Séminaire riziculture d'altitude

Conference rice for highlands



CIRAD ▮ FOFIFA ▮ UCL ▮ CE

Actes du séminaire / *Seminar Proceedings*

29 mars - 5 avril 1996 / *March 29 - April 5, 1996*

Antananarivo, Madagascar

Illustration de couverture / *Cover illustration*
Paysage de rizières en zone d'altitude à Madagascar / *Ricefields in Madagascar*
C. Poisson

Séminaire riziculture d'altitude

Conference rice for highlands

Christian POISSON et Jacqueline RAKOTOARISOA

éditeurs / *editors*

CABI BIOSCIENCE
EGHAM LIBRARY
- 3 JUN 2010
Egham books P01

CAB INTERNATIONAL
00278312

Actes du séminaire / *Seminar Proceedings*

29 mars - 5 avril 1996 / *March 29 - April 5, 1996*

Antananarivo, Madagascar

Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement
Département des cultures annuelles, CIRAD-CA

Séminaire riziculture d'altitude
Conference rice for highlands
Christian POISSON et Jacqueline RAKOTOARISOA
éditeurs / editors

POISSON C., RAKOTOARISOA J., (édit.), 1997.
Riziculture d'altitude
Actes du séminaire riziculture d'altitude,
29 mars-5 avril 1996, Antananarivo, Madagascar.
Colloques, CIRAD-CA, Montpellier, France, 272 p.

Allocutions d'ouverture

Monsieur le ministre de la recherche appliquée au développement
Messieurs les secrétaires généraux
Messieurs les représentants des bailleurs de fond et organisateurs internationaux
Messieurs les directeurs généraux
Mesdames et Messieurs

Chers Collègues

Il me revient le lourd privilège d'introduire par quelques mots ce séminaire sur la riziculture d'altitude.

Pourquoi un tel séminaire ?
La riziculture d'altitude représente, pour un certain nombre de pays de la zone tropicale, un enjeu économique et humanitaire important.

Des recherches ont été entreprises par quelques-uns de ces pays pour améliorer ce type de riziculture. Depuis 1984, la Commission européenne a apporté son appui financier à de telles recherches conduites au sein d'un projet associant Madagascar, le Burundi, la Belgique et la France.

En 1992, ce même projet a été reconduit en s'élargissant au Népal et à la Chine. Il s'agit maintenant de faire le point des acquis obtenus dans le cadre de ce projet, de partager les expériences de chacun, non seulement entre les scientifiques impliqués mais également avec les partenaires du développement. Il s'agit enfin de définir les perspectives d'avenir afin d'assurer le meilleur transfert possible de ces acquis auprès du paysan.

Tel est le challenge que s'est fixé ce séminaire.
Les communications par pays seront donc présentées et le coordonnateur général du projet, le professeur Bouharmont, nous dressera le bilan des acquis obtenus par ce projet.
Enfin, si tout le monde s'accorde à dire que les acquis de ce projet sont importants, il n'en reste pas moins que les donateurs et la recherche devront encore faire un petit bout de chemin ensemble pour faciliter le transfert des innovations acquises.

La directrice scientifique du FOFIFA, Yvonne Rabelantoandro, présentera les grandes lignes d'un projet de développement — mené en coopération pour Madagascar —, allant dans ce sens.

J'ai deux messages à vous présenter : l'un est de Michel Jacquot, du CIRAD, qui a été à l'origine de ces projets depuis leur création avec les autorités du FOFIFA et le professeur Bouharmont, ici présent. M. Jacquot a longtemps été en charge du programme riz au CIRAD, il vient de faire valoir ses droits à la retraite. L'autre message est d'Alain Darthenucq, de la DG de la commission européenne, à Bruxelles. A. Darthenucq est administrateur scientifique principal à la direction de cette commission.

En 1984, des équipes de recherche de France, de Madagascar, de Belgique et du Burundi, se sont penchés sur les problèmes de la riziculture d'altitude en régions tropicales.

