, soit sous la forme d'Unités de Production Agricole Expérimentales (UPAE), soit sous la forme d'essais conduits chez l'exploitant. La première forme d'intervention vise à identifier les facteurs favorables et les contraintes à l'adoption par le paysan de thèmes techniques développés sur station et déjà vulgarisés. Par contre, le but des essais en milieu réel est de vérifier chez l'exploitant la praticabilité agronomique et la rentabilité de nouvelles technologies développées sur station mais pas encore proposées à la vulgarisation.

Pour analyser les observations faites et les résultats des interventions, on utilise diverses méthodes, notamment: les statistiques descriptives, l'analyse de variance, les budgets partiels et d'exploitation, et la programmation linéaire.

The Current Status of Socio-Economic Research at the National Institute of Agronomic Research in Niger

Abstract. The Department of Agricultural Economic Research (DECOR) of the National Institute of Agronomic Research of Niger (INRAN) concentrates its activities on farming systems research. Such research is conducted in two phases. In the first phase, data are collected and used to identify sites of intervention. To accomplish this, a baseline survey is followed by a more in-depth socio-economic survey of target areas. Concurrently, multidisciplinary teams conduct rapid reconnaissance surveys to identify the main production constraints.

In the second phase, two types of interventions take place: Experimental Agricultural Production Units (UPAE) are set up and on-farm trials are conducted. With the UPAE, researchers attempt to identify favorable factors and constraints to the adoption of technical packages developed on station and already extended. In contrast, the goal of on-farm trials is to verify within the farming environment the agronomic feasibility and the economic profitability of new technologies developed on station but not yet offered for extension.

To analyze the data collected in the first phase and the results of the interventions taking place in the second phase, researchers at DECOR use a variety of tools, such as descriptive statistics, analysis of variance, whole-farm and partial budgeting, and linear programming.

1. Présentation du département de recherches en économie rurale

1.1 *Histoire*

Le Département de Recherches en Economie Rurale (DECOR) est l'un des plus jeunes, du point de vue activités de recherche, des cinq départements techniques qui constituent l'Institut National de Recherches Agronomiques du Niger (INRAN). A l'instar des autres départements de recherche, il a aussi vu le jour en janvier 1975, comme faisant partie de l'organigramme de notre institut national, à la création de ce dernier.

Cependant, contrairement aux autres, il est le seul à n'avoir pas bénéficié d'un quelconque héritage, ni en personnel, ni en programmes ou en moyens de recherches. C'est pourquoi, malgré l'affectation d'un agro-économiste à partir de 1977, ce n'est qu'en 1980 que les activités de recherche dans le domaine socio-économique ont veritablement vu le jour.

C'est donc à partir de cette période que le Département a connu un certain développement de ces moyens tant humains et financiers, que matériels.

Le rôle du Département s'inscrit dans le cadre général de la mission dévolue à l'INRAN et qui consiste à apporter un concours technique et scientifique à la solution des problèmes du monde rural.

Ainsi le Département doit apporter son concours pour une connaissance plus approfondie de l'environnement socio-économique de la production agricole, et des différents paramètres intervenant dans cette dernière. Elle sert de tremplin à la recherche biologique menée sur station dans son oeuvre pour solutionner les problèmes des producteurs ruraux.

1.2 *Organigramme*

Dans l'organigramme du Département de Recherches en Economie Rurale (DECOR), il est prévu quatre sections de recherche:

1) Section Etude des Systèmes de Production Agricole et Agro-pastorale,
2) Section Production-Gestion-Commercialisation,
3) Section Sociologie Rurale,
4) Section Evaluation des Opérations de Développement Rural.

C'est pourquoi les programmes en cours, et ceux à développer à court et moyen termes sont et seront axés sur:

1) l'étude des systèmes de production agricole et animale,
2) l'étude des coûts de production des principaux produits agricoles et d'élevage,
3) l'étude des filières de commercialisation des produits agricoles, d'élevage et des intrants,
4) l'évaluation ex-post des opérations de développement rural,
5) l'étude budget-consommation dans les ménages ruraux,

en vue d'appréhender les paramètres dans les domaines socio-économique, agronomique, zootechnique, et agro-économique.

Pour l'instant, seule la première section est effectivement opérationnelle et ce depuis 1980.

1.3 *Les moyens de travail*

Comme il a été dit ci-dessus, les moyens de travail se sont accrus et ce de façon appréciable. A la date d'aujourd'hui, le Département compte comme personnel de recherche:

—six chercheurs (5 agro-économistes et un agronome) dont trois Nigériens,
—cinq techniciens du développement rural,
—un volontaire du corps de la paix américaine,
—seize enquêteurs-observateurs.

Quant aux moyens financiers, grâce au Projet d'Appui à la Recherche Agricole (contrat USAID No. 683-0225-820), ils ne constituent pas pour l'instant un obstacle majeur à l'exécution des programmes de recherche. Il en est de même pour le matériel de prospection et de bureau. Cependant, les véhicules, avec l'extension de nos activités sur le plan spatial, font passablement défaut.

1.4 *Les principaux utilisateurs*

Les activités du Département se faisant en général en milieu rural (villages, exploitations agricoles, marchés ruraux), le principal milieu-cible, il n'en demeure pas moins que leurs produits intéressent en premier chef les

chercheurs biologiques, les vulgarisateurs, les planificateurs, et les administrateurs.

2. Demarche et programmes de recherche

2.1 *Choix des sites de recherche et échantillonnage*

Dans le cadre de sa philosophie générale, le DECOR envisage de travailler dans les différentes zones agro-socio-écologiques homogènes du Niger. Ainsi les zones de recherche sont retenues selon le thème de recherche en fonction:

—des conditions pluviométriques,
—des caractéristiques socio-économiques,
—des facilités d'accès,
—et de la demande des utilisateurs pour des questions spécifiques à la zone d'étude.

Une fois une zone retenue (arrondissement, canton, périmètre irrigué, etc.) nous procédons a un échantillonnage à deux niveaux: les unités primaires et les unités secondaires.

Les unités primaires représentées par les villages sont choisies soit au hasard, sur la base des critères retenus (stratification suivant la population ou le nombre d'exploitations agricoles), soit de façon raisonnée. Quant aux unités secondaires, elles sont représentées par les exploitations agricoles en tant qu'unités statistiques. Leur nombre varie selon le type d'étude, de cinq à vingt cinq et elles sont choisies au hasard.

2.2 *Les enquêtes de base*

2.2.1 *L'enquête de base par sondage*

Avant d'entamer les opérations de recherche dans une zone retenue, il est primordial d'avoir au préalable une bonne connaissance socio-économique et des caractéristiques générales des conditions du milieu-cible. Pour ce faire, il faut nécessairement procéder soit, à l'exploitation des données socio-économiques existantes (avec au besoin des enquêtes complémentaires) soit, si nécessaire, réaliser une enquête de base par sondage pour connaître l'état actuel de la production agricole.

Cette enquête de base par sondage, qui touche un échantillon assez grand et représentatif de la zone étudiée, a pour objectifs:

—d'inventorier les infrastructures et équipements de la zone,
—d'établir une typologie des exploitations agricoles,
—d'inventorier les ressources agricoles et extra-agricoles des exploitations,
—et d'identifier les contraintes et les facteurs favorables à la production agricole.

L'ensemble de ces données recueillies lors de cette enquête de base par sondage fournit des informations nécessaires pour faire une sorte de diagnostic de la zone d'étude et pour déterminer des domaines de recommandations.

2.2.2 *Le suivi approfondi*

2.2.2.1 *Les objectifs*

Pour suivre la gestion paysanne, une enquête socio-économique est menée, dont les objectifs sont les suivants:

A court terme:

1. Etablir une typologie des exploitations agricoles afin de regrouper les exploitations par domaine de recommandations.
2. Identifier les objectifs des agriculteurs.
3. Identifier les contraintes et les facteurs favorables à la réalisation de ces objectifs.

A moyen terme:

1. Aider à établir des priorités pour la recherche agronomique en fonction des contraintes du paysan et de la possibilité de trouver des solutions à ces contraintes au moyen de la recherche.
2. Aider à orienter la politique agricole nationale afin d'atténuer les contraintes économiques (par exemple, en favorisant l'accès aux intrants modernes et en équilibrant les prix des produits).
3. Evaluer les résultats de la recherche agronomique et économique.

2.2.2.2 *La méthodologie*

Un programme de recherche dans une zone d'intervention en milieu réel commence par la collecte de données. Il peut se faire par une recherche documentaire ou, dans le cas contraire, par une enquête par sondage de

l'ensemble de la zone. Ce fut le cas pour deux programmes: celui de Filingué (DECOR 1983b) et de Madarounfa. L'analyse des données recueillies lors de l'enquête par sondage a fourni des informations nécessaires pour déterminer les domaines de recommandations. Dans le cas de l'étude sur l'interaction entre l'agriculture irriguée le long du fleuve Niger en milieu pluvieux, les informations de base nécessaires étaient déjà disponibles à l'Office National des Aménagements Hydro-Agricoles.

La deuxième étape est une enquête approfondie d'un sous-échantillon de villages choisis de façon raisonnée pour représenter chaque domaine de recommandations. Dans cette étape, on essaie d'étudier les objectifs des paysans, ainsi que les ressources agricoles des exploitations et les activités agricoles. La finalité de ces études est de pouvoir:

1. Quantifier les ressources agricoles des exploitations typiques.
2. Etablir des budgets partiels pour différents systèmes de cultures et niveaux de technologie.
3. Intégrer ceux-ci dans un modèle d'exploitation agricole typique dans son ensemble.

2.2.2.3 *Les résultats*

Les premiers résultats des enquêtes socio-économiques ont permis de déterminer des domaines de recommandations, et ainsi de choisir des villages-échantillons pour des études approfondies. Chaque zone d'étude représente une région distincte, notamment en ce qui concerne la pluviométrie, contrainte principale pour la production agricole au Niger. Ainsi, comme le montre le Tableau 1, d'une part les zones agricoles du nord-ouest et du centre-sud du pays ont été choisies pour leurs différences pluviométriques significatives, et d'autre part, les aménagements hydro-agricoles du fleuve Niger. Au sein de chaque zone, les informations de base ont permis de choisir des villages ayant des caractéristiques différentes en ce qui concerne la topographie, la texture des sols et l'ethnie prédominante (cette dernière étant liée aux différences importantes entre les techniques agricoles pratiquées. (Pour un exemple de la méthodologie utilisée pour déterminer un

Tableau 1. Caractéristiques des domaines de recommandations.

Zone de cultures	Pluviométrie moyenne 1971-1984[1] (mm)	Topographie	Texture des sols	Ethnie prédominante	Nombre d'exploitations
Pluviales					
Nord-ouest (Filingué)	330	vallée	sablonneux	Zarma	5
		plateau	sablonneux	Zarma	5
		plateau	sablonneux	Haoussa	15
Centre-sud (Madarounfa)	420	plateau	sablonneux	Peulh	25
		vallée	sablo-argileux	Haoussa	26
		plateau	sablonneux	Haoussa	26
Irriguées					
Fleuve-nord (Filingué)	380	terrasse/vallée	sablo-argileux	Zarma-Sonrai	20
		terrasse/vallée	sablo-argileux	Zarma-Kourtèye	19
Fleuve-sud	500	terrasse/vallée	sablo-argileux	Zarma	20

[1]Afin d'obtenir une série chronologique adéquate, les chiffres cités proviennent des sites suivants: Filingué de Filingué, Madarounfa de Maradi, Tillabéry de Tillabéry, et Kolo de Niamey (aéroport).

domaine de recommandations agricoles, voir Swinton et Samba 1984.)

La deuxième étape analytique consiste à décrire quantitativement les ressources agricoles des exploitations et l'utilisation de ces ressources dans les différents systèmes de production. Il n'est pas surprenant de noter, dans le Tableau 2, qu'il existe des différences assez importantes en ressources agricoles selon le domaine de recommandations. Par exemple, dans le nord-ouest en zone pluvieuse, la superficie des exploitations dans les vallées est partout inférieure à celle des exploitations sur les plateaux. L'utilisation des ressources varie aussi suivant les zones, et par conséquent, les systèmes de cultures varient aussi. Le sorgho, par exemple, est présent dans tous les systèmes de cultures au centre-sud de la zone agricole du Niger (Madarounfa) alors qu'on le trouve rarement dans le nord-ouest (Filingué, à l'exception des vallées).

Le dépouillement des informations sur les temps de travaux et la gestion des différents systèmes de cultures permettra l'établissement de budgets partiels selon le niveau de technologie (culture attelée et culture manuelle) et le système de cultures. L'utilisation des informations sur les ressources agricoles et les résultats des budgets partiels au sein d'un modèle mathématique input-output nous permettra d'identifier les principales contraintes de la production agricole pour chaque type d'exploitation, et de les classer par ordre prioritaire selon la valeur du produit marginal qui pourrait être obtenu au fur et à mesure que chaque contrainte est levée.

2.3 *L'enquête de reconnaissance rapide*

Dans le cadre des visites annuelles

Tableau 2. Caractéristiques saillantes des exploitations en 1984 selon le domaine de recommandations.

Domaine de recommandations par zone de cultures	Superficie moyenne (ha)	Population moyenne (personne)	Cheptel (tête)		Système de cultures[1]
			Bovins	Ovins/caprins	
Pluviales					
Nord-ouest					
Vallée—Zarma	6,7	6,8	1,5	2,8	m, msn, m[2]
Plateau—Zarma	15,8	10,8	0,5	2,7	m
Plateau—Haoussa	12,3	8,6	3,2	11,8	m, mn
Centre-sud					
Plateau—Peulh	4,1	5,5	3,2	5,6	ms, msn
Vallée—Haoussa	4,0	5,4	1,0	5,1	m, msn, ms, mn
Plateau—Haoussa	8,5	9,0	1,8	14,6	ms, mn, ms, m
Irriguées					
Fleuve-nord					
Zarma—Sonrai	3,9	4,4	5,2	1,4	mn, r
Zarma—Kourtèye	1,5	3,7	1,9	0,8	mn, r
Fleuve-sud					
Zarma	4,3	4,7	2,1	2,9	mn, r

[1] Couvrant plus de 10% de la superficie enquêtée.

[2] Classés par ordre d'importance diminuant de gauche à droite: m = mil, s = sorgho, n = niébé, r = riz.

Sources: Numa 1985, pp. 20, 35; DECOR 1983b, p. 183; Swinton 1985, pp. 6, 21, 24; Samba et Deuson 1985, pp. 22, 36, 40.

organisées par le Département de Recherches en Economie Rurale sur les sites d'intervention à l'intention des autres chercheurs de l'Institut, une équipe pluridisciplinaire a effectué en juillet 1984 une visite similaire dans les localités de Tashi, Lagaré et Kouka. L'équipe, composée d'un représentant de la recherche forestière, de trois pédologues, d'un agronome de production, de trois economistes, d'un sélectionneur végétal et d'un statisticien, a fait un bilan des travaux effectués jusqu'à ce jour afin de déterminer quelle contribution les autres départements de recherche pourraient apporter à ces programmes. Une seconde visite a été organisée les 23 et 24 Septembre 1985 pour évaluer les progrès des essais en milieu réel dans cette même région. Dans ces cas précis, la principale différence par rapport à l'approche "sondeo" suivie par Hildebrand (1979) au Guatémala est que ces enquêtes vérifiaient des programmes en cours plutôt que d'identifier des problèmes dans une zone où la recherche n'était pas encore intervenue.

Ces enquêtes de reconnaissance rapide permettent de tirer des enseignements importants pour l'orientation de la recherche sur station.

2.4 *Les interventions*

2.4.1 *Les unités de production agricole expérimentales (U.P.A.E.)*

Le Département a débuté ses activités sur le terrain en 1980 avec le programme de recherche sur l'étude et l'amélioration des systèmes de production agricoles et agro-pastoraux, intitulé "Unités de Production Agricole Expérimentale", qui doit, en principe à long terme, toucher toutes les zones agro-écologiques du Niger.

Jusqu'à maintenant on constate que les produits de la recherche agronomique proposés à la vulgarisation passent mal au niveau des paysans du Niger.

C'est pourquoi, s'inspirant des orientations nationales fixées lors de l'élaboration du plan quinquennal 1979-1983, et pour chercher à pallier aux insuffisances et aux lacunes actuellement constatées, l'INRAN a vu la nécessité, dans le cadre d'une recherche pour le développement, de s'orienter vers une nouvelle voie de recherche et d'expérimentation qui semble plus efficace.

Celle-ci intègre tous les paramètres de la production agricole. Elle nécessite l'intervention d'une équipe pluridisciplinaire de chercheurs de manière à identifier les facteurs favorables et les contraintes à l'application des thèmes préconisés (qu'ils soient d'ordre technique, économique ou social), en vue de l'amélioration de la production, et rechercher des solutions aux problèmes posés. Ainsi elle tiendra compte dans ce processus non seulement des facteurs purement agronomiques, mais aussi des paramètres de l'environnement social de chaque zone d'étude.

2.4.1.1 *Objectifs de l'étude*

Les objectifs de l'étude sont les suivants:

1) mettre en place des exploitations agricoles expérimentales aux caractéristiques variables (taille, systèmes de culture, association agriculture-élevage, etc.) selon les situations agro-socio-écologiques de la zone agricole du Niger (expérimentation à l'échelle véritable et en milieu paysan de systèmes de production), en liaison avec les utilisateurs (projets de développement rural, service de vulgarisation, paysans, etc.);

2) les étudier et les suivre pendant plusieurs années (5-6 ans, ou plus), en vue d'inventorier, entre autres, les contraintes réelles rencontrées par les producteurs ruraux et les difficultés de mise en application des thèmes techniques préconisés, ceci afin de rechercher les meilleures combinaisons possibles des différents facteurs de production et d'améliorer ainsi les modes de production et les technologies proposées.

Cette opération doit permettre à la recherche agronomique d'effectuer un grand pas (nécessaire) vers le milieu paysan dans le transfert de technologie (DECOR 1983a).

2.4.1.2 *Etapes de recherche*

Les étapes de la recherche s'étalent sur une période de sept à huit ans:

Première année

a) Exploitation des données socio-économiques existantes et enquêtes complémentaires au besoin ou enquêtes tout court concernant les zones retenues.

b) Choix des exploitations de production agricole expérimentales d'après les données socio-économiques obtenues ainsi que des exploitations-témoins. La base du choix étant la représentativité des exploitations à retenir, tant par la taille que par les systèmes de production et d'assolement pratiqués.

Deuxième année

a) Etablissement du protocole d'observation des exploitations retenues.
b) Observation suivie des exploitations pendant une campagne, sans intervention de la recherche agronomique au niveau des pratiques agricoles.
c) Analyse des résultats en fin de campagne agricole: diagnostic, formulation de recommandations et propositions pour l'amélioration des systèmes de culture pratiqués et des assolements observés.

Troisième année (et pendant 4 ou 5 ans)

a) Etablissement du protocole du programme d'intervention dans les unités de production agricole expérimentales.
b) Intervention de la recherche agronomique. Expérimentation de systèmes de production modifiés (recherche d'amélioration, perfectibilité) par injection progressive de technologies appropriées mises au point par la recherche, suivant une vue globale (approche système) et en ayant toujours présents à l'esprit les objectifs régionaux et nationaux assignés au développement rural.

2.4.1.3 *Résultats*

Après un an de suivi sans intervention, l'INRAN a commencé dès 1982 à introduire certaines recommandations sur une partie de chaque UPAE. Ces recommandations sont:

1) mil et niébé en culture pure,
2) variétés améliorées de mil et de niébé,
3) dessouchage,
4) densité de semis accrue (mil: 10.000 poquets/ha; niébé: 55.000 plants/ha),
5) fumure minérale (azote et phosphore),
6) lutte phytosanitaire, et
7) petit élevage (volaille).

Les réactions des exploitants à ces interventions ont permis de tirer certains enseignements pour la recherche (DECOR 1984, pp. 4-5):

1) l'utilisation du rayonneur est pénible,
2) l'enfouissement de l'urée autour de chaque poquet de céréales accroît considérablement le temps de travail,
3) une variété de niébé dont le goût est mieux apprécié que celui de la variété recommandée (TN 88-63) doit être développée.

Le programme des UPAE permet l'identification des facteurs favorables et des contraintes à l'adoption par le paysan des thèmes techniques développés sur station et proposés à la vulgarisation. En outre les résultats de ce programme soulignent l'importance d'élaborer des programmes de recherche sur station à priori sur la base des objectifs et des contraintes auxquelles l'exploitant fait face en milieu réel.