Etait-ce bien raisonnable ? Certes, il y avait des demandes exprimées : en Afrique de l'Est, les rizières récemment créées manquaient de variétés suffisamment adaptées et résistaient mal aux chocs du froid et des maladies à haute altitude. A Madagascar, les variétés traditionnelles de culture aquatique à haute altitude avaient, dans le passé, montré qu'elles acceptaient mal des variétés concurrentes issues de sélection, malgré des faiblesses certaines de leur part en cas de climat sévère et les tentatives de cultiver du riz pluvial au-delà de 1 000 m avaient toujours abouti à des échecs. Mais le poids économique de la riziculture d'altitude pouvait paraître faible par rapport à celui de la riziculture de plaine, et, de plus, il était difficile, malgré l'expérience scientifique des équipes de recherche, de garantir à coup sûr un succès.

Aujourd'hui, c'est-à-dire douze ans après, quel regard peut-on porter sur cette aventure ?

Je ferai trois commentaires. Le premier sur les résultats : des avancées très importantes ont été obtenues dans la connaissance du matériel végétal, des conditions de culture, des agents pathogènes, dans la sélection de variétés améliorées et leur utilisation par les agriculteurs, dans l'impact sur d'autres régions d'altitude d'Asie et peut-être bientôt d'Amérique latine. Le deuxième commentaire portera sur les modalités de réalisation du programme : ces résultats n'auraient pas été obtenus sans une forte mobilisation des institutions et des équipes de recherche, des organismes de développement ainsi que des agriculteurs, chacun avec son savoir faire, et sans le soutien financier indéfectible de la Commission européenne par sa DG. Enfin, à une époque où — avec beaucoup de raisons —, il faut redoubler d'efforts pour améliorer les conditions socioéconomiques dans des zones marginales pour des cultures vivrières, je pense que le programme riz d'altitude a une grande valeur d'exemple.

Bonne réunion à tous et toutes mes amitiés.

M. Jacquot
Ancien responsable du programme riz à l'IRAT

A l'issue du programme STD1, en 1987, la Commission européenne décida de réunir, à Louvain-la-Neuve, les coordinateurs de tous les contrats qui concernaient la culture du riz. Etaient présents, entre autres, M. Bouharmont, rendant compte des résultats obtenus en partenariat entre l'université catholique de Louvain-la-Neuve et le Burundi (Facagro et Isabu) et M. Jacquot rapportant ceux du contrat liant le CIRAD et le FOFIFA de Madagascar.

C'est au cours de cette réunion qu'il fut décidé, pour le programme STD 2, de faire une proposition de recherche sur la riziculture d'altitude, associant tous les partenaires de ces deux contrats STD. Par la suite, à l'initiative du CIRAD, le partenariat s'est élargi au Népal et à la Chine. Aux termes de ce contrat STD 3, après douze ans de travaux financés pour partie par la Commission européenne, quel bilan peut-on tirer ? Un bilan extrêmement positif sur deux plans :
– sur le plan scientifique, au vu des résultats dont vous allez débattre au cours de ce séminaire, qui sont excellents et qui pourront être (et sont déjà) utilisés par les agriculteurs. Il s'agit bien de la démarche que souhaite promouvoir ce programme de coopération scientifique pour le développement ;
– sur le plan du partenariat et donc de la coopération. Dans STD 1, le processus s'inscrivait dans la logique du partenariat bilatéral traditionnel qui était le résultat des liens tissés par l'histoire. Avec STD 2, et plus encore avec STD 3 avec l'élargissement du partenariat, le projet a changé de dimension et je pense que chacun s'est enrichi de cette ouverture de son champ de coopération. C'est aussi l'un des objectifs de ce programme communautaire.

En outre, ce projet me paraît exemplaire quant à sa nature multidisciplinaire (des agronomes y sont associés à des biologistes, des phytopathologistes et des sélectionneurs) et à la façon dont il a été mis en œuvre malgré de nombreuses difficultés.

Que puis-je ajouter à ces commentaires, élogieux certes, mais absolument mérités ?

J'ajouterai que je suis, et ce n'est pas une clause de style, vraiment désolé de ne pas être avec vous, à Madagascar, pour aller voir, sur le terrain, les résultats de douze ans de travail en commun, et ce malgré les promesses que j'avais pu faire aux organisateurs. J'espère surtout que, au-delà de ces contrats STD et de ce séminaire — la coopération scientifique entretenue et renforcée au cours de ces douze années de contrats communautaires — va continuer car c'est, à n'en pas douter, dans une telle démarche participative et coopérative que pourront être élaborées le plus efficacement les solutions pour améliorer la situation des agriculteurs des PED et plus généralement les conditions de vie des populations de ces pays. En ce qui me concerne, il me reste à vous remercier, au nom de la Commission européenne et en mon nom propre, tous pour votre contribution dans ce long travail et, vous me pardonnerez si j'ai une pensée particulière pour M. Bouharmont qui a fait valoir ses droits à la retraite et pour M. Jacquot qui va en faire de même prochainement. Ils ont tous deux été les chevilles ouvrières de ce contrat. J'ai eu beaucoup de satisfaction à vous accompagner pendant ces douze années.

Que ce séminaire soit fructueux pour tous !

Alain Darthenucq
Administrateur scientifique principal à la Commission européenne DG XII

J'avais un dernier message à vous transmettre et celui-ci au nom de tous les participants à ce séminaire venus de l'extérieur. Je voudrais dire que nous avons été très sensibles à l'accueil chaleureux dont nous avons bénéficié dès notre arrivée à Madagascar.

Je voudrais remercier les autorités malgaches d'avoir accordé toutes les facilités pour organiser ce séminaire.

Je voudrais enfin remercier le FOFIFA et ses partenaires du développement FIFAMANOR, FIFATA, ODR pour l'excellente organisation de ces trois journées de visite sur le terrain. Le dialogue qui s'est déjà instauré entre les participants a été très fructueux et les acquis importants que nous avons vu sur le terrain n'ont laissé personne indifférents. Et l'on peut dire que l'un des objectifs du séminaire a déjà été atteint.

Je vous remercie pour votre attention.

Christian Poisson
Chef du programme riz du CIRAD

Messieurs les ministres,
Monsieur le député de Madagascar,
Messieurs les représentants des organisations internationales,
Monsieur le secrétaire général,
Mesdames et messieurs les directeurs généraux et directeurs,
Honorables délégués et chers collègues chercheurs,
Mesdames et Messieurs,

Bien que cela soit souvent une lourde responsabilité, c'est à la fois un grand honneur et un réel plaisir pour moi d'intervenir brièvement pour ouvrir la série d'allocutions de cette céremonie d'ouverture du séminaire international destiné à faire « le point sur la recherche et le développement de la riziculture d'altitude ».

C'est un grand honneur, car le comité d'organisation, constitué par le tandem CIRAD-FOFIFA, m'a demandé de le représenter, et c'est aussi un vrai plaisir, car le sujet et l'objet qui nous réunissent aujourd'hui sont autant d'occasions pour revoir des amis de longue date et pour nouer des relations avec de nouveaux collègues et partenaires.

En effet, ce séminaire — décidé une année auparavant par les responsables de la coordination des recherches entrant dans ce que l'on a appelé communément « Projet riz d'altitude » —, ce séminaire, disais-je, rassemble plusieurs scientifiques et autres responsables provenant d'institutions et organismes de différents pays, dont ceux directement intéressés par ce type de riziculture. Je peux citer ainsi : le Burundi, la Chine, la Colombie, le Népal, le Togo, le Zaïre et évidemment Madagascar, auxquels s'ajoutent la Belgique et la France, dont les chercheurs de l'université de Louvain-la-Neuve et du CIRAD ont joué un rôle capital, non seulement dans le lancement du projet, mais aussi jusqu'à son exécution et son aboutissement.

Outre la réalisation de la synthèse des innombrables résultats acquis dans le cadre de ce projet, ces scientifiques et chercheurs auront, durant ce séminaire, à se pencher sur la diffusion et l'application de ces résultats dans les régions soumises aux contraintes de l'altitude et, particulièrement, à réflechir sur les perspectives d'avenir.