2.4.2 *Les essais en milieu réel*

2.4.2.1 *Les objectifs*

Les objectifs des essais en milieu réel sont les suivants:

1) Déterminer si les technologies proposées par la recherche sur station sont prêtes à être vulgarisées.
2) Déterminer si les technologies proposées doivent être éventuellement réétudiées par les chercheurs sur station afin de tenir compte des contraintes biologiques et économiques décelées en milieu réel.
3) Déterminer dans quelle mesure les services de vulgarisation et d'approvisionnement en intrants doivent être préparés pour la diffusion de ces nouvelles technologies.

2.4.2.2 *Types d'essais en milieu réel*

On distingue deux types d'essais en milieu réel à l'INRAN: (1) les essais sous gestion du chercheur, (2) les essais sous gestion de l'exploitant.

Le premier type d'essais est surtout utilisé pour développer de nouvelles technologies qui tiennent compte des conditions réelles de l'exploitant. Ces essais sont très semblables aux

essais sur station puisque le chercheur contrôle les variables expérimentales. Cependant, ces essais diffèrent de ceux sur station en ce qu'ils sont conduits sur le champ de l'exploitant, dans des conditions écologiques plus hétérogènes que celles dominant l'environnement de la station, tout en tenant compte des avis de l'exploitant.

Le deuxième type d'essais, sous la gestion de l'exploitant, est utilisé pour étudier la façon et les raisons pour lesquelles l'exploitant adopte une nouvelle technologie, entièrement ou en partie, ou la rejette. Dans ce cas, l'exploitant lui-même essaie d'adopter et d'adapter la nouvelle technologie proposée en fonction de son environnement biologique et de ses conditions socio-économiques propres.

2.4.2.3 *Essais adaptés aux conditions locales*

Les essais conduits sous la gestion de l'exploitant accusent en général des coefficients de variation de 30 à 50 pour cent, c'est-à-dire considérablement plus hauts que ceux généralement enregistrés dans les essais conduits sous la gestion du chercheur (Shaner *et al.* 1982, p. 119).

Pour diminuer ou éliminer ces variations, les essais en milieu réel sont conduits sur des parcelles relativement grandes (1000 m^2, avec suffisamment de répétitions (25 par zone) et sont dessinés en fonction des conditions locales. Il faut sélectionner des blocs expérimentaux selon les caractéristiques agro-climatiques prédominantes de la région et choisir des traitements adaptables à cette région. Par exemple, au Niger la pluviométrie étant l'élément déterminant, on ne peut donc recommander une seule variété de mil pour plusieurs régions à pluviométries différentes. On a donc utilisé une variété précoce (HKP) comme traitement dans les régions à basse pluviométrie (moyenne de 300-450 mm/an) et une autre variété (CIVT) pour les régions à plus haute pluviométrie (moyenne de 450-600 mm/an).

Etant donné l'importante variabilité de la pluviométrie et des sols au Niger, les essais en milieu réel conduits par l'INRAN en 1985 ont été répartis dans trois zones agro-climatiques distinctes: Filingué, Madarounfa, et Kolo (Tableau 1). Le choix de ces zones s'est fait sur la base des domaines de recommandations définies antérieurement. De plus, l'ICRISAT a installé sur un de ses sites de recherche des essais en milieu réel qui suivent le protocole de l'INRAN.

3. Les méthodes d'analyse

Les méthodes d'analyse utilisées au DECOR sont de trois types:

1) la description statistique des conditions agro-climatiques et socio-économiques auxquelles font face l'exploitant,
2) l'évaluation de la praticabilité agronomique et de la rentabilité de nouvelles technologies au moyen de l'analyse de variations et de la construction de budgets.
3) l'évaluation de l'impact des nouvelles technologies sur le système de production au moyen de la construction d'un modèle de programmation linéaire.

3.1 *La description statistique*

L'utilisation des statistiques descriptives a pour but de:

a) recenser les ressources disponibles de l'exploitant,
b) regrouper les exploitations ayant des caractéristiques semblables en domaines de recommandations distinctes,
c) composer les critères d'une exploitation représentative sur laquelle se base un modèle de programmation linéaire,
d) quantifier les contraintes à la production,
e) quantifier la fonction-objectif de l'exploitant.

L'essence même de la statistique descriptive est de regrouper des variables (ou des observations) en entités cohérentes (ex., domaines de recommandations, exploitations représentatives). Pour ce faire, il faut: (1) définir les ressemblances ou les différences entre variables (ou entre observations), et (2) apprécier le seuil à partir duquel deux variables (ou deux observations) cessent d'appartenir à un même groupe.

La statistique descriptive a été utilisée au DECOR pour caractériser des systèmes de cultures dunaires dans la région de Madarounfa (Swinton 1985) et des systèmes mixtes de cultures dunaires et irriguées le long du fleuve Niger (Samba et Deuson, 1985). La statistique descriptive a aussi été utilisée pour déterminer des domaines de recommandations dans la

région de Madarounfa (Swinton et Samba, 1984).

3.2 *ANOVA et budgets partiels*

L'évaluation des nouvelles technologies au moyen des essais en milieu réel se fait en deux étapes. Tout d'abord les agronomes déterminent la praticabilité biologique et technique des thèmes proposés en cherchant s'il existe des différences statistiquement significatives entre les rendements obtenus au moyen des technologies proposées et ceux obtenus par les pratiques traditionnelles. Pour ce faire, l'analyse de variance (ANOVA) est utilisée. Cependant, contrairement aux analyses d'essais sur station, l'ANOVA peut se faire à des seuils d'erreur plus élevés (par exemple, 10% au lieu de 1 ou 5%). En effet, l'exploitant peut être disposé à accepter un risque d'erreur plus haut que le chercheur (Perrin *et al.*, 1976).

Deuxièmement, les économistes établissent la rentabilité économique de la technologie proposée. Pour ce faire, deux méthodes peuvent être utilisées: l'analyse globale de l'exploitation, ou la construction de budgets partiels. La première méthode est indiquée dans le cas où la nouvelle technologie proposée requiert une transformation profonde des méthodes d'exploitation traditionnelle, soit en exigeant des investissements de capitaux considérables, soit en influençant fortement l'équilibre des systèmes de production (c'est le cas des *thèmes lourds*). L'analyse globale de l'exploitation nécessite une ample base de données détaillées et des outils analytiques sophistiqués (par exemple, la programmation linéaire). Cependant, comme les essais en milieu réel mis en place par l'INRAN ne concernent jusqu'à présent que des techniques simples, cette analyse n'a pas encore été utilisée.

La deuxième méthode, la construction de budgets partiels, est indiquée lorsque les thèmes proposés représentent un changement marginal des méthodes traditionnelles (c'est le cas des *thèmes légers*). Un tel changement ne nécessite pas une réorganisation en profondeur de la gestion de l'exploitation ni de gros investissements en capital. Les budgets partiels permettent de quantifier l'apport d'un thème au revenu net de l'exploitant. Lorsque plusieurs thèmes sont proposés alternativement, il convient d'identifier celui dont la contribution au revenu net par coût variable est la plus importante. Pour ce faire l'analyse des options dominantes s'impose. Ce type d'analyse a été utilisé à l'INRAN (Kennedy *et al.* 1984).

3.3 *La programmation linéaire*

L'utilisation des budgets pour évaluer les nouvelles technologies ne permet pas au chercheur de répondre à la question fondamentale: "la praticabilité biologique et la rentabilité d'une nouvelle technologie une fois établies, cette technologie s'insère-t-elle dans le système de production du paysan?" Pour répondre à une telle question, le chercheur doit pouvoir identifier et quantifier: (1) toutes les ressources et les activités de l'exploitation représentative, (2) les objectifs de l'exploitant, et (3) les contraintes à la production. L'approche budgétaire ne permet d'évaluer ni les objectifs ni les contraintes. Pour ce faire, un modèle de programmation linéaire représente une des méthodes les plus simples.

Il n'existe pas encore, à l'heure actuelle, un tel modèle au DECOR. Cependant, les données pour soutenir ce modèle sont actuellement organisées en trois groupes pour les exploitations représentatives: (1) les calendriers de travail, (2) la classification des sols selon leur niveau de qualité, (3) les coefficients *input-output*.

Jusqu'à présent, les chercheurs du DECOR ont basé leurs analyses sur l'hypothèse que l'objectif principal de l'exploitant nigérien est de porter au maximum son revenu net. Il existe sans aucun doute d'autres objectifs tels que: assurer la survie alimentaire (principalement en céréales) de la famille, minimiser les risques d'une mauvaise récolte face aux aléas climatiques, minimiser les risques économiques dûs aux variations des prix des produits et des intrants, et satisfaire à des obligations sociales et communautaires.

Pour définir plus précisement la fonction-objectif de l'exploitant, le DECOR compte entreprendre en 1986 l'identification et la quantification d'une telle fonction. Cette information complètera alors les données nécessaires à l'utilisation du modèle de programmation linéaire.

Bibiliographie

D.E.C.O.R. 1984. Recherche sur les systèmes de production agricole. Campagne 1983: Deuxième année d'intervention dans les unités de Production Agricole Expérimentales (U.P.A.E.) des villages de Lagaré et de Tashi (Arrondissement de Filingué). INRAN, Niamey.

——1983a. Etude sur les systèmes de production "Unités de production agricole expérimentales" première année d'intervention dans l'Arrondissement de Filingué. INRAN, Niamey.

——1983b. Enquête socio-économique par sondage et choix d'Unités de Production Agricoles Expérimentales dans la région de Filingué (République du Niger). INRAN, Niamey.

Hildebrand, P.E. 1979. Generating technology for traditional farmers—the Guatemalan experience. Presented at the 9th Int'l. Cong. of Plant Protection. 5-11 Aug 1979. Washington D.C. Socioeconomica Rural, Sector Publico Agricola, ICTA, Guatemala.

Kennedy, L., A.L. Samba et R.R. Deuson. 1985. Rapport de Recherche: Etude des cas portant sur des essais en milieu réel effectués dans l'Arrondissement de Kolo en 1984. DECOR, INRAN, Niamey.

Samba, A.L. et R.R. Deuson. 1985. Profil de trois aménagements du Fleuve Niger et inventaire préliminaire des ressources de 58 exploitations-échantillons. DECOR, INRAN, Niamey.

Numa, G. 1985. Les Unités de Production Agricoles Expérimentales (U.P.A.E.) dans l'Arrondissement de Filingué: Résultats de la Campagne 1984. DECOR, INRAN, Niamey.

Perrin, R.K., D.L. Winkelmann, E.R. Moscardi, and J.R. Anderson. 1976. From agronomic data to farmer recommendations: an economics training manual. Inf. Bull. 27. CIMMYT, El Batan, Mexico.

Shaner, W.W., P.R. Philipp and W.R. Schmehl. 1982. Farming Systems Research and Development—Guidelines for Developing Countries. The Consortium for International Development. Westview Press, Inc., Boulder, Colorado, U.S.A.

Swinton, S. 1985. Les ressources agricoles des exploitations dans trois villages représentatifs de l'Arrondissement de Madarounfa. DECOR, INRAN, Niamey.

——et A.L. Samba. 1984. Définition des domaines de recommandations agricoles dans le Centre-Sud du Niger: Arrondissement de Madarounfa. DECOR, INRAN, Niamey. Document présenté lors du Symposium de Recherches sur systèmes de Production Agricole tenu à Kansas State University, à Manhattan, Kansas, du 7 au 10 octobre 1984.

Session V

Plant Protection Research on Millet and Sorghum

Moderator, Mr. Hama Hassane

Données Acquises sur la Mineuse de l'Epi, *Raghuva albipunctella*

Seyni Diambeydou Maiga
INRAN

Résumé. Les insectes nuisibles au mil et au sorgho ont fait l'objet de plusieurs études (Risbec 1950; Bowden 1956, 1957; Appert 1957, 1982; Harris 1982; N'Doye 1977; Nwanze 1981; Guevremont 1980, 1981, 1982; Maiga 1983, 1984, etc.). Au Sahel selon Risbec plus de 300 espèces sont inféodées à ces deux cultures céréalières. Au Niger, environ une centaine d'espèces nuisibles ont été répertoriées. Les espèces principales appartiennent aux Lepidoptères, Diptères, Coléoptères, Orthoptères, Hétéroptères. Elles comprennent plusieurs espèces nuisibles aux jeunes pousses, des défoliateurs, des foreurs de tiges, des scarabeidés du pollen, des chenilles mineuses de l'épi et des punaises des épis et panicules. A la lumière de ces travaux cités nous pouvons dire que pour le mil, la chenille mineuse de l'épi *Raghuva albipunctella* et le foreur de tiges *Acigona ignefusalis* sont les plus importants économiquement parlant. Pour le sorgho, la cécidomyie des panicules *Contarinia sorghiola* et *Atherigona soccota* sont les plus spécifiques. Les principaux insectes nuisibles au mil et au sorgho étant à peu près connus, il est apparu dès lors indispensable, pour mieux cerner le problème de l'entomofaune de ces cultures, de mettre un programme de recherches entomologiques en place.

Depuis 1979, le Programme de Recherche en matière d'Entomologie établi était consacré à l'inventaire des insectes nuisibles au mil et à l'étude de la mineuse de l'épi, *R. albipunctella*. Les travaux prévus portant sur cette noctuelle consistaient:

— en l'étude de la biologie de la mineuse, laquelle inclut, depuis 1980, la courbe d'émergence des papillons et le cycle saisonnier;
— en l'étude de la distribution géographique de *Raghuva* dans les différentes zones écologiques du Niger;
— la mise en place des essais insecticides contre la mineuse.

Pour le sorgho, la majeure partie des études étaient consacrées à la cécidomyie du sorgho, *C. sorghicola*.

Raghuva albipunctella et *C. sorghicola* étant prioritaires tant à l'échelle nationale que régionale, le présent rapport est une synthèse des travaux de recherches réalisés sur la mineuse de l'épi et la cécidomyie du sorgho. L'auteur fait aussi une récapitulation des principaux ennemis du mil et du sorgho. Cet exposé est complété par l'énumération de sujets de recherche qu'il reste encore à entreprendre ou à poursuivre pour mieux résoudre le problème des ravageurs clés des mil et du sorgho.

Data Acquired on the Head Borer, *Raghuva albipunctella*

Abstract. Insects harmful to millet and sorghum have been the object of several studies (Risbec 1950; Bowden 1956, 1957; Appert 1957, 1982; Harris 1982; N'Doye 1977; Nwanze 1981; Guevremont 1980, 1981, 1982; Maiga 1983, 1984; and others.). In the Sahel, according to Risbec, more than 300 species are allied with these two cereal crops. In Niger, approximately one hundred different harmful species have been recorded. The principal species belong to the Lepidoptera, Diptera, Coleoptera, Orthoptera and Heteroptera genera. They comprise several species harmful to young shoots, defoliators, stem borers, pollen beetles, earhead-borer caterpillars, and earhead and panicle bugs. In light of the works cited above, we can say that for millet, the earhead-borer caterpillar, *Raghuva albipunctella*, and the stemborer, *Acigona ignefusalis*, are the most important economically speaking. For sorghum, the panicle midges, *Contarinia sorghiola* and *Atherigona soccota*, are the most specific. Once the principal insects harmful to sorghum and millet were fairly well identified, it became essential to implement an entomological research program which would provide a better delineation of the insect pest problems of these crops.

Since its establishment in 1979, the Entomological Research Program has been devoted to the inventory of insects harmful to millet, and to the study of the earhead borer, *R. albipunctella*. The proposed work on this nocturnal insect consisted of:

— the biological study of the borer, which , since 1980, includes the emergence curve of the moths and the seasonal cycle;
— the study of the geographical distribution of Raghuva in the various ecological zones of Niger; and
— the establishment of trials for insecticides used against the borer.

For sorghum, the majority of the studies were devoted to the sorghum midge, *C. sorghicola*.

Since *R. albipunctella* and *C. sorghicola* are a priority on the national as well as the regional level, the present report is a synthesis of the research done on the earhead borer and the sorghum midge. The author also makes a summary of the principal enemies of millet and sorghum. This report is completed by a list of research topics which remain to be undertaken or continued in order to better resolve the problems of the principal pests of millet and sorghum.

1. Systématique

Suite aux élevages de larves qui sont entrepris depuis 1976 (Belanger et Rioux 1976, Guevremont 1982), des adultes ont été obtenus et envoyés à des spécialistes pour identification. Parmi les espèces identifiées, l'espèce dominante et la plus importante économiquement parlant au Niger est *Raghuva albipunctella* de Joanis (Guevremont 1981) qui semble abondante au Sénégal, (N'Doye 1979; Bhatnagar 1984) et aussi dans les autres pays sahéliens.

2. Biologie

Plusieurs éléments de la biologie de la mineuse, concernant principalement la distribution des oeufs sur l'épi, le mode de nutrition, la chrysalidation dans le sol, ont été élaborés dans les rapports annuels (Vercambre 1978, Belanger et Rioux 1977, Guevremont 1982, Maiga 1983; Van Elsen 1985; N'Diaye 1984). La femelle pond à l'épiaison environ 400 oeufs sur les soies involucrales et sur les pédoncules floraux soit groupés, soit isolés. Parfois, on les trouve directement sur les rachis ou au-dessus des étamines plus ou moins desséchées qui restent en place après la floraison. La plus grande partie des oeufs se trouve sur la pointe de l'épi, particulièrement sur les premiers 3 cm de l'apex.

—Le nombre d'oeufs diminue graduellement du haut au bas de l'épi. La période de ponte dure environ 1 mois. L'éclosion dure 3-4 jours. Les jeunes larves déambulent entre les épillets, se nourrissent des fleurs et complètent leur développement en 23-39 jours, mais leur activité s'étend sur 5 semaines. Les jeunes larves perforent les glumes et dévorent l'intérieur des fleurs, trahissant leur présence par des excréments en forme de petits granulés blanchâtres. Les larves âgées coupent les pédoncules floraux empêchant la formation du grain en provoquant sa chute, selon un tracé en spirale caractéristique. En général l'ampleur des dégâts dépend beaucoup de la coïncidence entre le vol des adultes et la période du début de l'épiaison du mil, de la densité de la population larvaire, de la réaction de la plante aux ravageurs.

—La période d'activité se situe en saison normale en août et septembre. A la fin de la saison des cultures, les larves âgées, de couleur rouge, descendent au pied de la plante pour se chrysalider dans le sol. La période prénymphale est de 2 à 4 jours et les chrysalides entrent en diapause et restent inactives pendant la saison sèche et une partie de la saison des pluies (octobre à juillet) soit une durée approximative de 300 à 330 jours. Les papillons sortent environ un mois après les premières pluies pour une seule génération par an.

3. Importance économique

La sévérité des dégâts dépend de la date d'épiaison du moment des vols de papillons de leur nombre, et des conditions qui gouvernent le développement larvaire dans les épis. Au Niger, ainsi qu'au Burkina-Faso, les taux d'infestation moyen durant la campagne 1980 ont été respectivement de l'ordre de 33% et 18% (ICRISAT 1981).

Les pertes varient aussi d'une année à une autre. Au Niger, on a enregistré en 1982, une perte de 6% sur la variété IVS-78 pour un taux d'infestation de 48% (Guevremont 1983), tandis qu'en 1983, ces pertes s'élevaient à plus de 30% sur le mil HKP dans la région de Kotare (Mayahi) où le taux d'infestation dépassait 80% (Khoury, 1984).

4. Distribution géographique

L'aire de distribution principale de *Raghuva albipunctella* se situe à l'intérieur des zones climatiques nord-soudanienne et sud-sahélienne, précisément entre les 12ème et 16ème parallèles de la latitude Nord où l'isohyète oscille couramment entre 400 et 600mm. Les études menées en 1983 nous ont fait constater que les attaques de *Raghuva* sont surtout constantes dans les régions de Chikal (Filingué), Magaria, Tchadaoua, Gazaoua. En 1984 dans la région de Sassoumbroun (zone de 700mm), des attaques sérieuses ont été signalées dans plusieurs villages. Ces études de distribution spéciale de *Raghuva* se poursuivent afin de mieux connaître les zones économiques principales de *Raghuva*.

5. Dynamique des populations

Au Niger et plus particulièrement au CNRA de Tarna, la dynamique des papillons a été étudiée pendant 5 années consécutives (1980-1985). A titre indicatif, l'activité de ce

ravageur s'est située en 1980 entre le 19 juillet et le 17 août (pics du 15/7 au 10/8); en 1981 entre le 20 juillet et le 25 août (pics du 31 juillet au 7 août); en 1982 entre le 8 juillet et le 30 septembre (pics fin juillet et 1ère quinzaine du mois d'août). A partir de 1983, ces études de dynamique de populations ont été élargies à une plus grande échelle, à savoir en plus de Tarna, des pièges ont été installés à Serkin Yamma, Kouroungousso Tchadoua et Dan Issa (pour ces deux localités en 1985). Il a été constaté que c'est surtout les premières pluies abondantes qui sont responsables de la sortie des papillons, car l'humidité du sol doit être suffisante pour que la diapause des chrysalides se termine et que les adultes puissent se frayer un passage dans le sol. Les premiers papillons apparaissent environ un mois après les premières pluies et leur vol dure environ 5 semaines.

6. Répression chimique

Depuis 1980 des essais d'insecticides sont menés contre les ghuva et en particulier contre les jeunes larves. Les meilleurs traitements ont été obtenus avec les pyréthrinoïdes de synthèse: Ambush (parmathine), Decis (deltemethrine), Cymbush (cypermethrine) (cypamethrine) et Sumiciodin (Senvalerate). En second lieu, les traitements au Sevin (carbaryl), au Furadan (carbofuran) et au Mesurol (mercaptodimethur) ont donné de bons résultats. Par contre les traitements a l'AP 300 et l'Undene (propioxur) n'ont pas été efficaces.

En tenant compte de leur coût et de leur efficacité, le Decis, la Cymbush, le Sumiocidin et le Furadan semblent plus prometteurs. Par ailleurs, une à deux applications (à l'épiaison/floraison) du Truhlorphon (Dipterex—SIR 8514) à raison de 1kg m.a/ha se sont révélées efficaces. D'ailleurs, le traitement effectué en début d'épiaison était plus efficace que celui du début de floraison ou du début de mâturation des grains. Mais il est a souligner que les traitements insecticides ne sont pas toujours rentables et que les traitements sur épis posent des problèmes à cause de la hauteur des plantes qui risquent de verser.

7. Résistance variétale

Les études entreprises au Niger et ailleurs depuis 1980 ont indiqué l'existence d'une certaine tolérance du mil aux attaques de *Raghuva* dans les variétés: Souna, 3/4 HK, ICMS-7819, JBV-8004, H24-38, Nigerian composite, HKB-Tif, CIVT, HKP, Zongo, Niéluva, Boudouma JBM-8302, JNMG-52, ITMU-5001, Sadoré, Totini, Haini Kirei (Gahukar 1983, 1984; ICRISAT 1981, 1984; Guevremont 1982, 1983; Maiga 1984). La résistance s'est exprimée par la non-préférence des femelles pour la ponte, l'effet antibiose et aussi par la compensation du rendement. De même, les variétés de cycle long (par exemple le Maïwa au Niger, Sanio au Sénégal et NKK au Mali) sont moins attaquées car l'épiaison du mil ne coïncide pas avec les périodes du pic des vols de papillons. C'est une pseudo-résistance. Plusieurs facteurs associés à l'épi ont été étudiés en relation avec l'ampleur des dégâts; mais la capacité des fleurs et des grains joue un rôle important par rapport à la longueur des pédoncules floraux ou des soies involucrales (Vercambre 1978, Guevremont 1983, Gahukar 1984).

8. Ennemis naturels

L'inventaire des ennemis naturels au Niger a permis de relever les espèces suivantes:

Prédateurs: Les punaises du genre *Orius* (*Anthocoridae*, Heteroptères) se nourrissent des oeufs de *Raghuva* (Guevremont 1983). Les larves sont sucées par les punaises *Orius* spp. (*Anthocoridae*) et *Glypsus conspicus* Westw. (*Penhamoneidae*).

9. Etudes de techniques culturales

Date de semis: En ce qui concerne *Raghuva* et le groupe de chenilles des chandelles en général, le décalage des semis s'est montré comme un facteur efficace pour éviter l'attaque (N'Doye 1979, Guevremont 1982, Maiga 1984). Les semis tardifs sont moins attaqués par les chenilles des chandelles (ICRISAT 1984, Zethner et Olivier 1984). Cependant, ce retardement s'il provoque un échelonnement des semis, crée des conditions favorables à la cécidomyie et aux foreurs de tiges (Gahukar 1983).

Coupe de l'apex: Une méthode physique basée sur la taille (c'est-à-dire coupe de l'apex des épis) de 3 cm a été testée en utilisant une ou deux coupes. La première coupe a été

effectuée au début de la ponte et l'autre deux semaines plus tard. (Belanger et Rioux 1976, Guevremont 1981). Des diminutions de 50% du nombre d'épis attaqués ont été notées, les deux années où cette méthode a été utilisée. Aucune baisse dans le rendement n'a été notée suite à l'ablation de la pointe des chandelles.

Travail de fin de cycle: Un travail profond pourrait réduire la population des chrysalides diapausantes de *Raghuva* car elles seraient exposées à la dessication et aux prédateurs (Vercambe 1978). Cette technique n'a jamais été employée au Niger, malgré son intérêt agronomique. Il conviendrait donc de tester l'efficacité de cette méthode.

B. Sorgho: En ce qui concerne le sorgho c'est surtout la cécidomyie, *Contarinia sorghicola*, qui est prioritaire, tout en tenant les autres nuisibles tels que *Artherigem* et les foreurs de tiges.

1. *Contarinia sorghicola* Coq.

La cécidomyie du sorgho, *Contarinia sorghicola* Coq., est l'un des ravageurs les plus redoutés du sorgho. Découverte en 1895 par Coquiller aux Etats-Unis, cet insecte a été décrit en 1889 sous le nom de *Diplosis sorghicola* puis de *C. sorghicola* en 1899 par le même auteur.

En Afrique de l'Ouest, *C. sorghicola* fut signalé pour la première fois en 1929 au Nigéria (Harris 1983), au Ghana en 1959 (Bowden 1965), en Gambie en 1954 (Barnes 1956), au Sénégal, au Burkina-Faso, au Niger et au Mali entre 1961 et 1966 (Coutin 1969).

Ce petit moucheron de couleur rouge-orange atteint à peine une longueur de 2 mm (mâle 1,3 mm; femelle 1,6 mm). Au cours de la floraison des sorghos, les femelles déposent leurs oeufs à l'intérieur des épillets. Une seule femelle peut pondre en moyenne 25 oeufs. La durée de vie des adultes est très brève. Elle est de quelques heures pour le mâle et en moyenne de 24 heures pour la femelle.

Les larves qui éclosent des oeufs se développent aux dépens de l'ovaire dont elles se nourrissent tout en empêchant la formation des grains. Les variétés à floraison tardive tels que Bagoba et El Délé sont les plus attaquées. De nombreuses larves peuvent se trouver dans un même épillet, mais généralement, une seule arrive à maturité. La durée moyenne du cycle de l'oeuf à l'âge adulte varie de 15 à 20 jours. Le polyvoltinisme est très marqué chez l'insecte.

Des études sur les fluctuations des populations adultes et larvaires réalisées en Afrique de l'Ouest portent sur l'influence des conditions climatiques, des plantes-hôtes des ennemis naturels et des pratiques culturales.

—D'une manière générale, l'entrée des larves en diapause est déterminée par une diminution de l'humidité relative ambiante. Cette observation est en accord avec les travaux réalisés par Harris (1961), Bowden (1965), et Coutin (1968).

—Selon Harris (1961), un taux d'humidité relative de plus de 60% et une température supérieure à 25% pendant plusieurs semaines conditionnent la levée de la diapause et la sortie des premiers adultes. Toutefois, le caractère obligatoire ou facultatif de la diapause reste à élucider.

—L'étude des duplications dans la nature, a été faite dans différents pays à l'aide de pièges au Mali, assiettes jaunes au Niger et au Mali, d'élevage au Sénégal et au Burkina-Faso.

—Au Sénégal (1981), le maximum de population adulte est enregistré entre mi-septembre et début octobre, ensuite cette population décroît rapidement sous la double influence de l'activité des ennemis naturels et de l'installation de la saison sèche et froide.

—Au Burkina-Faso, Dakou (1981 et 1982) a montré que les attaques de *C. sorghicola* sont de 0,1% en mars, à 2,8% en décembre, le maximum se situant en octobre avec 60% d'épillets détruits.

—Au Mali, les captures ont montré que le premier pic d'activité des adultes intervient à la mi-août et en fin septembre (Doumbia et Bonzi 1984).

Au Niger la pullulation des adultes de *C. sorghicola* a lieu entre mi-septembre et début octobre (Maiga 1980; Samir Akl 1982, 1983, 1984).

D'après Henri (1961), la cécidomyie du sorgho est endémique dans toutes les aires où poussent les espèces sauvages ou cultivées du genre *Sorghum*.

Parmi les parasites les plus fréquemment

rencontrés, on cite les microhymenoptères suivants: *Tetrastichus* sp., *Eupelmus* sp. et *Aprostecetus* sp. (Harris 1961, Coutin 1968). Ces auteurs, ainsi que Bonzi (1979) font mention de déprédateurs d'adultes et de larves tels que les Hétéroptères *anthocorides* et les araignées.

1.1 Importance économique

Les dégâts provoqués par la cécidomyie sur les cultures de sorgho varient selon les conditions agro-climatiques de chaque pays et de l'année. Harris (1961) a estimé une perte due à ce ravageur à 91.000 tonnes de grains au nord du Nigéria.

Au Sénégal selon Coutin (1970), la proportion des grains détruits par la cécidomyie varie de 75 à 90%.

Au Niger, les observations faites par Maiga (1979, 1980) montrent que de fortes attaques oscillant entre 30 et 40% ont été constatées à la SEHA du CNRA de Tarna sur la variété tardive El Délé.

Au Burkina-Faso et au Mali, les résultats des prospections effectuées par plusieurs chercheurs à travers ces pays (Bonzi, 1979 et 1980; Nwanze, 1981; Dakou, 1981 et 1982, Doumbia et Bonzi, 1984) ont montré que la cécidomyie peut entraîner des pertes en grains comprises entre 18 et 100%. Ainsi, il apparaît clairement que *C. sorghicola* constitue un facteur de limitation de la production du sorgho en Afrique de l'Ouest.

1.2 Méthodes de lutte

Un travail de synthèse réalisé par Bonzi, Doumbia et Dakou (1984) résume les travaux réalisés en Afrique de l'Ouest sur la cécidomyie de sorgho par différents chercheurs depuis Harris (1951 jusqu'à 1984). Dans ce document, les auteurs ont recensé et souligné toutes les méthodes de lutte applicables par les paysans. Ces méthodes de lutte préconisées ou appliquées sont de trois catégories:

— les méthodes culturales
— la résistance variétale
— la lutte chimique.

a) *Les méthodes culturales* consistent, à destruire les larves diapausantes, ainsi que les plantes-hôtes subsidiaires, à éviter la coïncidence entre la période de pullulation et la floraison du sorgho à éviter les variétés à floraison étalée.

b) *La résistance variétale*: En Afrique Occidentale, plusieurs chercheurs se sont intéressés à la résistance variétale contre la cécidomyie. Bowden (1965) fait état de variétés locales du nord Ghana du type Nunama, dérivées de sorghum membranaceum, dont les glumes longues restent fermées à l'anthère (Harris 1961). Ces fleurs cleistogèmes empêchent l'insertion de l'oviducte des cécidomyies. Le mécanisme de résistance semble être l'obstacle que constitue la longueur des glumes, et qui empêche la femelle de pondre dans les épillets.

D'après LeClerc (1962), Bonzi (1979), Koukoua (1983), et Doumbia (1983), plusieurs variétés de sorgho se sont avérées résistantes ou tolérantes à la cécidomyie.

Au Niger, c'est surtout la Jan Jaré rouge (No. 56-84) qui s'est avérée résistante à la cécidomyie (LeClerc 1962).

c) *Lutte chimique*: Alors qu'il est toujours possible d'organiser en station la lutte chimique contre la cécidomyie du sorgho pour protéger des essais variétaux ou agronomiques, il apparaît comme déraisonnable de l'envisager en culture paysanne. Car ici la haute taille et l'abondance de la masse végétative du sorgho hors de proportion avec leur faible productivité rendent l'emploi de traitements chimiques non seulement difficile, mais aussi coûteux et non rentable. Notons que la lutte chimique peut apporter une solution partielle ou complémentaire sans donner toutefois entière satisfaction. Par ailleurs, les conditions de vie suivantes rendent la lutte contre la cécidomyie très difficile: les oeufs, les larves et nymphes protégés par la fleur elle-même, la vie brève des adultes et une population active renouvelée tous les jours. Les insecticides qui ont donné de bons résultats sont entre autres: carbophentothion, disulfoton, endrine, methylpérathion, phosalone, fenthion et fenithrothion. Ces insecticides ont une action de choc mais leur phytotoxicité en exclut l'usage sur le sorgho, tel est le cas de fenthion et senthrothion.

2. *Atherigona soccota* Rondani

En Afrique sahélienne, plusieurs espèces du

genre *Atherigona* ont été recensées. C'est ainsi qu'au Mali, à la station de Sotuba 22 espèces ont été inventoriées, parmi lesquelles 14 proviennent de l'élevage des coeurs morts de sorgho (Doubia 1981, 1982). Au Burkina, 23 espèces ont été observées dans le champ de sorgho à la station de recherche de Faroko-Bâ (Bonzi 1981, Bonzi et Gahukar 1983). Parmi toutes les espèces identifiées sur le sorgho, l'espèce *Atherigona soccota* Rondani est la plus importante. Cette espèce, étudiée depuis 1924 en Asie puis en Afrique est à présent assez connue. Des moyens de lutte adaptés sont maintenant disponibles (Young 1980).

2.1 Importance économique

L'on ne dispose pas de statistiques précises sur l'incidence économique d'*Antherigona* sur la récolte. Il convient d'ailleurs de dire que les dégâts causés par ce ravageur ne sont pas très importants en milieu paysan. Les dégâts causés par la mouche des pousses sont habituellement minimes, variables selon les années, mais souvent très forts sur semis tardifs ou sur variétés tardives, notamment au Sénégal et au Burkina-Faso (Breniere 1970). Pour le cas du Niger, des attaques sérieuses oscillant entre 30 et 50% ont été signalées à la station de Kolo en 1980 et 1982.

2.2 Méthode de lutte

Au niveau paysan la meilleure formule de protection préconisée est le semis aussi tôt que possible et groupé. La semence doit être traitée au préalable pour assurer une levée homogène qui exclut tout resemis.

Dans ces cas particuliers, l'utilisation du carbofuran en poudre ou en granulé, pour le traitement des semences ou des jeunes plantes donne de très bons résultats.

Des essais comparatifs variétaux ont fait apparaître des différences dans l'intensité de l'attaque selon les variétés. C'est ainsi qu'il a été démontré à Saria (Burkina-Faso) que les variétés Oueni et Bankou étaient plus atteintes que Yifiri ou S29. C'est aussi le cas de la variété améliorée CE-90 du Sénégal (Gahukar 1978). Aux Indes, parmi les 14.000 lignées testées, 42 se sont montrées moins sensibles, dont 9 ont une bonne stabilité. Ce sont 1054, 1071, 2394, 5884, 18368, 2123, 2195, 4664, et 18591.

Conclusions

Les travaux menés pendant les 5 dernières années permettent de tirer les conclusions suivantes:

Le mil aussi bien que le sorgho sont sous pression parasitaire pendant toute leur végétation, du semis à la récolte. L'inventaire nous a permis de déceler les espèces les plus inféodées à ces céréales. Les plus nuisibles apparaissent dès le tallage, mais avec une importance plus marquée à partir de la floraison. Le début du tallage et la montaison sont des stades particulièrement fragile, car à ce moment les Lepidoptères défoliateurs et foreurs font leur apparition. D'autre part, l'apparition des Heléoptères, les mineuses des épis et les destructeurs de l'inflorescence (cécidomyie) à partir de la floraison, constitue un des grands dangers d'autant plus grave pour le sorgho et le mil que les dégâts interviennent en fin de cycle directement sur les organes fruitiérs à un moment où les tailles maximales rendent les traitements insecticides particulièrement difficiles. Ce qui revient à dire que les espèces les plus endommageables appartiennent aux ordres des Diptères et Lepidoptères. La répartition et l'importance des espèces sont variables d'une région à une autre et d'une année à l'autre.

Orientation future

A la suite des résultats enregistrés au cours des cinq dernières années, le Programme pour les prochaines années sur l'entomofaune du mil et du sorgho doit avoir une idée maîtresse, la répétition de l'ensemble de toutes les expérimentations dont les résultats ont été synthétisés dans le présent document. Dès lors, le gros des efforts doit être consacré aux études suivantes:

1) Evaluer l'importance réelle des ravageurs clés: *Raghuva albipunctella*, le complexe des foreurs de tiges; la cécidomyie du sorgho, *Atherigona soccota*, et le complexe des insectes des panicules dans leur ensemble.
2) Poursuivre l'inventaire et l'établissement de la collection des ravageurs alternant entre mil, sorgho, maïs et autres céréales.
3) Etudier de façon approfondie l'écologie des

insectes précités, leur activité liée à la phénologie de la plante et l'importance de l'infestation et déterminer le seuil économique pour les principaux nuisibles.

4) Inventorier les ennemis naturels des principaux insectes nuisibles et leur potentialité.
5) Etudier la dynamique des populations (courbe d'émergence sur plusieurs années) et à une plus large échelle: *Raghuva*, *Contarinia*, complexe de borers.
6) Tester les différentes méthodes de lutte (lutte chimique, contrôle cultural par ramassage manuel des chenilles mineuses) tout en évaluant le coût et l'efficacité de ces traitements aussi bien en station qu'en milieu paysan.
7) Poursuivre l'étude de la résistance variétale du mil et du sorgho vis-à-vis des mineuses d e l'épi, et des foreurs de tige en utilisant les techniques de criblage les plus adéquates.

En lutte biologique

Dans le but de déterminer les espèces de parasites attaquant la mineuse d'épi, *R. albipunctella*, leur temps d'activité et l'affinité de ces parasites avec d'autres hôtes dont les foreurs de tiges, il conviendrait (Collaboration INRAN/INTSORMIL et ICRISAT):

— d'identifier le spectre des plantes hôtes attaquées par la mineuse de l'épi et les foreurs des tiges.

— d'identifier et de caractériser les ennemis naturels attaquant les mineuses de l'épi et les formes de tige.

1 = rare?
2 = sporadique
3 = constant

Récapitulatif des insectes du mil d'après les stades végétatifs

Insectes nuisibles et autres ennemis du mil	Dégâts	Incidence de fréquence
Semis à la fin du tallage.		
1. Fourmis	Grains emmagasinés dans la fourmilière (pas de levée)	2
2. Mouche des jeunes talles: -*Atherigona* spp. -*Elachiptereicus abessynicus* Beck.	Défoliation sévère—mort des feuilles centrales et parfois du bourgeon central (coeur mort ou "dead heart") quand l'attente est précoce. Dégâts graves sur deuxième semis.	2
3. Hannetons -*Anomala plebeja* Curt -*Anomala senegalensis*	Déssèchement des jeunes plants par sectionnement des racines.	3

Récapitulatif des insectes du mil (continuée).

Insectes nuisibles et autres ennemis du mil	Dégâts	Incidence de fréquence
4. Chenilles phytophages, plusieurs espèces dont: -*Amsacta moloneyi* Drc. -*Mythimma separata* (limité en saison sèche) -*Laphygma exigera* HB	Défoliation parfois importante.	2
5. Foreurs des tiges ou borers: -*Huimbachia (Acigona) ignefusalis* Hmps. -*Sesamia calamistis* T et B. -*Eldana saccharine* Walk. -*Busseola fusca* Hmps.	Galeries dans les tiges provoquant des chandelles ou empêchant la montaison de la tige quand les attaques sont précoces. Dégâts pouvant être graves si semis tardifs après le début de la saison des pluies.	2 2 1 1
6. Larves endophytes: -*Elattocerus senegalensis* Hust.	Logent plus ou moins dans les tiges. Dégâts pouvant être importants dans les tiges fines? (mil céréalier)	
7. Pucerons: -*Aphis maidis* Fitch -*Aphis sorghi* Thes	Piqûres peu importantes sur le mil.	
8. Acariens: (ne sont pas des insectes mais justifient des mêmes moyens de lutte)	Déssèchement des feuilles (saison sèche).	
9. Criocères: -*Lema planifrons* Ws. -*Lema bomaensis* Jac.	Epiderme du mil mangé. Dégâts pouvant être graves si sécheresse en début de cycle se prolonge.	
10. Sauteriaux: (ou criquets sédentaires) plusieurs espèces dont: -*Oedaleus senegalensis* Kr. -*Oedaleus nigeriensis* Ur. -*Kraussaria angulifera* Kr.	Défoliation très grave quand sauteriaux réunis en co.	