Plus d'une trentaine de communications, réparties au sein de six thèmes, seront ainsi présentées au cours des trois sessions de travail dont la première sera consacrée à la présentation par pays des acquis de la recherche sur la riziculture d'altitude. La seconde session nous permettra de prendre connaissance des résultats scientifiques se rapportant aux domaines suivants :
– la résistance aux maladies ;
– la résistance au froid ;
– les techniques de sélection ;
– les techniques culturales ;
– les résultats scientifiques (dont on peut dire que certains peuvent être qualifiés de première mondiale compte tenu de leur originalité et leur pertinence).
Enfin, la troisième et dernière session sera réservée aux actions futures ou aux perspectives, pour lesquelles ont été mis en exergue la production de semences et la recherche-développement.

Eu égard à ce programme qui s'annonce très chargé, j'ose espérer que les échanges scientifiques et les débats fructueux qui auront lieu sauront aboutir encore davantage à d'autres actions ayant des impacts directs sur le terrain, à l'instar par exemple de ce qui a déjà été vu ou enregistré dans la région du Vakinankaratra, et ce pour démentir ceux qui pensent – quelquefois à juste titre – que les séminaires et les conférences se suivent et se ressemblent... sans que cela n'apporte rien de concret à court terme.

Aussi, je tiens à souhaiter à tous les participants bon courage et bon travail.
Avant de terminer, au nom du FOFIFA, l'institution nationale à qui échoit l'honneur d'abriter ces assises, au nom de l'université de Louvain-la-Neuve et du CIRAD, les deux institutions scientifiques du Nord impliquées directement dans le projet et dans l'organisation de ce seminaire, et au nom du comité d'organisation, je voudrais remercier l'ensemble des institutions et des organismes donateurs, tant nationaux qu'extérieurs, pour leur contribution efficace à la réalisation de ce séminaire. Sans vouloir faire des jaloux et sans faire une discrimination, je me sens quand même le devoir de citer particulièrement la Commission européenne, direction XII, pour le soutien financier du projet dans son ensemble y compris la présente manifestation scientifique, le ministère de la recherche appliquée au développement et celui des affaires étrangères, pour les appuis dans la réalisation de ce programme à Madagascar et maintenant pour les facilités qu'ils ont offertes pour l'entrée à Madagascar des participants étrangers.

Enfin, je ne saurais terminer cette brève intervention sans vous faire part du traditionnel « Arahaba tonga soa » qui est, en fait, le premier mot du vademecum de l'hospitalité malgache.

Je souhaite à toutes et à tous la bienvenue et un agréable séjour à Madagascar. Pour certains d'entre vous, ce séminaire ne sera peut-être pas encore l'occasion de découvrir un pays qu'ils ne connaissent pas et ce, du fait du programme très chargé évoqué précédemment. Si c'est vraiment le cas, ne désespérez pas, car on n'oublie pas facilement ce pays à partir du moment où l'on a bu son eau. Ainsi, je formule le vœu pour que le séminaire puisse constituer pour ceux qui viennent à Madagascar pour la première fois, une vraie occasion pour connaître Madagascar et les Malgaches, et cela à travers le riz qui est un des symboles, sinon le symbole de la malgachitude.

Enfin, pour rendre votre séjour le plus agréable possible et surtout, pour faciliter le déroulement des travaux, tout le comité d'organisation me charge de vous dire qu'il est à votre service. N'hésitez pas à les contacter en cas de besoin.

Mesdames et Messieurs,

Je vous remercie de votre attention.

F. Rasolofo
Directeur général du FOFIFA

POISSON C., RAKOTOARISOA J., (édit.), 1997.
Riziculture d'altitude
Actes du séminaire riziculture d'altitude,
29 mars-5 avril 1996, Antananarivo, Madagascar.
Colloques, CIRAD-CA, Montpellier, France, 272 p.

Sommaire

Caractéristiques et contraintes de la riziculture d'altitude à Madagascar
J. RAKOTOARISOA 11

Session 1 | Présentation par pays des acquis de la recherche

Evolution de la riziculture des marais d'altitude au Burundi : contraintes rencontrées et méthode d'amélioration variétale utilisée
A. NIZIGIYIMANA 19

Initial evaluation of some of the Madagascar rice lines in Nepal
A.K. RAI 29

Introduction and utilization of IRAT/CIRAD upland rice cultivars
TAO DAYUN, HU FENGYI, YANG GUIFEN, YANG JIANGYI 35