Récapitulatif des insectes du mil (continuée).

Insectes nuisibles et autres ennemis du mil	Dégâts	Incidence de fréquence
De l'épiaison à la fin de la floraison. On peut citer 4,5,6 et ajouter:		
11. Cécidomyies -*Geromyia penniseti* Felt -*Diacracus* sp.	Ovaires dévorés par les larves avant la formation des grains. Dégâts graves sur mil dont l'épiaison survient au moment de la pleine reaction (semis retardés du Souna par rapport aux 1ères pluies, et semis en certaines circonstances.	
De l'épiasion à la fin de la floraison.		
12. Punaises, plusieurs espèces dont: -*Dysdercus* spp. -*Diplozys* spp.	Grains piqués au stade.	
13. Cétoines -*Pachnoda interrupta* Ol. -*Pachnoda marginota* Drury	Les grains du mil sont rongés par les adultes.	
14. Cantharides et mylabres, plusiers espèces dont: -*Psalydolytta* spp. -*Epicanta* spp.	Etamines dévouées avant anthère ou fleurs dévorées au moment de la floraison. Dégâts pouvant être graves quand insectes abondants, sur floraison tardive.	
15. Forficules -*Forficula senegalensis* Serv.	Etamines déjà fanées dévorées par les larves	
16. Chenilles des chandelles, plusieurs espèces dont: -*Heliothis armigera* (*Heliicoverpa*) -*Raghuva* spp. -*Masalia nubila* Hmps. -*Eublemma gayneri* Roths	Fleurs et grains en début de maturation dévorés (*Heliothis*, *Eblemona*). Formation de galeries en spirale entre les fleurs et le rachis-grains échaudés ou perdus (*Raghuva* spp. et *Masalia* spp.).	
Maturation. On peut citer 5,6,12,16.		

Liste des Ravageurs Communs au Sahel.

Semis

—fourmis diverses.
—oiseaux (perdreaux, pintages, tourterelles)
—rat

Plantules

—fourmis
—iules (mille-pattes)

Jeunes plants

—*Antherigona soccota* Rondani

Feuillages

—*Laphygma exempta*, L. exique (chenilles légionnaires)
—*Mytinna loreyi*
—*Amsacta moloneyi*
—*Rhopalosiphum maydis*
—*Voophilus costalis*
—Sauteriaux

Tiges

—*Busseola fusca* Hmps
—*Acigona ignefusalis*
—*Eldana saccharina*
—*Sesamia* spp.
—*Chilo diffusileneus*

Panicules

—Lépidoptères:
Heliothis armigera, Eublema gayneri, Pyroderces sp., *Sitogroga cerealella*

—Méloides:
genes, *Psalydolytta, Mylabris, Cylindrothores, Decapotoma affirmas*

—Hétéroptères:
Dysdercus spp., *Spilosthetus* sp., *Celideapa–bethiopica* Kirt.

—Coléoptères:
Idigia terminata

Grain stocks

—Coléoptères:
Sitophilus spp., *Rhyzoperta dominica, Tnibolium* spp.

—Lépidoptères:
Sitotroga cerelella, Coreyia caphalonica, Plaolia interpunctella.

Références bibliographiques

Appert, J. 1957. Les parasites animaux-plantes cultivées au Sénégal et au Soudan. Imprimées Paris. 272 pp.

Appert, J. et J. Deuse. 1982. Les ravageurs des cultures vivrières et maraîchères sous les tropiques. En **Techniques Agricoles et Productions Tropicales**. Editions G.P. Maisonneuve et Larouse. 420 pp.

Barnes, H.F. 1956. Gall midges of economic importance. VII. Cereal crops. Crobsby Lockwood, London, pp. 164-181.

Belanger, P. et A. Rioux. 1977. Recherches entomologiques en 1976 sur les principales cultures vivrières du Niger. Rapport Annuel, INRAN, CNRA de Tarna.

Bhatnagar, V.S. 1984. Rapport d'activité (nov. 1982-oct. 1984). Programme de Lutte Biologique. Project CILSS. Nioro du Rip. 78 pp.

Bonzie, S.M. 1979. La campagne de sorgho, *Contarinia sorghicola* Coq., en HV—possibilité de lutte. Compte rendu du Congrès sur la Lutte contre les Insectes en Milieu Tropical. Marseille, France. 13 au 16 mars, 1979.

Bonzie, S.M. 1981. Fluctuations saisonnières populations de la mouche des pousses de sorgho en Haute-Volta. Insect. Sci. Application 2(1): 59-62.

Bonzi, S.M. et Y.O. Doumbia. 1984. Importance de la cécidomyie en tant que facteur limitant dans la production du sorgho en Haute-Volta et au Mali. Communication Présentée à International Sorghum Entomology Workshop, Texas A&M University, College Station, Texas, USA. 15 au 21 juillet, 1984. 10 pages.

Bonzi, S.M., Y.O. Doumbia, et D. Dakou. 1984. La cécidomyie du sorgho en Afrique de l'Ouest: Séminaire sur les stratégies de lutte intégrée ennemis des principales cultures vivrières dans le Sahel. Niamey, Niger. 6 au 13 décembre, 1984. 9 pp.

Bonzie, S.M. et R.T. Gahukar. 1983. Préparation de la population d'*Atherigona soccota* Rondani (Diptère Muscidae et des espèces alliées) pendant la saison pluvieuse en Haute-Volta. L'Agriculture Tropicale 38(14): 331-334.

Bowden, J. 1956. New species of Africa stem borer (Agrotidae). Bulletin Entomology Res. 47: 415.

Bowden, J. 1965. Sorghum midge, *Contarinia sorghicola* Coq., and other causes of grain sorghum loss in Ghana. Bulletin Ent. Res. 56: 169-189.

Breniphère, J. 1970. Recherches entomologiques effectuées en Afrique de l'Ouest francophone en matière de sorgho et de mil. African Soils XV: 1,2,3.

Countin, R. 1968. Rapport de Mission de Recherche sur la cécidomyie des céréales en Afrique de l'ouest. Sept.-Oct. 1967, pp. 14-17.

Countin, R. 1969. The taxonomy, distribution and economic importance of the millet grain midge. Bulletin Ent. Res. 59: 259-273.

Countin, R. 1970. Biologie de la cécidomyie du sorgho, *Contarinia sorghicola*, et lutte chimique phytiatrie. Phytopharmacie 19: 68-83.

Dakou, D. 1981-1982. Rapports de synthèse 1980, 1981, 1982. IRAT HV Entomologie.

Dakou, D. et al. 1983. Rapport annuel de synthèse 1983. Projet Lutte Intégree. Composante N ionale Haute-Volta, 21 pp.

Doumbia, Y.O. 1980-1981. Rapports annuel entomologie PLJ, Bamako, Commission Technique des Productions Vivrières et Oléagineuses. IER-DRA SRCVO.

Doumbia, Y.O. 1983. Etude des insectes des panicules de sorgho. Commission Technique des Productions Vivrières et Oléagineuses (entomologie). Résultats de la Campagne, 1982, 1983. pp. 14-22.

Doumbia, Y.O., B. Sidibe et S.M. Bonzi. 1984. Rapport annuel 1983 (Entomologie Projet). CILSS. Bamako, Mali. 86 pp.

Gahukar, R.T. 1978. Annual report of the Senegal Cooperative, 1977. ICRISAT.

Gahukar, R.T. 1983. Rapport d'activités de l'hivernage, 1982. Programme d'entomologie. Programme CILSS. Nioro du Rip. 52 pp.

Gahukar, R.T. 1984. Insect pests of pearl millet in West Africa: a review. Tropical Pest Management 30(2): 142-147.

Gilstrap, F.E. 1979. Biological control in sorghum pests in elements of integrated control of sorghum pests. FAO, Rome. Plant Production and Protection Paper. 19 pp.

Guevremont, H. 1980. Recherches sur l'entomofaune du mil. Rapport Annuel de Recherches pour l'Année 1979. INRAN. CNRA de Tarna/Maradi (Niger), 48 pages.

Guevremont, H. 1981. Etudes sur l'entomofaune du mil. Rapport Annuel de Recherches pour l'Année 1979. INRAN. CNRA de Tarna/Maradi, Niger. 31 pp.

Guevremont, H. 1982. Etudes sur la mineuse de l'épi et autres insectes du mil. Rapport pour l'Année 1982. CNRA de Tarna/Maradi, Niger. 69 pp.

Guevremont, H. 1983. Recherches sur l'entomofaune du mil. Rapport Annuel de Recherches pour l'Année 1982. CNRA de Tarna/Maradi, Niger. 69 pp.

Harris, K.M. 1961. The sorghum midge, *Contarinia sorghicola*, in Nigeria. Bulletin Entomology Res. 52: 129-146.

Harris, K.M. 1962. Lepidopterus stem borers of cereals in Nigeria. Bulletin Entomology Res. 52: 139.

ICRISAT. 1980. Section entomologie, rapport annuel de 1979. Institut International de Recherches sur les Cultures des Zones Tropicales Semi-Arides (ICRISAT), Programme Coopératif. Ouagadougou, Haute Volta. 36 pages.

ICRISAT. 1981. Section entomologie, rapport annuel de 1980. ICRISAT, Centre Sahélien. Niamey, Niger. 18 pp.

ICRISAT. 1984. Summary of annual report 1983: millet entomology. ICRISAT Sahelian Center. Niamey, Niger. 3 pp.

Khoury, H. 1984. Rapport annuel 1983. Profil des Pertes. Projet CILSS (Lutte Intégrée). 43 pages.

LeClerc, P. 1962. Le moucheron du sorgho, *Contarinia sorghicola*, à Bombey, recherche d'une résistance variétale. Colloque CCTA/FAO. Dakar, 29 Août au 4 Septembre, 1982, en **L'Agr. Trop.** November 1962 XVII(11): 1029-1033.

Maiga, D.S. 1980. Recherches entomologiques sur le sorgho en 1979. Rapport Annuel. INRAN. CNRA de Tarna. 10 pp.

Maiga, D.S. 1984. Recherches entomologiques sur le mil. Rapport Annuel. INRAN. CNRA de Tarna. 16 pp.

Maiguizo, M. 1984. Rapport annuel 1983. Projet Lutte Intégrée, Programme de Lutte Biologique, Centre de Lutte Biologique. INRAN. Agadez. 8 pp.

N'Diaye, Ahmadou. 1984. Etude de la biologie et du cycle vital de *Raghuva albipunctella* Joan (Lep. Noctuidae), ravageur de *Pennisetum typhoides*, mil penicillaire au Niger. Thèse de Maîtrise en Biologie (non publiée). Université du Québec, Montréal, Canada.

N'Doye, M. 1977. Synthèse de quelques résultats sur les insectes foreurs des mil et sorgho au Sénégal. Bombey. ISRA-CNRA. 1977. 9 pp.

N'Doye, M. 1978. Données nouvelles sur la biologie et l'écologie au Sénégal de la chenille poilue du niébé *Amsacta moloneyi* Dre. (Lep. Arctidae), I. Voltinisme et dynamique des populations cahier. ORSTOM. Série Biologique XIII(4): 321-331.

N'Doye, M. 1979. L'entomofaune nuisible du mil à chandelle (*Pennisetum typhoides*) au Sénégal, en Proceedings du **Congres sur la Lutte contre les Insectes en Milieu Tropical**. Marseilles, France, du 13 au 16 Mars, 1979, pp. 515-530.

Nwanze, K.F. 1981a. ICRISAT, Upper Volta Annual Report 1980. Section Entomology. 18 pp.

Nwanze, K.F. 1981b. Les borers de tiges de céréales en Afrique de l'ouest sahelienne—importance relative et compte rendu du séminaire lutte biclogique contre les ravageurs et ses possibilités en Afrique de l'ouest. Dakar, du 9 au 13 Février 1981.

Risbec, J. 1950. La faune entomologique des cultures au Sénégal et au Soudan Français. Gouvernement Général de l'Afrique Occidentale Française. Jouve Paris. 640 pp.

Samir, M.S.A. 1984. Recherches entomologiques sur le sorgho. Rapport Annuel de la Campagne, 1983. INRAN. CNRA de Tarna/Maradi Niger, pp. 14.

Van Elsen, K. 1984. Rapport Annuel de la Campagne, 1984. INRAN-CILSS. Maradi, Niger.

Vercambre, B. 1978. *Raghuva* spp. et *Masalia* spp., chenilles des chandelles du mil en zone sahélienne. L'Agronomie Tropicale 33:(1): 62-79.

Young, W.R. 1980. Sixty-five years of research on the sorghum shootfly. Paper presented at International Workshop of Sorghum Shootfly. ICIPE. Nairobi, Kenya. May 4-8, 1980, 29pp..

Zethner, O. et S. Oliver. 1984. Annual Report, 1983. CILSS Project. Yudum, Gambia. 34 pp.

Discussion

Question (pour Maiga, par Reddy)

Dans la région de Filingué, au Niger, lors de la saison des récoltes de 1985, nous avons fait l'observation que les variétés précoces sont attaquées par *Raghuva*, mais il y a une exception notoire à cela. Moro, une des nombreuses variétés précoces testées, a constamment échappé à cette attaque. Cette variété de mil a des épis compacts. De sorte que j'aimerais savoir, si le Dr. Maiga a fait une étude quantitative de l'invasion de *Raghuva* en relation avec le fait que les épis sont compacts, ou si cela a un sens à ses yeux.

Réponse

La mineuse de l'épi, *Raghuva albipunctella* de Joanis s'attaque aux variétés de mil hâtives. Si la variété Moro bien que hâtive était moins attaquée, peut-être la compacité de cette variété est la cause de sa tolérance (ou de sa moindre de sensibilité) aux attaques de *Raghuva*. Au Sénégal, les travaux antérieurs sur les variétés locales n'ont montré aucune relation significative entre les dégâts, la compacité de l'épi, le nombre d'épillets et le diamètre de l'épi (CNRA, Bombay 1977).

Mais Vercambre (1978) a par la suite montré à l'aide de variétés type céréalier et traditionnel que les épis longs et compacts ayant une densité florale élevée sont en général moins attaqués et que les pédoncules floraux n'ont pratiquement pas d'influence sur l'action du ravageur. Au Niger, on n'a pas trouvé de liaison entre incidence du ravageur et les caractères suivants: compacité et grosseur de l'épi, longueur des pédoncules floraux et longueur des soies involucrales. Mais un ensemble de quelques caractères (gros épis, compacité des fleurs et des grains, soies involucrales courtes et pédoncles floraux d'une variété tel que la Souena malienne peut gêner l'activité des femelles et constituer un support moins propice (Guevremont, 1983).

Commentaire (par Andrews, pour Maiga)

A propos du fait qu'il y ait moins de *Raghuva* sur les millets de type compact:

Question (for Maiga, by Reddy)

In the Filingué area of Niger during the 1985 cropping season, we have observed that early varieties are attacked by *Raghuva*, but there was a striking exception to this. Moro, one of the several early varieties tested, has escaped this attack consistently. This millet variety has compact earheads. So, I would like to know if Dr. Maiga has done any quantification of *Raghuva* infestation in relation to earhead compactness or it makes some sense to him.

Response

The earhead miner, *Raghuva albipunctella* [Joanis], attacks early varieties of millet. If Moro, an early variety, were attacked less, it could be that the compactness of this variety is the cause of its tolerance (or its being less sensitive) to attacks by *Raghuva*. In Senegal, work previously done on local varieties has shown no significant relationship between the damage, the compactness of the earhead, the number of spikes and the diameter of the earhead (CNRA, Bombay, 1977). But Vercambre (1978) subsequently demonstrated to the advantage of traditional cereal varieties, that long and compact earheads having a higher floral density, are, in general, less subject to attack, and that the floral peduncles have practically no influence on the behavior of pests. In Niger, we haven't found a link between incidence of pests and the following characteristics: compactness and size of earhead, length of floral peduncles and length of silk. But some characteristics as a group, large earhead, compactness of flowers and grains, short silk and floral peduncles of a variety such as Souena malienne, can hinder the activity of the females and can be less favorable as support (Guevronment, 1983).

Comment (by Andrews, for Maiga)

In regard to the observations that there is less *Raghuva* on compact millets:

Cette observation a été faite ailleurs également; cependant, avant que les sélectionneurs ne tentent de manipuler ce "trait" il nous faut savoir ce qui contribue exactement aux attaques réduites. Est-ce (a) la densité (le nombre) de graines par cm^2 de surface, (b) le volume spatial interne faible de l'épi (c'est-à-dire, une fonction de la distance entre la surface du rachis et la base des fleurettes, ± la longueur du rachilla), (c) quelque autre facteur comme, par exemple, la densité ou le contenu de silice des trichomes sur les fleurettes et leurs tiges.

Commentaire (par Nwanze)

ICRISAT a mené des études sur le labour en fin de saison. Nous trouvons des résultats intéressants et des différences entre les parcelles labourées et le témoin, avec plus de survivants dans le témoin et à différentes profondeurs du sol. Vous pourrez voir ces résultats si vous le désirez.

Question (pour Maiga, par Gonda)

Le Decis est actuellement utilisé dans le traitement de *Raghuva*, ce produit est-il ovicide ou larvicide ou bien a-t-il les deux effets? Quelle est la meilleure période du traitement sur les plantes: pendant la ponte ou bien au moment de l'apparition des premiers signes d'attaque?

Réponse

Le Decis a les deux effets, c'est-à-dire, qu'il est à la fois ovicide et larvicide.

Le moment le plus propice pour appliquer les insecticides contre *Raghuva* est le moment où le mil a atteint 90% d'épiaison. Ce moment est important afin d'atteindre la majorité des épis. Un deuxième traitement est nécessaire en début de floraison. A mon avis, lorsque les dégâts commencent a être visibles il s'avère tout-à-fait inutile d'entreprendre des traitements. Car les chenilles agées demeurent sous un abri qui les soustrait complètement à l'action des insecticides. Quant aux jeunes, elles sont plus facile à combattre, car elles ne sont pas protégées.

This observation has been made elsewhere also, but before breeders attempt to manipulate this "trait" we need to know what exactly is contributing to the reduced attack. Is it (a) the density (number) of seeds per square centimeter, (b) the low internal space volume of the head (i.e. a function of the distance between the surface of the rachis and the base of the florette ± the rachilla length), (c) some other factor, eg. density or silica content of trichomes on florets and their stems.

Comment (by Nwanze)

ICRISAT has conducted some studies on tillage at the end of the season. We are finding interesting results and differences between plowed plots and control with higher numbers surviving in control and at various depths to the soil profile. You are welcome to see these results.

Question (for Maiga, by Gonda)

Decis is currently used in the treatment of *Raghuva*. Is this product an ovicide or a larvicide, or does it act as both? What is the best period in which to apply it to plants: during egg-laying or at the first signs of attack?

Response

Decis performs both roles. It is both an ovicide and a larvicide. The most advantageous time to apply insecticides for *Raghuva* is when the millet is 90% headed out. This timing is important for attaining the greatest number of earheads. A second application at the beginning of flowering is necessary. In my opinion, as soon as the damage begins to appear, it would be quite useless to begin applying the insecticide because the older caterpillars stay under a shelter that protects them completely from the effects of insecticides. As for the young caterpillars, they are easier to combat because they are not protected.

Commentaire (par Ahmadou)

Decis est un insecticide de synthèse. Même s'il est efficace pour les oeufs, je ne pense pas que des résultats probants sur *Raghuva* ont été obtenus. Le stade à traiter serait le deuxième et troisième stade larvaire de *Raghuva*, avec un produit systémique.

La compacité des grains jouerait un rôle peu important car les oeufs et les larves sont, au stade de la floraison et au début de l'épiaison de la plante, sous les pédoncules floraux. A la grainaison les dégâts sont déjà présents.

Comment (by Ahmadou)

Decis is a synthesis type insecticide. Even if it is effective for eggs, I don't think that convincing results upon *Raghuva* have been obtained. The stage to treat would be the second or third larval stages of *Raghuva*, with a systemic product.

The compactness of the grains would play an insiginificant role because the eggs and the larvae are under the floral peduncles of the plant at the flowering stage and the beginning of the earhead forming stage. At the grain-forming stage damage has already occurred.

Question (pour Maiga, par Adamou)

La cécidomyie est un problème sur les variétés les plus tardives pendant les années à fortes pluviométries quand ces variétés arrivent à mâturité. Est-ce que *Contarinia* continue à être un problème même si maintenant ces variétés n'arrivent pas à mâturité à cause de la sécheresse.

Question (for Maiga, by Adamou)

Midge is a problem with the latest varieties during years of heavy rainfall when these varieties reach maturity. Does *Contarinia* still continue to be a problem even though now these varieties do not reach maturity because of the drought?

Réponse

La cécidomyie du sorgho, *Contarinia sorghicola* Coq., s'attaque particulièrement aux variétés à floraison tardive.

De 1980 à ce jour il y a un déclin dans l'importance des populations de *C. sorghicola* compte tenu des conditions écologiques défavorables à son développement (diminition des précipitations annuelles).

Certes présentement la cécidomyie cause peu ou rarement de dégâts, néanmoins il conviendrait de continuer les études sur la bio-écologie de cet insecte, car d'une année à l'autre l'évolution de l'importance d'un ravageur peut changer.

Response

Sorghum midge, *Contarinia sorghicola* Coq., attacks varieties with late flowering in particular. From 1980 to the present there has been a decline in the importance of the *C. sorghicola* population, because of the ecological conditions unfavorable to its development (diminished annual rainfall). Certainly, midge presently causes little or rare damage. Nevertheless it is appropriate to continue studies on the bio-ecology of this insect because the evolution of the importance of a pest can change from one year to the next.

Question (pour Maiga, par Andrews)

A-t-on observé que *Raghuva* attaquait des herbes sauvages *Pennisetum* (par exemple, le *P. violaceum*, le *P. pedicellatum*)—autres que le chibras dont on sait déjà qu'il est attaqué?

Question (for Maiga, by Andrews)

Has *Raghuva* been observed to attack wild *Pennisetum* grasses (eg. *P. violaceum*, *P. pedicellatum*), not "shibras" which are already known to be attacked?

Réponse

Raghuva albipunctella de Joanis a pour plante-hôte principale *Pennisetum typhoïdes*. Mais des études menées au Sénégal ont démontré que le mil sauvage *Pennisetum violaceum* et son hybride (chibra) peut aussi abriter les larves de *Raghuva* à la fin de la saison des pluies.

Commentaire (for Maiga)

Raghuva, est un insecte sub-désertique que l'on trouve sur des graminées (genre mil sauvage). Le Front Intertropical (FIT) était descendu à cause de la sécheresse. L'aire géographique de *Raghuva* s'est étendue et a touché les zones de cultures: le mil, qui est une graminée, est devenu une culture, ou plutôt une nourriture, par excellence pour le nuisible. C'est pour cela que dans les zones de cultures on trouve que *Raghuva* est présente spécifiquement sur le mil.

Question (pour Maiga, par Nwanze)

Vous faites reférence à la non-préférence pour l'oviposition par *Raghuva*, comme à facteur qui aurait été étudié. J'aimerais savoir quels sont les paramètres qui ont été utilisés pour identifier la non-préférence pour l'oviposition.

Réponse

D'après Guevremont (1983) un ensemble de caractères (gros épis, compacité des fleurs et des grains, soies involucrales longues et pédoncules floraux très courts) peut gêner l'activité des femelles et constituer support moins propice. Pour établir les caractères de l'épi de mil influençant la ponte, les caractères suivants de l'épi ont été pris en considération:

—Diamètre et longueur de l'épi;
—Nombre et longueur des pédoncules florant;
—Densité des fleurs et des graines (compacité de l'épi);
—Longueur des soies involucrales.

Response

The principal host plant of *Raghuva albipuntella* [Joanis] is *Pennisetum typhoides*. But studies done in Senegal have shown that wild millet, *Pennisetum violaceum*, and its hybrid (shibra) can also harbor *Raghuva* larvae at the end of the rainy season.

Comment (for Maiga)

Raghuva is a sub-desert insect found on grasses (of the wild millet type). The Intertropical Front (FIT) descended because of the drought. The geographic area of *Raghuva* was extended and reached the crop zones: millet, a grass, became a crop, or rather a food source *par excellence* for the pest. It is for this reason that in the crop zones one finds that *Raghuva* is present specifically on millet.

Question (for Maiga, by Nwanze)

You referred to non-preference for oviposition by *Raghuva* as a factor that has been studied. I would like to know what parameters were measured to identify non-preference for oviposition?

Response

According to Guevremont (1983) a group of characteristics (large earheads, compactness of flowers and grains, long bristles, and very short floral peduncles) could hinder the activity of the females and be less favorable as support. To establish characteristics of the earhead of millet which influence egg laying, the following characteristics have been taken into consideration:

— Diameter and length of the earhead;
— Number and length of floral peduncles;
— Density of flowers and grains (compactness of the earhead);
— Length of bristles (awns).

Commentaire (pour Maiga, par Ahmadou)

Des études sur les ennemis du sorgho doivent être poursuivies même si les dégâts ne sont pas économiques. On prend conscience des insectes quand les dégâts deviennent un fléau. C'était le cas des aphis sur l'arachide quand en 1975 la production arachidière du Niger a été complètement décimée par *Aphis cracivora* présent auparavant à un stade très faible. Vu l'importance du sorgho en superficie et la production ces dernières années, l'accent doit être mis sur l'étude des insectes liés au sorgho et même des insectes liées à d'autres cultures qui prennent de l'importance.

Comment (for Maiga, by Ahmadou)

Studies of the enemies of sorghum must be pursued even if the damage is not economic. One becomes aware of the insects when the damage becomes a disaster. This was the case with aphis in peanuts in 1975, when peanut production in Niger was completely decimated by *Aphis cracivora* which was present earlier at a very low level. In view of the importance of sorghum in surface area and production these past years, emphasis must be placed on studies of insects that are linked to sorghum, and even on other insects that affect other crops which are becoming more important.

Niger Research on Head Bugs of Sorghum and Stem Borers of Millet

George L. Teetes and Frank E. Gilstrap
Texas A & M University

Abstract. Improvement of sorghum and millet commonly leads to increases in insect pest severity. Sorghum panicle-feeding, true bug species, and millet stem and head borers pose serious production constraints and collaborative research is underway to develop management strategies for these pests in Niger. The objectives of the INRAN/INTSORMIL collaborative entomological research on sorghum head bugs are to systematically collect panicle-feeding bugs for identification; assess head bug effect on sorghum grain yield and quality; determine the effect of panicle configuration on head bug density and damage; determine alternative hosts; and determine insect biology. The objectives of the INRAN/INTSORMIL/ICRISAT collaborative entomological research on millet stem and head borers are to identify the spectrum of alternative host plants of stem borers and associated natural enemies; characterize the biologies of extant borer enemies; and construct life-tables to identify the suppressive impact of natural enemies on borers.

Several species of bugs of the family Miridae, genus *Eurystylus*, are of most economic importance in terms of abundance and damage, specifically with respect to grain quality deterioration by harvest time. Bug infestations of significant magnitude tend to relate to more compact-panicle types of local and improved sorghum varieties. Eggs are laid at or soon after flowering and immature bugs are most abundant two to three weeks after flowering. Infested panicles often show little sign of injury during grain development, but observable damage is more apparent at or near grain maturity.

Over 10% of millet stalks examined were borer infested. At least eight different species of biological control agents emerged from one or both stemborer species (*Acigona* or *Sesamia* spp.). Of the eight, six are primary (beneficial) in habit and two were hyperparasites. *Syzeuctus senegalensis* (Benoit), a solitary endoparasite of the larval stage, was clearly the most abundant.

Recherche sur les Punaises de la Panicule du Sorgho et des Foreurs de la Tige du Mil au Niger

Résumé. L'utilisation des variétés améliorées du sorgho et du mil, comme nouvelles introductions, aboutit le plus souvent à une augmentation de la fréquence des gènes de virulence dans les populations d'insectes. Les hémiptères parasites du panicule du sorgho, et les "borers" de la tige et mineuses de l'épi du mil posent de sérieuses contraintes de production à ces cultures. Des recherches collaboratives sont en train d'être développées pour mettre au point des stratégies de lutte contre ces insectes au Niger. Les objectifs, du point de vue entomologique, de la recherche collaborative entre l'INRAN et l'INTSORMIL sur les insectes parasites de la panicule du sorgho sont: la collecte systématique de ces insectes pour leur identification; l'évaluation des effets de ces insectes sur le rendement et la qualité du grain; la détermination de l'effet de la configuration de la panicule sur la densité et les dégâts de ces insectes; la détermination des hôtes alternatifs; et finalement la détermination de la biologie de ces insectes. Les recherches entomologiques et collaboratives entre l'INRAN, l'INTSORMIL et l'ICRISAT sur le "borer" de la tige et la mineuse de l'épi du mil ont pour objet d'identifier le spectre des plantes-hôtes et les ennemis naturels de ces insectes; de caractériser les biologies de ces ennemies naturels; et de construire des tables de mortalité afin d'identifier l'impact suppressif des ennemies naturels sur les "borers".

Plusieurs espèces d'insectes de la famille des Miridae, genre *Eurystylus*, sont économiquement plus importants du point de vue abondance, et dégâts, concernant plus particulièrement la détérioration de la qualité du grain au moment de la récolte. Les infestations d'insectes, en quantité importante, tendent à être associées avec les panicules compactes des variétés locales et améliorées du sorgho. Les oeufs sont pondus pendant, ou juste après la floraison et les larves d'insectes sont plus abondantes deux à trois semaines après la floraison. Les panicules infestées montrent souvent peu de signes de dégâts pendant le développement du grain, et ce n'est qu'à la maturité que ces dégâts sont plus observables.

Plus de 10% des tiges du mil examinées sont infestés par le "borer". Au moins huit différentes espèces d'agents de lutte biologiques ont parasité les deux espèces de "borer" de tiges (*Acigona* ou *Sesamia* spp.). De ces huit espèces, six sont bénéfiques et deux sont des hyperparasites. *Syzeuctus senegalensis* (Benoit), un endoparasite solitaire des stades larvaires, est clairement le plus important.

Introduction

Relatively recent experiences continue to strongly support the contention that insect pest severity significantly increases when attempts are made to improve sorghum or millet production in the developing world. Local varieties are usually well adapted to a particular region, having been selected over long periods of time, but are often relatively low yielding. Sorghum and millet improvement through breeding and changes in agronomic practices have been documented to increase the severity of sorghum midge, stem borers, shootfly, panicle-feeding caterpillars and other insect pests. Sorghum panicle-feeding, true bug species, and millet stem and head borers have now become an addition to this already extensive list. Until fairly recently, the economic importance of panicle-feeding bugs has been a debated issue (Bowden 1965, Harris 1961, Young and Teetes 1977). However, there is now no doubt that these types of insects contribute significantly to losses in sorghum grain yield and deterioration of sorghum grain quality. The incidence of stem and head borers in millet has a long historical base in Africa, but real yield loss has been difficult to assess.

The real impact of sorghum head bugs in West Africa has yet to be well defined; however, it appears to mimic the already existing problem with *Calocoris* spp. in India that has followed the introduction of high yielding sorghum varieties, many of which are short season, compact panicle types. McFarland (1983) has provided an excellent assessment of the sorghum head bug species complex in Nigeria. He collected 17 species of Hemiptera from sorghum heads in Samaru and Kano in 1982 and 1983. He considered six of the species, *Eurystylus rufocanealis*, *Campylomma snustior*, *C. subflava*, *Paramixia saturalis*, *Taylorilygus vosseleri*, and *Creontiades pallidus* to be economically important. *E. rufocanealis* was the most abundant species and the one that caused most of the deterioration of sorghum grain quality. He also reported the existence of predatory spiders and insects, and parasitic Hymenoptera and Diptera and recommended several research objectives.

Pyralid and noctuid stemborers are common pests of African millet. These insects regularly cause serious crop losses to millet, but of variable severity depending on the location and year. Almost nothing is known regarding occurrence, species diversity, or biology of the parasite and predator control agents attacking these stemborers. When the extant natural control agents are known, prospects are excellent for significant reductions in West African stemborer infestations. Complete biological control has already been realized on closely related pests in other parts of the world.

Research program

Sorghum head bugs. The need for sorghum entomological research on the head bug complex and its association with yield and quality losses is certainly important as a complementary component of existing sorghum improvement programs in Niger. Deviation from the use of locally adapted, open-panicle sorghum varieties will surely intensify the head bug problem. A number of fundamental, fairly basic experiments were designed to acquire a better understanding of the nature and role of head bugs as sorghum pests, determine species composition and spacial and temporal distribution, and assess damage. The objectives of the current INRAN/INTSORMIL collaborative research are as follows:

1. Systematically collect head bugs at regular intervals at several locations for curation and identification in order to determine species composition, distribution and relative abundance;
2. Assess head bug damage to sorghum by varying density and infestation duration in order to determine the effect of head bugs on grain yield and quality;
3. Determine the effect of panicle configuration on head bug abundance and damage to sorghum;
4. Determine the alternate host plants of important head bug species in order to determine sources of head bug infestations and the mechanisms of off-season survival; and
5. Determine the biology of important head bug species.

The objectives described above are being conducted in cooperation with Dr. S. D. Maiga, INRAN entomologist at the Tarna Station at Maradi. The on-site INTSORMIL entomologist is Dr. Gary J. Steck, Research Associate, Texas A&M University, under the direction of Dr.

George L. Teetes.

Millet stem borers. The opportunities for biological control in Niger are numerous. Almost nothing is known regarding occurrence, species diversity, or biology of natural enemies attacking the stem and head borers of millet in Niger. Significant reductions in level of stem-borer and head girdler infestations in Niger are real prospects given better understanding of their extant natural enemies. Current research underway in Niger is on-site studies of biological control agents attacking stem borers. These studies are to determine the species, temporal phenology, and host affinities of extant parasites. The specific objectives are as follows:

1. Identify the spectrum of alternative host plants attacked by stem borers of millet and the affinities of associated parasites on each host plant;
2. Identify and characterize the biologies of extant natural enemies attacking stem borers of millet; and
3. Conduct life-table studies on the stem borers of millet in order to characterize the current suppressive impact of extant natural enemies.

The experiments described above will be conducted in cooperation with Dr. N. Nwanze at the ICRISAT Sahelian Center near Niamey. The on-site INTSORMIL entomologist is Mr. Ousmane Youm, Graduate Research Assistant, Texas A & M University, under the direction of Dr. Frank E. Gilstrap.

Research accomplishments

Sorghum head bugs. Numerous species of panicle-feeding bugs representing at least five families of the order Hemiptera were found infesting sorghum panicles in parts of Niger. Based on bug abundance and time of occurrence during kernel development, several species of the family Miridae, especially those of the genus *Eurystylus* are likely of most economic importance in terms of damage, specifically with respect to grain quality deterioration by harvest time. Species of the families Pentatomidae (stink bugs), Coreidae (leaf-footed bugs), Pyrrhocoridae (*Dyscerdus*), and Lygaeidae (*Spilostethus*) were common, but likely not significantly important based on abundance.

Bug infestations of significant magnitude tended to relate to more compact-panicle types of local and improved sorghum varieties. Of at least five common local varieties in Niger, only the early maturing, short-glumed, compact panicles of the "El Mota" variety grown on heavier soils was consistently found to be bug infested. Research in Mali has shown that compact panicles were not more heavily bug infested than semi-open or open panicles; sorghums with short glumes were significantly more heavily infested than medium or long glumed sorghums (ICRISAT 1984).

Only adult bugs were found in flowering or just flowered sorghum panicles. Immature bugs were present in panicles when grain was in the milk stage of development or later. Eggs are laid shortly after panicle flower, and are inserted into the seed. Immature bugs were most abundant about two to three weeks after flowering. Bug density in mature sorghum panicles was low, indicating life cycle completion and/or non-preference for mature grain.

In spite of heavy bug infestations in some sorghum panicles of some compact panicle type sorghum varieties, apparent damage was limited. Some kernel spotting was evident, but easily confused with kernel staining by other causes. Damage by head bugs characteristically results from their sucking juices from developing grain, the rachis and rachis branches. Damaged kernels usually do not develop fully and are considerably smaller, softer, and lighter in weight than undamaged kernels. Often the bug damaged kernels are infected with fungi that cause the kernel to darken in color and results in further deterioration of quality. The extent of damage usually depends on species, bug density, grain development stage when infestation occurs, and the duration of the infestation.

The lack of apparent physically visible damage is likely common at the time and grain development stage when bugs are most abundant in the panicle. Significant and observable damage is likely to be more apparent at or near grain maturity, especially when maturation occurs during rainy or high relative humidity periods when pathogenic fungi also become a component of the grain quality deterioration process.

Millet stem borers. During 1983, initial steps were taken to begin a program of biological control for stem borers on millet in Niger. Samples of millet were collected during August to determine what species of parasites attack the

stemborers. In order to maximize information regarding stemborers and their associated biological control agents, the study was confined to plantings located at INRAN research stations at N'Dounga and Kolo. These plantings were readily available, were in the proper stage of development for stemborer infestation, and the plants used as samples could be destroyed without causing loss to a farmer. The millet sampled was in INRAN research nursery plots and was 2-4 weeks ahead of millet planted by local farmers.

The sampled millet was rather heavily infested with stemborers, despite the seasonal earliness of the study, and the stemborers were in turn heavily parasitized by a rich complex of parasites. Data regarding the frequency of stemborer infestation were collected from 100 randomly selected hills. These data revealed that a mean of 10.9 plants (S.D. = 2.6, range = 5-15) were present per planted hill. Of the nearly 11 plants/hill, an average of 1.75 plants (S.D. = 1.1, range = 1-5) plants were infested with stemborers. The stemborer infestation was dense enough to cause visible damage in only one small part (about 50 hills) of a research plot at N'Dounga. Nearly every plant in this area was severely stunted, but each had frequent tillering and apparently would survive the infestation to produce a crop. Gramineous non-crop plants were sampled adjacent to the research plots, but revealed no stemborers.

All stemborers collected (larvae and pupae) were each placed in an 8 dram shell vial along with a short section of millet stem, sealed with a cotton plug, and shipped to the quarantine facility at Texas A & M University. Quarantine in Texas was needed only to protect against accidental introduction of a Nigerien stemborer into the U.S.A. Shipped vials were checked daily after arrival in Texas, and emerging insects were given tentative identifications (Table 1). The identifications revealed at least eight different species of biological control

Table 1. Results of collections from millet near Niamey during August, 1983.

Category	Total Number	Percent of Total/Category
Host larva/pupae (N=306)		
Acigona ignefusalis	227	74.2
Sesamia spp.	15	4.9
Not adequate for identification	64	20.9
Parasitized/Preyed Upon	87	28.4
Biological control agents (N=87)		
Syzeuctus senegalensis (Benoit)	43	49.4
Phoridae	10	11.5
Sarcophagidae (2 spp.)	10	11.5
Not identifiable	10	11.5
Suripia spp.	9	10.3
Chalcididae	3	3.4
Ceraphronidae (hyperparasite?)	1	1.1
Eurytomidae (hyperparasite?)	1	1.1
Total Natural Enemies Produced	87	100.0

agents emerging from one or both stemborer species. Of these eight, six are apparently primary (beneficial) in habit and two (Ceraphronidae and Eurytomidae) are probably hyperparasites (nonbeneficial) attacking primary parasites and not the stemborers. *Syzeyctus senegalensis* (Benoit) (Hymenoptera: Braconidae), a solitary endoparasite of the larval stage, was clearly the most abundant primary parasite accounting for nearly 50% of all biological control agents collected. Three species of predators (larval Diptera; 1 spp. of Phoridae, 2 spp. of Sarcophagidae) were obtained and collectively were the next most abundant group of biological control agents (23%). Nine specimens of *Euripia* spp. (Hymenoptera: Braconidae) and three of a chalcidid (Hymenoptera: Chalcididae) were obtained from collected larvae and pupae. The *Euripia* is a solitary endoparasite of stemborer pupae. Ten of the collected larvae were definitely parasitized, but did not produce adult parasites.