Le riz pluvial en région d'altitude. Une nouvelle option pour la zone caféière colombienne
A. MORENO, M. CHATEL, E.P. GUIMARAES, J. BORRERO 39

Résultats de l'amélioration variétale du riz d'altitude malgache
R. DECHANET, J. RAZAFINDRAKOTO, M. VALES 43

Deux nouvelles variétés productives de riz irrigué d'altitude malgache
M. VALES, J. RAZAFINDRAKOTO, R. DECHANET, D. THARREAU 49

La climatologie d'altitude à Madagascar
A. CHABANNE, M. RAZAKAMIARAMANANA 55

Comportement multilocal et pluriannuel des nouvelles variétés de riz pluvial d'altitude à Madagascar
A. CHABANNE, M. RAZAKAMIARAMANANA 63

Bilan des programmes européens sur la riziculture d'altitude
J. BOUHARMONT 71

Prospect and priorities for upland rice in Thailand
V. KHAMBOONRUANG, P. SITTISUANG, V. PETPISIT, W. CHAITEP 75

Session 2 | Acquis de la recherche dans les domaines scientifiques se rapportant à la riziculture d'altitude

Résistance aux maladies

Etude histologique des interactions riz-*Pyricularia oryzae*
J.B. BAHAMA 81

Influence de la température sur la production des lipopeptides phytotoxiques par *Pseudomonas fuscovaginae*
G.K. BIRINGANINE, H. MARAITE 87

Caractérisation de *Pseudomonas fuscovaginae* et de son interaction avec le riz
T. JAUNET, J.-L. NOTTEGHEM 93

Rice diseases at high altitude
D.D. SHAKYA 105

Bacterial sheath brown rot of rice caused by *Pseudomonas fuscovaginae* in Nepal
S. SHARMA, B.R. STHAPIT, P.M. PRADHANANG, K.D. JOSHI 107

Effets biologiques des toxines produites par *Pseudomonas fuscovaginae* chez le riz et sélection *in vitro* pour la résistance
H. BATOKO, J. BOUHARMONT, H. MARAITE 113

Résistance au froid

Amélioration de la tolérance aux basses températures chez le riz par usage de la variance somaclonale
P. BERTIN, J. BOUHARMONT 121

Amélioration de la résistance variétale au froid du riz d'altitude
C. POISSON, M. PUARD, R. DECHANET 129

Inheritance of chlorophyll fluorescence (F_v/F_m) in rice under chilling conditions
B.R. STHAPIT, K.D. JOSHI, J.M. WILSON, J.R. WITCOMBE 135

Techniques de sélection

De la précocité népalaise pour le riz d'altitude malgache
M. VALES, J. RAZAFINDRAKOTO 145

Croisements pour la qualité du grain et la précocité du riz d'altitude malgache
M. VALES, J. RAZAFINDRAKOTO, L. SEGUY 153

La sélection récurrente pour le riz d'altitude malgache
M. VALES, J. RAZAFINDRAKOTO 159

A case study of participatory rice breeding in Nepal
B.R. STHAPIT, K.D. JOSHI, J.R. WITCOMBE 167

Genealogical analysis of IRAT upland rice varieties
HU FENGYI, TAO DAYUN, YANG GUIFEN, YANG JIANGYI 181

Techniques culturales

Gestion de la fertilité des rizières d'altitude à Madagascar, exemple de la plaine de Vinaninony (1 875 m)
A. CHABANNE, L. SEGUY, M. RAZAKAMIARAMANANA 187

Influence du temps de submersion et de la fertilisation azotée en riziculture de moyenne altitude au Burundi
A. NDAYIRAGIJE 197

Le semis direct pour résoudre le problème de maîtrise de l'eau en riziculture de bas-fond sur les hautes terres malgaches
P. RASOLOFO, X. RAKOTOJANAHARY, J. RAVATOMANGA, D. RAVOHITRARIVO 207

Le SRI, système de riziculture intensive
M. RAZAKAMIARAMANANA 211

Physico-chimie des rizières d'altitude à Madagascar : exemple de la plaine de Vinaninony (1 875 m)
A. CHABANNE, P. DE GIUDICI 225