Expectations

Sorghum head bugs. Sorghum head bug research was begun in the form of long-term on-site collaboration with INRAN in August 1985. The results of the initial investigations are not part of this report. It is obvious that the most important research need is damage assessment. Data on this subject will set other priority needs such as biology, alternative hosts, off-season survival, etc. It is expected that bugs will be found to be damaging and likely to require some means of suppression. Control may come in the form of changing panicle characteristics. Other options will be investigated. Since the head bug problem is relatively new, it is expected that the conditions that led to their increased importance can be identified and hopefully corrected. It is also important to note that the head bug situation is one, like others, that occurs when attempts are made to change from local, adapted types to improved sorghum types. This happening is one of which we must be constantly aware and guard against.

Millet stem borers. The results anticipated from the intensive research on stemborers during 1986-8 will identify the extant stemborer control agents and characterize their respective biologies. This information is needed to ascertain whether any of the natural enemies are important enough to merit conservation by crop residue management, alternative host plant management, or some other tactic to preserve their numbers. The information gained during 1986-8 (available niches, likely non-crop host plants available for parasite survival during the dry season, etc.) will also permit knowledgeable decisions on importation of exotic parasites of stemborers from other parts of the world. The most likely sources for such parasites are Mexico, Central and South America, India and Pakistan.

References

Bowden, J. 1965. Sorghum midge, *Contarinia sorghicola* (Coq.) and other causes of grain-sorghum loss in Ghana. Bull. Entomol. Res. 56 (1):169-189.

Harris, K.M. 1961. The sorghum midge, *Contarinia sorghicola* (Coq.) in Nigeria. Bull. Entomol. Res. 52:129-146.

McFarland, J. 1983. Sorghum head insects. Entomolgy Program, Final Report. ICRISAT/SAFGRAD/IAR. 41 pp.

Young, W.R. and G.L. Teetes. 1977. Sorghum entomology. Ann. Rev. Entomol. 22:193-218.

Discussion (Session V)

Question (pour Teetes, par Adamou)

Il semble que les punaises de la panicule font plus de dégâts sur les panicules les plus compactes. Si une région entière ne cultivait que des variétés à panicules lâches ces punaises ne retourneraient-elles pas aux variétés lâches?

Réponse

D'autres facteurs ajoutés au relâchement des panicules, influencent la densité et les dommages provoqués par les insectes. Ceci est basé sur des expériences au Mali Les variétés locales ont des panicules lâches et ne sont pas sévèrement infestées par les insectes. La caractèristique de panicule lâche ne résoudra probablement pas le problème des insectes de tête en soit. Nous savons, à tout le moins, que la longueur des glumes, et d'autres caractèristiques des glumes ont un certain effet sur la densité et les dégâts dûs aux punaises.

Question (for Teetes, by Adamou)

It seems that bugs in the panicles do the most damage in the most compact ones. If an entire region were to cultivate only those varieties with loose panicles, wouldn't these bugs then come back to the loose-panicled varieties?

Response

Other factors combined with panicle looseness influence bug density and damage. Based on experiences in Mali, the local varieties there have loose panicles and are not heavily bug infested. However, local varieties in Niger with loose panicles are often infested. The character of loose panicles alone will not likely solve the headbug problem. Also, we at least know that glume length and other glume characters affect bug density and damage.

Question (pour Teetes, par Nwanze)

Des études ont montré que la population de parasites perforateurs de tiges de millet et de sorgho dans l'Afrique de l'Ouest, attein des proportions considérables seulement vers la fin de la saison, lorsque la plupart des dégâts de perforation a eu lieu.

J'apprécie l'importance qu'INTSORMIL accorde à ce genre de contrôle, mais considérez-vous que le contrôle biologique soit une méthode de contrôle viable?

Réponse

Il est vrai que le parasitisme naturel des borers de tiges est habituellement bas (1 à 10%) et tardif. Notre recherche collaborative a pour but d'identifier les facteurs qui permettraient de supprimer l'abondance de parasites, et de voir s'il est possible de les lâcher, afin d'améliorer l'efficacité contre les parasites. D'autre part, l'approche du contrôle biologique classique qui se sert d'espèces exotiques de parasites, pourrait être utilisée pour remplir des niches particulières.

Question (for Teetes, by Nwanze)

Studies have shown that the population of parasites of stemborers of millet and sorghum in West Africa reach important proportions only towards the end of the season when most borer damage has been done. I appreciate the emphasis being placed by INTSORMIL on this mode of control. Do you consider biological control a viable control method?

Response

It is true that natural stemborer parasitism is usually fairly low (1-10%) and late. Our collaborative research is intended to identify the factors that suppress parasite abundance to see if these can be released to improve parasite effectiveness. Also, the classical biological control approach using introduced exotic parasite species might be used to fill particular niches.

Question (pour Teetes, par Hassane)

Dans le cadre des études sur l'infestation des punaises et la compacité de l'épi, est-ce que vous avez étudié le cas extrême de compacité des sorgho de décrue du fleuve où une seule couche de graine est exposée aux insectes.

Réponse

J'ai vu des têtes tellement serrées, que cela leur permettait d'éviter les dégâts provoqués par les punaises de l'épi. Mais même des panicules très denses, restent sensibles aux insectes qui se nourrissent à la surface extérieure de la panicule.

Question (for Teetes, by Hassane)

Within the framework of bug infestation and earhead compactness, have you studied the extreme case of recessional sorghum compactness where only one layer of grain is exposed to insects?

Response

I have seen heads which were so tight that they avoided head bug damage. But even very dense panicles are still susceptible to bugs which feed on exterior surfaces of the panicle.

Situation Actuelle de la Recherche en Pathologie Végétale au Niger

Hamma Hassane
INRAN

Résumé. Bien que les maladies des plantes aient été reconnues de très longue date comme facteurs importants pouvant contribuer à la diminution de la quantité et de la qualité de la production agricole, ce domaine souffre encore de manque de personnel par rapport aux autres disciplines de la protection des cultures. Le cas du Niger est particulièrement alarmant: en plus du manque de personnel nigérien, même dans le cadre des projets nous n'avons jamais eu de pathologiste expatrié.

Au Niger les travaux de recherche en pathologie végétale ont été axés surtout sur l'évaluation de la sévérité du charbon (*Tolyposporium penicillariae*), la résistance variétale au charbon et au mildiou (*Sclerospora graminicola*). De ces études il ressort que les pertes dues au charbon ces dernières années ont été faibles au Niger. Les recherches dans le domaine de la résistance variétale indique la possibilité de trouver des variétés ou des lignées résistantes. Pour la résistance contre le mildiou et le traitement des semences contre ce champignon, la faible pression parasitaire due au climat n'a pas permis d'avoir des résultats.

The Current Status of Plant Pathology Research in Niger

Abstract. Although plant diseases have been recognized for quite a long time as an important factor contributing to the reduction in the quantity and quality of agricultural production, this field still suffers from a lack of personnel when compared to other crop protection disciplines. The situation in Niger is particularly alarming. Not only is there a serious lack of Nigerien personnel, but even within the context of the projects, we have never had an expatriate pathologist. In Niger, plant pathology research has focused mainly on the evaluation of the severity of smut (*Tolyposporium penicillariae*) and on varietal resistance to smut and mildew (*Sclerospora graminicola*). It was shown by these studies that, during these latter years, crop losses caused by smut have been low in Niger. The research relating to varietal resistance indicates that there is a potential for finding resistant varieties and lines. As for resistance to downy mildew and the treatment of seed against this fungus, the negligible impact of these parasites, due to climatic influences, did not allow for meaningful results.

1. Evaluation de la sévérité du charbon dans les conditions naturelles à Tarna

Tout d'abord nous avons essayé d'avoir une idée de l'importance économique du charbon du mil. Pour cela plusieurs cultivars de mil ont été observés à Tarna, en station pour ce qui est de l'importance de l'infection du mil par le charbon (*Tolyposporium penicillariae*), dans les conditions naturelles à Tarna et en champs paysans à travers le pays.

Les cultivars de mil sont produits dans les conditions recommandées par la recherche et après la récolte la sévérité du charbon (c'est-à-dire le pourcentage de graines charbonnées) est évaluée à l'aide de la clé de sévérité du charbon de l'ICRISAT.

Au cours de la campagne 1984, les résultats suivants ont été obtenus: Tableau 1 = Nombre d'épis selon la sévérité du charbon à Tarna.

Du tableau 2, il ressort que pour chacune des variétés plus de 60% des épis sont sains et que plus la sévérité augmente plus le pourcentage d'épis diminue.

Cette faible sévérité du charbon est due en partie aux conditions d'humidité défavorables à l'agent causal de cette maladie. En effet, le mois d'août, période d'épiaison du mil et également de l'infection a été assez sec — (voir Tableau de la pluviométrie à Tarna).

Malgré tout, les analyses statistiques ont décelé une différence significative entre les cultivars.

Ci-dessous, il n'y a pas de différence significative entre les cultivars suivis d'une même lettre

3/4HK	a
HKP	ab
P3 Kolo	b
Ankoutess	ab
T18L	a
ITMV 8001	a
CIVT	b
HKP3	a
Tchinin-Bijini	ab
DG P1	ab
H80 10GR	
Moro	a
Souna III	
GRP1	b

Le Tableau ci-dessus nous permet de conclure que le charbon du mil n'a pas été important à Tarna ces dernières années. Cependant la sévérité de 1983 nous laisse supposer que le charbon peut, en années favorables, être un problème important.

Tableau 1. Nombre d'épis selon la sévérité du charbon à Tarna.

Variétés	0%	1%	5%	10%	20%	35%	50%	75%	90%	Nombre d'épis
3/4 HP	101	11	7	5	1	1	0	0	-	126
HPK	104	25	17	8	6	0	0	0	-	160
P3 Kolo	130	9	22	14	1	0	0	0	-	176
Ankoutess	93	25	11	13	7	0	0	0	-	149
T18	112	21	14	8	2	0	0	0	-	157
ITMV 8001	126	21	16	8	2	0	0	0	-	173
CIVT	140	37	22	8	2	0	0	0	-	228
HKP3	112	17	23	7	2	0	1	0	-	162
Tchinin-Bijini	98	11	15	10	7	0	0	0	-	141
DGP1	151	20	20	4	11	2	0	0	-	208
H80 10GR	100	19	18	16	2	4	0	0	-	159
Moro	167	14	8	10	3	0	0	0	-	202
Souna III	7	-	1	1	0	0	0	0	-	9
GRP1	105	15	23	17	11	3	0	0	-	174

Tableau 2. Pour cent d'épis selon la sévérité du charbon à Tarna.

Variétés	Sévérité (%)									
	0	1	5	10	20	35	50	75	90	Total
3/4HK	80,1	8,7	5,55	3,96	0,79	0,79				100%
HKP	65,00	15,6	10,6	5,00	3,75					100%
P3 Kolo	73,86	5,11	12,5	7,95	0,5					100%
Ankoutess	62,41	16,77	7,38	8,72	4,69					100%
T18L	71,33	13,37	8,91	5,09	1,27					100%
ITMV 8001	72,83	12,13	9,24	4,62	1,15					100%
CIVT	61,40	16,22	9,64	8,33	3,50	0,87				100%
HKP3	69,13	10,49	14,19	4,32	1,23		0,61			100%
Tchinin-Bijini	69,50	7,80	10,63	7,09	4,96					100%
DGP1	72,59	9,61	9,61	1,92	5,28	0,96				100%
H80 10GR	62,89	11,94	11,32	10,06	1,25	2,51				100%
Moro	82,67	6,93	3,96	4,95	1,48					100%
Souna III	77,77		11,11	11,11						100%
GRP1	60,34	8,62	13,21	9,77	6,32	1,72				100%

2. Résistance du mil au charbon (*Tolyposporium penicillariae*)

Comme l'infection pour le charbon a lieu entre le début de l'émergence de l'épi et la fertilisation, il s'avère que la seule méthode de lutte possible est la résistance variétale, nous avons entrepris des recherches dans ce domaine.

Les cultivars sont inoculés artificiellement avec une suspension des spores du champignon. L'inoculum provient des épis infectés récoltés lors de la campagne précédente. L'inoculum consiste à introduire une suspension de spores dans l'eau, dans la gaine paniculaire juste avant le début de l'émergence de l'épi à l'aide d'une seringue. Les épis sont recouverts de sacs d'autofécondation. Pour favoriser l'infection, nous apportons une irrigation par aspersion d'une demi-heure le jour de l'inoculation et les 2 jours suivants. A la récolte, la sévérité est évaluée à l'aide de la même clé de l'ICRISAT.

Les épis infectés de 0 à 10% sont utilisés comme semences pour la saison suivante. Cette méthode doit nous permettre de déceler les cultivars les moins sensibles et en même temps les lignées les moins sensibles dans chacun des cultivars testés.

En plus de Tarna, la sévérité du charbon a été évaluée en champs paysans pendant la campagne 1984. Les résultats sont résumés dans le Tableau 4 qui indique également une faible sévérité en 1984.

Tableau 3. Sévérité moyenne des variété au cours de la campagne 1984.

Cultivars	Sévérité en %
3/4 HK	1,04
HKP	1,65
P3 Kolo	1,62
Ankoutess	1,95
T18L	1,34
ITMV 8001	1,21
CIVT	2,48
HKP3	1,58
Tchinin-Bijini	2,26
DG P1	2,18
H80 10GR	2,80
Moro	1,23
Souna III	1,66
GRP1	3,16

Tableau 4. Sévérité moyenne du charbon au cours des dernières années.

Cultivars	Années						
	1979	1980	1981	1982	1983	1984	Moyennes
Ankoutess	2,14	1,43	2,23	0,97	8,53	1,95	2,875
Boudouma	2,79	2,24	0,95	0,96	0,56	-	1,50
CIVT	1,45	1,27	1,13	0,97	6,66	2,48	2,326
Dan Gombé	2,66	2,17	0,65	1,00	-	-	1,62
3/4HK	3,10	4,88	2,05	0,81	7,40	1,04	3,123
HKN	1,56	0,86	1,23	1,21	-	-	1,21
HKP	1,88	1,05	2,20	0,80	6,37	1,65	2,32
Moro	1,66	1,40	2,15	0,31	5,23	1,23	1,99
P3 Kolo	1,15	0,72	1,00	0,56	6,06	1,62	1,25
3/4 Seno	2,84	2,90	1,70	1,25	-	-	2,17
Tchinin-Bijini	2,22	1,78	0,6	0,77	5,75	2,26	2,24
Zanfarwa	1,32	0,88	0,50	0,60	-	-	0,825
Zongo	-	0,42	0,52	0,38	-	-	0,44
Don Gomé	-	-	-	-	-	-	-
T18L	-	-	-	-	6,32	1,32	3,82
DGP1	-	-	-	-	7,93	2,19	5,05
H8010GR	-	-	-	-	5,42	2,80	4,11
GRP1	-	-	-	-	7,36	3,16	5,26
Souna III	-	-	-	-	4,27	1,66	2,96
ITMV 8001	-	-	-	-	6,88	1,21	4,045
HKP3	-	-	0,60	1,23	4,97	1,58	2,095

Tableau 5. Sévérité du charbon dans les conditions naturelles en champs paysans dans les postes d'observation.

Variétés	Postes									Moyenne
	Magaria	Chikal	Kala Paté	Konni	Diffa	Bengou	Ouallam	Niamey	Maradi	
P3 Kolo	5,20%(3) [a]	-	-	-	-	-	-	-	-	5,20
HK	-	-	-	-	-	0,53(4)	-	-	-	0,53
HKP	-	-	-	-	0,67(1)	-	1,23(3)	-	-	0,95
CIVT	-	-	-	1,03(2)	-	-	-	-	-	1,03
Ba Angour	5,90%(1)	-	-	-	-	-	-	-	-	5,90
Moro	-	-	-	-	0,37(1)	-	-	-	-	0,37
Locales	-	-	-	-	7,80(2)	-	-	-	-	7,80
Autres variétés	-	-	-	-	-	-	-	-	0,12(13)	0,12

[a] Les nombres entre parenthèses indiquent le nombre de champs échantillonnés.

Tableau 6. Sévérité moyenne du charbon sous inoculation artificielle.

Cultivars	1982	1983	1984
Ankoutess	15,44	36,35	22,19
CIVT	15,06	29,70	9,85
3/4 HK	14,25	47,00	11,50
HKP3	6,60	32,00	13,00
Tchinin-Bijini	10,63	42,81	10,90
Moro	8,67	21,70	15,16
HKP	9,75	29,42	8,75
T18L	-	24,70	19,75
DGP1	-	26,80	24,75
H80-10GR	-	24,43	19,00
GRP1	-	43,31	4,00
P3 Kolo	9,05	32,40	14,87
Souna III	-	15,40	8,97
ITMV 8001	-	32,00	14,10
Zongo	6,38	-	-
Zanfarwa	11,25	-	-
3/4 Seno	13,94	-	-
HKN	6,61	-	-
Dan Gombé	12,53	-	-
Boudouma	5,51	-	-
ITMV			

NB: Il n'y a pas eu d'irrigation en 1982. Les semences utilisées en 1983 n'ont pas été autofécondées.

Les résultats des trois dernières années sont résumés dans le Tableau 6. En se référant au Tableau 6, on voit une nette amélioration de la méthode due à l'irrigation par aspersion après l'inoculation.

De même, le fait d'avoir choisi les épis inoculés les moins infectés comme source de semences a réduit la sévérité en 1984.

La résistance du mil au mildiou (*Sclerospora graminicola*) et les traitements des semences contre le mildiou à l'aide de métalascyl, un fongicide systémique, la très faible pression parasitaire n'ont pas permis d'avoir des résultats exploitables à Tarna et à Bengou.

Discussion (Session V)

Question (po Hassane, par Clark)

Bien que le charbon allongé, *Tolyposporium ehrenbergii*, soit fort courant aux centres de recherche de Kolo, Tarna, et Bengou, quelle importance accordez-vous à cette maladie du sorgho dans les champs d'agriculteurs?

Réponse

Pour les maladies mentionnées, j'ai des specimen dans un herbier à Maradi. Le charbon allongé devient de plus en plus important avec ces dernières années de sécheresse. Les enquêtes dans les postes d'observation du PLI nous permettront d'apprécier l'importance de cette maladie.

Commentaire (par Clark)

Comme vous le savez, la zone de haute pluviométrie près de Bengou au sud du Niger est favorable au développement des maladies des feuilles. Bien que leur importance économique peut être faible, seulement pour noter, je voudrais enregistrer six maladies des feuilles que nous avons trouvées cette année à la station de l'INRAN à Bengou. Celles-ci sont:

Rough spot, *Aschochyta sorgina*;
Oval spot, *Ramulispora sorghicola*;
Zonate leaf spot, *Gloeocercospora sorghi*;
Gray leaf spot, *Arcospora sorghi*;
Sooty stripe, *Ramolispora sorghi*;
Bacterial stripe, *Pseudomonas andropogoni*.

Commentaire (par Rosenow)

A ajouter au commentaire de Clark sur l'énumération des maladies du sorgho. Voici d'autres maladies que j'ai trouvées sur le sorgho, au Niger:

Pourriture de la tige, *Macrophomina phaseolina*;
Anthracnose, *Colletotrichum graminicola*;
Stries bactériennes, *Xanthomonas holcicola*;
Moisissures de grain, plusieurs espèces;
Charbon de la panicule, *Sphacelotheca reiliana*.

Question (for Hassane, by Clark)

Although long smut, *Tolyposporium ehrenbergii*, is quite common at the research stations, Kolo, Tarna and Bengou, how important do you consider this sorghum disease to be in farmers' fields?

Response

I have specimens of the diseases mentioned above in an herbarium at Maradi. During these last few years of the drought, long smut has become more and more important. Studies done at the PLI observation posts will allow us to understand the extent and importance of this disease.

Comment (by Clark)

As you know, the high rainfall zone near Bengou in the south of Niger is very favorable to the development of foliar diseases. Although their economic importance may be quite small, just for the record, I would like to list six foliar diseases we found this year at the Bengou Station of INRAN. These are:

Rough spot, *Aschochyta sorgina*;
Oval spot, *Ramulispora sorghicola*;
Zonate leaf spot, *Gloeocercospora sorghi*;
Gray leaf spot, *Arcospora sorghi*;
Sooty stripe, *Ramolispora sorghi*;
Bacterial stripe, *Pseudomonas andropogoni*.

Comment (by Rosenow)

To be added to Clark's comment on listing of sorghum diseases. The following is a list of other diseases which I have found in Niger on sorghum:

Charcoal rot, *Macrophomia phaseolina*;
Anthracnose, *Colletotrichum graminicola*;
Bacterial streak, *Xanthomonas holcicola*;
Grain mold, several species;
Head smut, *Sphacelotheca reiliana*.

Striga and the *Striga* Programme of the Integrated Pest Management Project in Niger

Derek Laycock, Mani Tanko, and Karl van Elsen
F.A.O.

Abstract. The genus *Striga* consists of about 30 species of root parasites causing considerable losses to crops in the semi-arid tropics. Individual plants produce up to 40 000 minute seeds (0.2-0.5 mm) which are dispersed by wind and water. Germination requires very specific conditions, and seeds may remain dormant for upwards of 20 years. A ripening period followed by a wetting period is needed before the seed is able to respond to a germination stimulant produced by the host. Host roots must be in close proximity to the *Striga* seed for parasitism to be successful. After a period underground, the *Striga* emerges to flower and produce seed.

The second part of the paper outlines the PLI program specific to *Striga* in cereals initiated in 1985. An agronomic approach is used to investigate and develop low cost packages for farmers to reduce or eliminate *Striga* at minimum additional cost. These include the use of fertilizer, intercropping and resistant varieties. *Striga hermonthica* is present on millet throughout eastern and western parts of Niger but only on sorghum in western areas. *Striga aspera* has been found on millet, but mostly occurs on wild grasses. The trials from this season are currently being harvested.

Striga et le Programme de Lutte Intégrée contre *Striga* au Niger

Résumé. Le genre *Striga* se compose de trente espèces de parasites racinaires causant des pertes considérables aux cultures dans les tropiques semi-arides. Chaque plante peut produire jusqu'à 40 000 petites graines (0,2-0,5mm) qui sont dissipées par le vent et l'eau. La germination des semences demande des conditions très spécifiques. Ces graines peuvent être dormantes pour une période de plus de 20 ans. Une période de maturité suivie d'imbibition sont nécessaires pour la réponse de la graine au stimulant germinatif produit par la plante-hôte. Les racines de l'hôte doivent être dans la proximité de la semence de *Striga* pour la réussite du parasitisme. Après une certaine période sous le sol, la plante de *Striga* émerge pour fleurir et produire des semences.

La seconde partie de cet article présente les grandes lignes du programme PLI, initié en 1985, spécifique au *Striga* chez les céréales. Une approche agronomique est utilisée pour étudier et développer des méthodes de lutte peu coûteuses pour réduire ou éradiquer *Striga* des champs des agriculteurs avec un coût supplémentaire minimal. Ces méthodes comprennent l'utilisation des engrais, l'association des cultures, et les variétés résistants. *Striga hermonthica* est présent dans les champs de mil à travers les régions de l'Est et l'Ouest du Niger mais seulement dans le sorgho dans les régions de l'Ouest. *Striga aspera* s'est manifesté aussi chez le mil mais la majorité se trouve dans les graminées sauvages. Les essais de cette saison sont en train d'être récoltés.

Introduction

The growth of crop plants is seriously hampered by the parasitic weeds of the genus *Striga*. Yield losses of 25 — 50% commonly occur (Pieterse 1985) especially under conditions of low soil fertility and erratic rainfall. A strong preference for open grasslands in semi-arid tropical and sub-tropical regions is expressed by the genus, although recent surveys (Parkinson 1985) suggest *Striga* is an increasing problem in the more humid regions of West Africa, especially in maize and rice.

Striga species are root parasites initially completely dependent upon their hosts for food and water. On emergence above ground they produce chlorophyll and manufacture some of their own food, but because their efficiency for photosynthesis is low, some 20% of a normal plant, (Shah *et al.*, 1984), they continue to depend to a large degree on their host. Indeed, they are reported to be entirely dependent upon their host for nitrogen. A disturbance in the host hormone balance has been demonstrated by Dreene and El-Hiweris (1979). Parker (1974) showed a change in the partitioning of assimilates in favour of the root system in sorghum parasitised by *Striga*.

In recent years *Striga* has been the topic of several workshops (Ramaiah *et al.*, 1979; Parker *et al.*, 1985; Musselman *et al.*, 1979; EWRC, 1973), as well as the subject of various review articles (Parker, 1965; Musselman, 1980; Pieterse, 1983; Doggett, 1984). Basic and background research has recently made significant advances in understanding the biology and physiology of *Striga* species, however research on agronomic aspects has tended to be neglected in recent years.

Biology and Ecology

Systematics

The genus *Striga* consists of about 30-50 species, 23 of which occur in Africa. "All species of the genus *Striga* Lourieria that have been examined are parasitic and it is safe to assume that this behavior is found throughout the genus" (Musselman, 1984). *Striga* is a member of the family *Scrophulariaceae*, sub-family *Rhinanthoideae*. It is separated morphologically from other members of the *Rhinanthoideae* by unilocular anthers and a bilabiate corolla with a pronounced bend in the corolla tube.

The genus is currently under revision by Hepper and others. Musselman has conducted hybridization experiments at the Former Weed Research Organization in the UK to examine taxonomic points.

Striga species may be obligate out-crossers, as in the case of *S. hermonthica* (Safa *et al.*, 1984) which is dependent on bee-flies (Musselman, 1983), or inbreeders with a well-developed system of autogamy (Musselman, 1982) as with *S. asiatica* and *S. gesnerioides*.

Life cycle

Very specific conditions are required for the germination of *Striga* seeds. These include:

i) a post harvest ripening period;
ii) a "pre-treatment" or "pre-conditioning treatment" of one to five weeks where seeds need to be exposed to moisture (Parker, 1965; Pieterse *et al.*, 1984);
iii) an "impulse" from a chemical stimulant. This may be as an exudate from plant roots or produced artificially by ethylene or strigolan;
iv) a susceptible host root in close proximity (63 mm) to the germinating seed.

The radicle, a root like structure, protrudes out of the testa and transforms itself into a haustorium on contact with the host root. A chemical secretion from the root appears to be required. Contact with the host xylem follows. The anatomy and histochemistry of this contact zone have been extensively examined by Ba (1984).

Development of the *Striga* plant follows with production of adventitious roots, which in turn produce secondary haustoria. Frequently, these attach themselves to other nearby roots on the same or different host plants. The seedling grows underground for 4-6 weeks and flowers about a month after emergence. Seeds mature 2-4 weeks later.

The seeds are small, 0.2 to 0.5 mm long and contain an undifferentiated embryo. Estimates put seed production as high as 40 000 seeds per plant. Wind and water spread the seeds which remain viable from 6 months to more than 20 years.

Factors influencing Striga *growth*

Conditions favorable to *Striga* growth include low soil fertility, soil temperature and moisture as well as the presence of a susceptible host. These are discussed at length in the reviews already referred to above. The "pretreatment" of seeds in moist soil is most effective at relatively low temperatures, around 23°C, whereas seed germination has an optimum temperature around 33-36°C. This suggests the possibility of using intercrops to manipulate soil temperatures and in so doing reduce the incidence of *Striga* attack.

Symptoms of Striga *Attack*

Typical symptoms of *Striga* attack include a stunting of host shoot and chlorosis of leaves. In millet and sorghum, *S. hermonthica* may result in panicle failure and complete plant death. Chlorotic lesions are often observed on host leaves before the *Striga* emerges.

Control Measures

Striga control measures fall into two broad groups. First there are methods which reduce the *Striga* seed bank in the soil by preventing seed formation and the induction of suicidal germination. Secondly the environment may be modified to be unfavorable to *Striga* by the use of fertilizers, resistant varieties, rotations and cover crops. Control measures are well covered and discussed in the literature. Major points are tabulated below.

Striga *control measures and comments*

Effective over the long term but tedious and difficult where *Striga* populations are high.

Trap crops: *Striga* seeds are induced to germinate but no susceptible host is present. Mixed cropping is of value but rotation is better.

Catch Crops: Germination is induced by a susceptible host which is then destroyed. Unsuitable for small holder conditions where land is limited.

Nitrogen fertilizer: Effective but not always apparent except at high levels. Continual use of moderate levels.

Biological control: Populations reduced by disease and seed production decreased by *Smycronyx*. Requires further investigation.

Chemical control: Herbicides used to kill *Striga* and alternate grassy hosts. Induction of suicidal germination of seeds by ethylene and germination stimulants such as strigol. Currently too expensive for commercial use.

Resistance breeding: Resistant sorghum varieties are already available and sources of resistance have been identified in millet and maize. Varieties must be acceptable to the farmer. Resistance may vary from region to region with different races of *Striga*.

The Integrated Pest Management (IPM) Project's Striga Program in Cereals

The IPM program is a regional project financed by USAID, executed by CILSS with technical support from FAO. From conception, *Striga* was identified as a priority area of work although it is only in the fourth season of the project that qualified and experienced weed scientists have been at post. The current season is the first with a full weeds program, results from which are still being gathered. In previous years work has been restricted to surveys.

Overall objectives

i) Determine the distribution and frequency of *Striga* species by geographical location. This includes host specificity and environmental factors influencing the incidence of *Striga* and development of populations.
ii) Examine the influence of crop management and production practices on *Striga* with a view to develop production packages to eliminate or minimize the *Striga* problem.
iii) Estimate the reduction in crop productivity due to *Striga*.
iv) Examine and develop bio-control measures for *Striga*.

Approach

An agronomic approach is being used which utilizes ongoing programs such as the FAO-Niger Fertilizer Use Project, breeding programs specific to *Striga* and the INSAH regional variety trials, ICRISAT, and IITA/SAFGRAD programs and the intercropping trials of Dr.

Reddy. These investigations fall into three broad groups:

i) surveillance work,
ii) specific investigations,
iii) evaluation of cooperator trials and demonstrations.

Investigations

Investigations in millet and sorghum where appropriate are listed below:

1. *Striga* survey;
2. dynamics of *Striga* populations;
3. varietal resistance to *Striga*;
4. fertilizer use and *Striga*;
5. crop losses from *Striga* using an inoculum method;
6. estimate of yield losses from *Striga* using ethylene;
7. control of *Striga* by removal of plants;
8. weeding practices and *Striga* control;
9. intercropping and *Striga*;
10. preliminary survey for *Striga* biocontrol agents.

The majority of work has been conducted at two locations: ONRA-Tara and a farmer's field in the Magaria area. Weed work in general is best conducted on farmers' fields because weed floras on research stations are atypical. This is especially true for *Striga*.

Evaluation methods

Two numerical evaluation methods are being used and are complemented by a crop score. First we note the number of plants with and without *Striga* then count the numbers of *Striga* plants. Previous workers have tended to ignore the crop. This is a grave mistake because damage symptoms are frequently shown by the crop before the emergence of *Striga*; 1/2 crop numbers may also be reduced by *Striga* and thereby reducing the parasite population.

Preliminary results

Surveys

Striga hermonthica occurs on millet only to the east of Maradi, and on both sorghum and millet from Konni westwards, becoming more frequent on sorghum as one moves south and west. We have also noted this species on wild grasses but the connections found were secondary haustoria.

Striga aspera is usually found on roadside grasses and at the INRAN Magaria station. Host species include *Dectyloctenium aegypticul*, *Eragrostis tremula*, *Brachiaria* spp., *Cenchrus bifloris* and *Andropogon* spp. At three locations in the Zinder department we have found this species on millet.

Fertilizer use and soil fertility

Current programs are still under evaluation. Verbal reports from Project Maradi staff indicate that heavy infestations of *Striga* are reduced over a 4-6 year period by moderate rates of urea application each year. In other cases, there are conflicting reports from highly effective to no effect of urea on *Striga* numbers. Quantitative assessments are required.

Biological control

Leaf-eating insects and gall-forming larvae have been collected for identification.

Future work

Good *Striga* sites have been located on farmers' fields which are more suitable for work than the research stations. The resistant millet varieties from ORISAT should be further investigated and incorporated into a local breeding program. Agronomic aspects should concentrate on minimal input methods of control.

References

Ayensu, E.S., Doggett, H., Keynes, R.D., Marton-Lefevre, J., Musselman, L.J.Parker, C., and Pickering, A. (eds) 1984. *Striga*: **Biology and Control**. International Council of Scientific Unions Press, Paris. 216 pp.

Ba, A.T. 1984. Morphology, anatomy and ultrastructure of some parasitic species of the genus *Striga*.

Doggett, H. 1984. Striga—its biology and control. An overview. In *Striga*: **Biology and Control**. ICU Press, Paris.

Drennan, D.S.H., and Rl-Hiweris. 1979. Changes in growth regulating substances in *Sorghum vulgare* infected with *Striga hermenthica*. In **Proceedings of the 2nd Symposium on Parasitic Weeds**. Raleigh, pp. 144-155.

European Weed Research Council. 1973. Proceedings (First) International Symposium on Parasitic Weeds. Malta. 295 pp.

Hepper, F.N. 1963. *Scrophulariaceae*. In **Flora of West Tropical Africa**. (2nd Ed.) Vol 2 (Eds) J. Hutchinson and J.M. Dalziel. Crown Agents, London.

Kim, S.K., Khadr, F., Parkinson, V., Fajemisin, J., and Efron, Y. 1985. Maize breeding for *Striga* resistance in Africa. Proceedings FAO/OAU Striga Workshop. Yaounde, Cameroon.

Musselman, L.J. 1980. The biology of *Striga*, *Orbanche* and other root parastic weeds. Annual Review of Phytopathology 18: 463-489.

Musselman, L.J. 1982. Parasitic weeds of arable land. In **Biology and Ecology of Weeds**. (eds.) W. Holzner and N. Numata. pp. 169-179.

Musselman, L.J. 1984. Some taxonomic problems in the genus *Striga* with particular reference to Africa. Proceedings of the 3rd International Symposium on Parasitic Weeds. Allepe, Syria. pp. 53-57.

Musselman, L.J., Parker, C., and Dixon, N. 1982. Notes of autogamy and flower structure in agronomically important species of *Striga* (*Scrophulariaceae*) and *Orbanche* (*Orbanchaceae*). Beitr. Biol. Pflanzen 56: 329-343.

Musselman, L.J., Warsham, A.B., and Eplee, R.E. (eds.) 1979. Proceedings of the 2nd International Workshop on Parasitic Weeds. Raleigh. 296 pp.

Parker, C. 1965. The *Striga* problem—a review. PANS Section C III, pp. 99-111.

Parker, C. 1974. Pot experiments with herbicides for the control of *Striga* spp. Proceedings of the 5th East African Weed Control Conference. Niarobi.

Parker, C. 1984. The influence of *Striga* species on sorghum under varying nitrogen fertilization. Proceedings on the 3rd International Symposium on Parasitic Weeds. Aleppo, Syria. pp. 90-98.

Parker, C., Musselman, L.J., Pohill, R.M., and Wilson, A.K. (eds.) 1984. Proceedings of the 3rd International Symposium on Parasitic Weeds. Allepo, Syria. 265 pp.

Parkinson, V. 1985. *Striga*—A serious threat to maize production in Africa and research being conducted by IITA. Proceedings, FAO/OAU *Striga* Workshop. Yaounde, Cameroon.

Pieterse, A.H. 1985. Lutte contre les *Strigas* au niveau du petit paysan. Proceedings FAO/OAU *Striga* Workshop. Yaounde, Cameroon.

Pieterse, A.H. and Pesch, C.J. 1984. The witchweeds (*Striga*)—a review. Abstracts on Tropical Agriculture 9 (8): 9-33.

Pieterse, A.H., Ebbers, A.E.H., and Pesch, C.J. 1984. A study on "wet dormancy" in seeds of *Striga hermonthica* (Del) Benth. in vitro. Proceedings of the 3rd International Symposium on Parasitic Weeds. Aleppo, Syria. pp. 99-107.

Ramaiah, K.V. 1984. Patterns of *Striga* resistance in sorghum and millet with special emphasis on Africa. In *Striga*: **Biology and Control**. ICSU Press, Paris.

Ramaiah, K.V. 1985. Host plant resistance in sorghum and millet to *Striga hermenthica*. Proceedings FAO/UAO *Striga* Workshop. Yaounde, Cameroon.

Ramaiah, K.V. and Vasudera Rae, M.J. 1983. Proceedings of the 2nd International Symposium on *Striga*. Upper Volta.

Ramaiah, K.V., Parker, C., Rao, M.J.V. and Musselman, L.J. 1983. *Striga* Identification and Control Handbook. ICRISAT Information Bulletin No. 15. 52 pp.

Safa, S.B., Jones, B.M.G. and Musselman, L.J. 1984. Mechanisms favouring out-breeding in *Striga hermenthica* (*Scrophulariaceae*). New Phytologist 96: 299-305.

Shah, N., Tuohy, J., King, G. and Stewart, G.R. 1984. A biochemical characterization of *Striga hermenthica*. Proceedings of the 3rd International Symposium on Parasitic Weeds. Allepo, Syria.

Stewart, G.R., Nour, J., McQueen, M. and Shah, N. 1984. Aspects of the biochemistry of *Striga*. In *Striga*: **Biology and Control**. ICSU Press, Paris.

Discussion

Question (pour Laycock, par Andrews)

Compte tenu de ce que de très petites proportions d'herbicide systématiquement déplacées peuvent tuer les réserves des racines des mauvaises herbes vivaces, quelles sont les chances de découvrir un herbicide déplacé que l'on peut utiliser pour les céréales, et qui sera en même temps efficace pour tuer le *Striga* à travers les connexions de la racine?

Réponse

Certains herbicides très actifs sur l'organisme peuvent tuer les mauvaises herbes vivaces, à petite concentration. Le problème avec les mauvaises herbes parasites, est de trouver le moyen d'introduire une dose mortelle sur le parasite, à travers la plante-hôtesse, sans tuer ou abimer cette plante.

On a rapporté quelques succès modestes, dûs à l'usage de glyphosate pour contrôler Orabanche, mais je ne sais pas dans quelle mesure cette méthode contrôle le *Striga*. Un tel herbicide organique offre une alternative attirant pour traitement du sol, mais l'analyse pour ce type d'activité est probablement trop onéreuse pour de nouveaux composés.

Comment (for Laycock, by Andrews)

With the demonstration that very small amounts of systemically translocated herbicide can even kill the rootstocks of perennial weeds, what are the possibilities of discovering or developing a translocated herbicide which can be applied to the cereal which will be effective in killing *Striga* through the transtorial root connections?

Response

Very active systemic herbicides do kill perennial weeds at low concentrations. The problem with parasitic weeds is to introduce a lethal dose into the parasite via the host plant without killing or damaging the host plant. Some limited success has been reported by the use of glyphosate to control *Orabanche*, but I am unaware of *Striga* control by this method. Such a selective systemic herbicide offers an attractive alternative to soil treatments but screening for this type of activity is probably too expensive for novel compounds.

Question (pour Laycock, par Andrews)

Commentez sur l'idée que les herbicides tels que ceux qui etaient recherchés par Ogborin à Samaru, ne seraient pas économiques dans le cas d'un paysan-fermier

Réponse

Les herbicides utilisés après l'apparition de *Striga*, comme l'a mentionné Ogborin, ne seraient sans doute pas économiques pour un fermier actuel. Mais l'herbicide déplacé qui a été proposé serait bien plus économique par plante, et plus efficace, parce qu'il permettrait d'éviter les dommages provoqués par les *Striga* sous le sol avant émergence.

Question (for Laycock, by Andrews)

Please comment on the statement that herbicides, such as those researched by Ogborin in Samoa, would not be economically effective in the peasant-farmer situation.

Response

Herbicides applied after *Striga* emergence, as mentioned by Ogborin, will probably not be economic to existing peasant farmers. But the translocated herbicide proposed would be much less costly per plant, and would be more effective because it could prevent the damage *Striga* does below ground before emergence.

Question (pour Laycock, par Reddy)

Cette année le *Striga* du mil est apparu très tard dans la saison, alors que le mil terminait son cycle. Cela réduit-il véritablement la production de mille:? Avez-vous un ordre d'idée des pertes de production résultant de la présence de *Striga* dans la récolte de mil au Niger?

Réponse

La germination de *Striga* dépend de la température du sol. Les températures optimales pour la germination sont de l'ordre de 33 à 36°C. De bonnes pluies régulières réduisent la température du sol au dessous du point optimal. A la fin des pluies, la température augmente pour arriver à cet optimum. Cela permet d'expliquer partiellement votre observation. Les pertes dans le rendement de la récolte, dues au *Striga*, sont examinées en ce moment. Néanmoins, en raison des nombreux facteurs qui influencent à la fois le *Striga* et la récolte, on peut se demander ce que signifie le rendement. Cela réduit sans doute la production de millet.

Non, nous n'avons pas d'estimation quant aux pertes de production du mil, dues au *Striga*, au Niger.

Commentaire

Andrews: Nous ne devrions pas sous-estimer la capacité destructrice des *Striga*, à long terme, et l'exemple indien ne peut qu'être instructif. L'introduction et l'usage courant du sorgho hybride CSH1 (la graine d'origine était sensible au *Striga* CK60) a conduit à l'augmentation considérable de *Striga* asiatica dans l'état Maharastra. A présent la situation a fait un tour complet. De nouvelles variétés, résistant au *Striga*, sont adoptées par les fermiers dans ces régions (leurs anciennes variétés manquent de résistance pour combattre l'invasion croissante), dans la mesure où celle-ci donnent la meilleure production en présence de *Striga*, bien que les niveaux de production soient inférieurs à ce qu'ils étaient avant l'introduction d'hybrides.

Question (for Laycock, by Reddy)

This year millet *Striga* appeared very late in the season, as the millet was completing its cycle. Does it really reduce the millet yield? Do you have any estimates for yield losses in the millet crop in Niger due to *Striga*?

Response

Striga germination depends upon soil temperatures. Optimum temperatures for germination are in the order of 33-36°C. Good and regular rains reduce soil temperatures to below this optimum. This in part may explain your observation. Crop yield losses from *Striga* are currently being investigated. However, because of the many factors influencing both the *Striga* and crop, it is questionable what the yields mean. Probably it does reduce millet yield. No, we don't have estimates of yield losses due to *Striga* in millet in Niger.

Comments

Andrews: We should not underestimate the long term potential for damage by *Striga*, and the example from India can be instructive. The introduction and widespread use of hybrid sorghum CSH1 (seed parent was *Striga*-susceptible CK60) lead to a great increase of *Striga asiatica* in Maharasha State. Now the situation has gone full circle. New *Striga* resistant varieties are being adopted by farmers in these areas (their old varieties do not have enough resistance to combat the increased infestation), because these give the best yields when *Striga* is present, though the yield levels are less than before hybrids were introduced.

Magah: Je m'associe à vous pour dire qu'on devrait accorder plus d'importance au comportement des plantes dans le cas du mil et du sorgho. En effet il se pourrait trés bien que beaucoup

de nos variétés locales s'accomodent très bien ou forte infertile à de *Striga*. Je pense que l'on devrait accorder plus d'importance à la réaction des plantes et aux dégâts causés par le *Striga*.

Par ailleurs, dans la distribution géographique du *Striga* on devrait accorder une certaine importance aux animaux. En effet le *Striga* est utilisé comme une plante fourragère et il se pourrait que les graines soient transportées par les animaux lors de la transhumance.

L'effet de l'urée est-il réellement efficace pour contrôler le *Striga*, quand on sait que les soler de sélection, cultivées depuis 1927 sont regulierement fournis (en urée et matière organique).

J'ai remarqué que sur un champs non cultivé depuis 53 ans, les premières plantes de *Striga* sont apparues sur des plantes fourragères sauvages plutôt que sur le mil lors de la première année de culture. Pensez-vous que le mil ne soit qu'un hôte secondaire du *Striga* et qu'il ne soit attaqué qu'après la disparition ou la diminution de la population de ces plantes fourragères?

Magah: I am addressing you to say that we should attribute more importance to plant behavior in the case of millet and sorghum. In fact, it could very well be that many of our

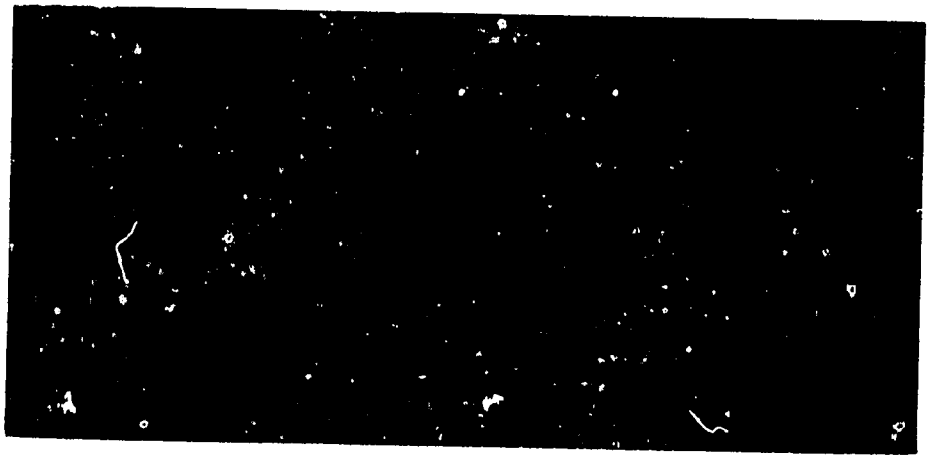
local varieties adapt very well to heavy infestations of *Striga*. I think that we should attribute more importance to the reaction of the plant and to the damage caused by *Striga*.

Furthermore, in the geographic distribution of *Striga*, we should attribute a certain amount of importance to animals. In fact, *Striga* is used as a forage plant and it could be that grains are transported by animals during transhumance (herd migration). Are the effects of urea really helpful in controlling *Striga*, knowing that the selection fields, cultivated since 1927, are manured regularly (urea and organic matter)?

I have noticed that on a field that has not been cultivated for 53 years, the first *Striga* plants appeared on wild forage plants during the first year of cultivation, rather than on millet. Do you think that millet is only a secondary host of *Striga*, and that it is only attacked after the disappearance or diminishment of this forage plant population.

Hassane: Concernant le *Striga* dans des parcelles ayant reçu du fumièr et de l'urée et qui ont beaucoup de *Striga*, M. Magah parle du *Striga gesnerioides*. Les sélectionneurs à Tarna savent bien qu'avec leur programme de fertilisation, ils n'ont pas de problème avec le *Striga hermonthica* sur le mil.

Hassane: Concerning *Striga* in parcels that have had manure and urea applied, and where there is a lot of *Striga*, Mr. Magah is speaking of *Striga gesnerioides*. The breeders at Tarna are well aware that with their fertilization schedule they have no problem with *Striga hermonthica* on millet.



Session VI

Plenary Session

Recommandations

I. Généralités

1. Identifier les ressources d'USAID/Niger pour le développement d'un système d'irrigation au centre de recherche de Kolo afin de soutenir la recherche hors saison des cultures de contre-saison.

   Sources:

   a. Bourse de développement du secteur agricole, monnaie locale (fonds de contrepartie). L'INRAN pourrait soumettre à la discussion une offre au comité des fonds.

   b. USAID/Niger refléchira au financement d'un projet de recherche d'irrigation début 1987. A l'heure actuelle, l'INRAN révise un document descriptif préliminaire de projet.

2. INTSORMIL devrait soumettre un projet annuel de travail pour la discussion avec l'INRAN. L'INRAN devrait convier des représentants d'INTSORML à la réunion annuelle pendant laquelle les plans pourraient être revus, et sur lesquels on pourrait agir en conséquence.

3. Développer de grands moyens de contre-saison à Tarna, Kolo et dans le Sud-Ouest, et à Bengou. Ces sites peuvent être utilisés pour les tests de sécheresse.

II. Sélection

1. Agrandir le projet existant avec le budget alloué, par exemple, exploiter les ensembles de gènes: exemple, INMG-5 semble être un bon point de départ pour l'amélioration par simple sélection réitérée, par exemple la sélection de "half-sib" modifié.

2. Penser à réunir des versions purifiées deux fois ou davantage (peut-être sur la base d'un test diallel des variétés) des variétés indigènes afin de créer une population supérieure qui elle-même serait en mesure d'être améliorée par simple réitération de la sélection. (Une fois les variétés purifiées, il n'est pas nécessaire de continuer les tests ennuyeux S_1).

3. Commencer un travail d'exploration sur les hybrides, par exemple de la type de lignées X variété.

4. Etendre les tests de variété pour inclure des tests sur champs paysans.

5. Les sélectionneurs devraient développer un projet en collaboration avec les pathologistes, les entomologistes et les chercheurs du *Striga*, pour travailler conjointement sur le matériel de sélection.

6. INTSORMIL devrait apporter son assistance dans le développement d'un système de criblage du sorgho et du mil en ce qui concerne la tolérance à la secheresse. Augmenter le travail sur la sécheresse en Maradi sur le sorgho. On recommande

certains procédés, par exemple:

a. établir sur le terrain un vaste criblage de sécheresse des pépinières en petites d'une ligne courte, utilisant plusieurs témoins.

b. utiliser une estimation visuelle rapide (pas de test quantitatif) jusqu'au test final.

c. utiliser différentes localités ayant des différences de sol et de stress hydrique.

d. sélectionner lorsque les générations sont jeunes (commencer en F_3, aussi bien qu'une fois qu'elles sont plus avancées).

7. Persévérer dans l'échange de plasma germinatif et d'information entre les chercheurs collaborateurs d'INTSORMIL.

III. Résistance à la sécheresse/agronomie

1. Recommander que la recherche collaborative soit commencée pour déterminer les types principaux de sols et/ou les contraintes nutritionnelles rencontrées dans les régions de criblage de pépiniéres, afin de pouvoir différencier les contraintes imposées par la sécheresse.

2. Recommander l'établissement d'une recherche collaborative au Niger sur l'établissement de plantules et lors de l'étape de croissance végétale précoce, pour la compréhension de l'adaptation au stress hydrique.

3. Recommander que la tolérance aux sols acides (à toxicité en aluminum) des sorghos dunaires, soit déterminée en coopération avec INTSORMIL (Université d'état du Mississippi), en même temps que les tests sur certains génotypes tolérants les sols acides, identifiés en Colombie, au Brésil, et en Georgie.

4. Recommander que des sorghos nigériens modifiés, ou partiellement modifiés, en particulier les sorghos dunaires, soient évalués du point de vue utilité nutritive (Onken-Peterson-TAMU).

IV. Protection des plantes

1. Entomologie

a. Il faut poursuivre les études sur les punaises de la panicule en saison des pluies, et contresaison.

b. Il faut commencer des études sur le *Dysdercus* (punaises du coton), identiques à celles qui se font sur les punaises de la panicule de sorgho. Cette espèce se trouve en grand nombre sur les épis de mil, en particulier lors de la période de croissance précoce dans la saison. L'estimation des dégâts doit être faite.

c. Recommander que l'INRAN fasse des investigations concernant toutes les possibilités qui permettraient de prendre soin et d'identifier tous les insectes de la collection nigérienne.

2. Pathologie végétale

Recommander que la maladie du charbon allongé du sorgho soit examinée de plus près pour déterminer la validité de recherches futures sur son contrôle.

3. *Striga*

Un programme actif de sélection pour l'introduction de la résistance au *Striga* doit être mis en route pour le sorgho aussi bien que pour le mil. Un sélectionneur végétal devrait être engagé à plein temps pour cette tâche.

V. Qualité céréalière

1. Recommander que l'INRAN fasse une demande au Corps de la Paix pour qu'un remplaçant soit trouvé pour Mlle. Jeannette McLaughlin, que l'on affectera au laboratoire de qualité des céréales de l'INRAN.

2. Recommander qu'une évaluation soit faite qui permettrait de déterminer la mouture et la préparation utilisées au Niger pour le sorgho et le mil.

3. On devrait trouver un chercheur de l'INRAN que l'on formerait aux Etats-Unis, pour un doctorat (Ph.D.) sur la qualité céréalière.

4. Il faut trouver des procédés simples, rapides, et peu onéreux pour cribler les variétés de sorgho et de mil présentées par les sélectionneurs, pour la qualité nutritive.

VI. Socio-économique

1. Recommander que des études socio-économiques soient faites pour déterminer l'acceptabilité de nouveaux hybrides et de nouvelles variétés par les paysans, ainsi que des études économiques sur la logique de la production de grains par les hybrides du sorgho au Niger, par opposition aux variétés.

Recommendations

I. General

1. Identify resources from USAID/Niger for development of an irrigation system at Kolo Research Station in support of off-season research.

   Sources:

   a. Agricultural Sector Development Grant, Local Currency (counterpart Fund). INRAN may submit proposal to the Fund committee for review.

   b. USAID/Niger will consider funding an irrigation research project beginning in 1987. INRAN presently has preliminary project description document for review.

2. INTSORMIL should provide annual work plans for discussion with INRAN. INRAN should invite an INTSORMIL representative to the annual reunion where these work plans could be reviewed and acted upon.

3. Develop larger off-season facilities at Tarna, Kolo and in the southwest at Bengou. These sites can be used for drought testing.

II. Breeding

1. Expand the existing project within the budgetary constraints. For example, exploit gene pools: for instance, INMG-5 appears to be a good starting point for improvement by simple recurrent selection, e.g. modified half-sib selection.

2. Consider combining two or more purified versions (perhaps on the basis of a variety diallel test) of the indigenous varieties to create a superior population which would again be suitable for improvement by simple recurrent selection (once varieties have been purified, there is no need to continue tedious S_1 testing).

3. Begin exploratory work on hybrids—possibly of the line X variety type.

4. Extend variety testing to include testing on farmers' fields.

5. Breeders should develop collaborative projects with pathologists, entomologists and scientists researching *Striga* to jointly work on breeding material.

6. INTSORMIL should provide assistance to develop a screening system for drought tolerance for both millet and sorghum. Increase work on drought in Maradi on sorghum. Some recommended procedures are:

   a. Establish large-field, drought-screening nurseries in short single-row plots, with the use of several checks.

   b. Use quick visual ratings (not yield test) until final testing.

   c. Use several locations which differ in soil type and moisture stress.

d. Select in early generations (start in F_3) as well as in more advanced generations.

7. Continue germplasm and information exchange among INTSORMIL collaborating scientists.

III. Drought Resistance/Agronomy

1. Recommend that research should be initiated to determine the major soil and/or nutrient constraints in nursery screening areas, in order to be able to differentiate drought tolerance from other constraints.

2. Recommend the establishment of collaborative research in Niger on the seedling establishment and early vegetative growth stage in understanding adaptation to drought stress.

3. Recommend that the acid soil (aluminum toxicity) tolerance of dune sorghums be determined cooperatively in INTSORMIL (Mississippi State University), along with possible testing of some acid soil tolerant genotypes identified in Colombia, Brazil and the United States (Georgia).

4. Recommend that converted or partially converted Nigerien sorghums, especially dune sorghums, be evaluated for nutrient use efficiency (Onken-Peterson-TAMU).

IV. Plant Protection

1. Entomology

   a. Studies on headbugs during rainy season and off-season should be continued.

   b. Studies should be initiated on *Dysdercus* (cotton stainer), similar to those already in progress on sorghum headbugs. This species occurs in large numbers on millet seed heads, especially early in the growing season. Damage assessments should be made.

   c. Recommend that INRAN investigate all opportunities available for proceeding with curating and identifying all insects in the Niger collection. This is a very valuable resource for entomological research in Niger.

2. Plant Pathology

   Recommend that the long smut situation in sorghum be looked at more closely to determine the relevance of future research on control.

3. *Striga*

   An active breeding program for the introduction of *Striga* resistance should be initiated for both sorghum and millet. A full time breeder/agronomist should be appointed to this task.

V. Cereal Quality

1. Recommend that INRAN make a request to the Peace Corps to identify a replacement for Ms. Jeanette McLaughlin, to be assigned to the INRAN Cereal Quality Laboratory.

2. Recommend that a detailed survey be conducted to determine the milling of and food preparations derived from sorghum and millet in Niger.

3. An INRAN scientist should be identified for Ph.D. training in the U.S. on cereal quality.

4. Simple, rapid and inexpensive procedures should be identified for screening breeders' sorghum and millet entries for food quality.

VI. Socio-economics

1. Recommend that socio-economic studies be initiated to determine the acceptability of new hybrids and varieties to farmers and the economic feasibility of grain production from hybrids versus varieties.

Workshop Participants

Moussa Adamou
INRAN
B.P. 240
Maradi, Niger

David Andrews
INTSORMIL
University of Nebraska
Lincoln, Nebraska

John Axtell
INTSORMIL
Purdue University
West Lafayette, Indiana

André Bationo
ICRISAT
B.P. 12404
Niamey, Niger

Peter Benedict
USAID
B.P. 201
Niamey, Niger

Peter Bogosian
Ambassador of the United States
American Embassy
B.P. 201
Niamey, Niger

Ouendeba Bottorou
INRAN
B.P. 429
Niamey, Niger

Roy Bronson
PARA
B.P. 429
Niamey,Niger

Althea Wright Byll
Interpreter
B.P. 10964
Niamey, Niger

Robert Chase
TROPSOILS
B.P. 429
Niamey, Niger

Mai-Moussa Chetima
INRAN
B.P. 429
Niamey, Niger

John Clark
PARA
B.P. 429
Niamey, Niger

Noufou Compaoré
TROPSOILS
B.P. 429
Niamey, Niger

Christine Conte
INTSORMIL consultant
Niamey, Niger

Robert Deuson
PARA
B.P. 429
Niamey, Niger

Les Fussell
ICRISAT
B.P. 12404
Niamey, Niger

Annou Garba
INRAN
B.P. 429
Niamey, Niger

Ernest Gibson
USAID
B.P. 201
Niamey, Niger

Jada Gonda
INRAN
B.P. 240
Maradi, Niger

Lynn Graybeal
INTSORMIL/USAID
B.P. 201
Niamey, Niger

Allele El Hadj Habibou
Minister of Agriculture
Niamey, Niger

Hama Hassane
INRAN
B.P. 240
Maradi, Niger

Mahamane Ibramin
USAID
B.P. 201
Niamey, Niger

Lance Jepson
USAID
B.P. 201
Niamey, Niger

Neino Jika
INRAN
B.P. 240
Maradi, Niger

Maliki Kadi
INRAN
B.P. 240
Maradi, Niger

Allen Kirleis
INTSORMIL
Purdue University
West Lafayette, Indiana

Laurie Kitch
PARA
B.P. 429
Niamey, Niger

Anand Kumar
ICRISAT
B.P. 12404
Niamey, Niger

Derrick Laycock
CILSS, CNRA-Tarna
B.P.
Maradi, Niger

Issaka Magah
INRAN
B.P. 429
Niamey, Niger

Salifou El Hadj Mahamane
National Cereals Program Coordinator
B.P. 10583
Niamey, Niger

Abdoulaye Maiga
Ministry of Foreign Affairs
Niamey, Niger

Seyni Maiga
INRAN
B.P. 240
Maradi, Niger

Ouattara Mamadou
INRAN
B.P. 429
Niamey, Niger

Jeannette McLaughlin
INRAN – Peace Corps
Niamey, Niger

Patricia Mensah
PARA
B.P. 429
Niamey, Niger

Charles Morgan
USAID
B.P. 201
Niamey, Niger

Ahmadou N'Diaye
INRAN
Kolo, Niger

Kanayo Nwanze
ICRISAT
B.P. 12404
Niamey, Niger

Gilbert Numa
INRAN
B.P. 429
Niamey, Niger

Moussa Oumarou
INRAN
B.P. 429
Niamey, Niger

Bill Payne
TROPSOILS
B.P. 429
Niamey, Niger

Naraine Persaud
TROPSOILS
B.P. 429
Niamey, Niger

Ruben Puentes
TROPSOILS
Texas A&M University
College Station, Texas

Chandra Reddy
PARA
B.P. 429
Niamey, Niger

Darrell Rosenow
INTSORMIL
Texas A&M Agriculture and Research Center
Lubbock, Texas

Ly Abdoulaye Samba
INRAN
B.P. 429
Niamey, Niger

Idrissa Soumana
Director General of INRAN
B.P. 429
Niamey, Niger

Gary Steck
INTSORMIL
Texas A&M University
College Station, Texas

George Teetes
INTSORMIL
Texas A&M University
College Station, Texas

John van der Ploeg
INRAN
B.P. 429
Niamey, Niger

John Yohe
INTSORMIL
University of Nebraska
Lincoln, Nebraska

Christophe Zaongo
TROPSOILS
B.P. 429
Niamey, Niger