Session 3 | Recherche-développement

Production des semences

La production de semences de riz pluvial d'altitude à Madagascar
par FOFIFA-CIRAD et FIFAMANOR
M. VALES, M. RAKOTO, J. RAZAFINDRAKOTO 235

La multiplication des semences et leur diffusion par FIFATA dans le Vakinankaratra
et la Moyenne-Mania
J.-R. LAMIABLE 239

Organisation de la filière semence de riz pluvial d'altitude
A. AMARI 245

Semis direct des cultures vivrières sur couvertures végétales
J.M. RANDRIANAIVOARIVONY, M. RAKOTONDRAMANANA 253

Semis direct

Les systèmes de culture à base de semis direct avec couverture permanente des sols
P. RAKOTONDRALAMBO 261

Participants présentant des communications / *Participants presenting papers* 267

POISSON C., RAKOTOARISOA J., (édit.). 1997
Riziculture d'altitude
Actes du séminaire riziculture d'altitude
29 mars-5 avril 1996, Antananarivo, Madagascar
Colloques, CIRAD-CA, Montpellier, France, 272 p

Caractéristiques et contraintes de la riziculture d'altitude à Madagascar

J. RAKOTOARISOA
FOFIFA, BP 1690, Antananarivo 101, Madagascar

Résumé — De par la diversité de ses zones agroécologiques, Madagascar est riche en types de riziculture. Les prédominants restent cependant ceux de la côte orientale, de la côte occidentale et des hauts plateaux. Les hautes terres malgaches sont les principales zones de production rizicole de Madagascar. La faiblesse de rendement, consécutive à une forte stérilité des épillets induite par le froid d'altitude et les maladies, limite cependant le développement de la riziculture de haute altitude. Pour résoudre ce problème, une méthodologie fondée sur la multidisciplinarité et la relation recherche-développement a été adoptée. Sa mise en œuvre a permis d'obtenir des résultats dans des domaines aussi divers que la climatologie, l'amélioration variétale, la phytotechnie, la protection phytosanitaire et la production de semences.
Mots-clés : zonage agroécologique, altitude, sol acide, maladie, ravageur, méthodologie, Madagascar.

Introduction

Pratiquée par environ 1 300 000 exploitants, soit 83 % de la population, la riziculture représente 33 % de la totalité de la production agricole. La superficie rizicultivée, estimée à 1 200 000 ha, se répartit dans les différentes régions de l'île. Outre le potentiel en sols rizicultivables, le climat définit surtout l'aptitude de chaque région à la riziculture.

Zones agroécologiques et diversité de la riziculture malgache

La combinaison des facteurs climatiques prévalant à Madagascar permet de distinguer trois grandes zones agroclimatiques à potentialité rizicole différente.

La côte orientale

La région s'étend de Sambava à Farafangana. Le riz est y cultivé pendant deux saisons, le riz de saison, ou riz de *vatomandry*, cultivé d'octobre à mai ; le riz de contre-saison, ou riz *hosy*, cultivé de juin à décembre. La riziculture est du type extensif avec une médiocre maîtrise de l'eau, en raison des systèmes d'irrigation souvent rudimentaires. Le rendement est de 1,6 t/ha pour la saison *vatomandry* et légèrement inférieur pour la saison *hosy*.

La côte occidentale

Elle s'étend du Nord au Sud en direction de Taolagnaro, en passant par Morondavel, et englobe le sud-ouest et l'extrême sud du Faritany de Tuléar.

Les conditions climatiques se prêtent à la double riziculture.

Trois saisons de culture peuvent y être pratiquées :
– le riz de saison, ou riz *asara*, de novembre à mai ;
– le riz intermédiaire, ou *atriatry*, de janvier à juillet ;
– le riz de contre-saison, ou *jeby*, d'avril à octobre.

La riziculture y bénéficie en général d'importants réseaux d'irrigation. Les systèmes rizicoles vont du système traditionnel à des modes d'exploitation hautement mécanisés. La maîtrise de l'eau est généralement insuffisante dans les petits périmètres irrigués du Nord-Ouest. Les rendements y sont parmi

les plus faibles du pays avec une moyenne variant entre 1,5 et 2 t/ha selon la saison. Dans le Sud-Ouest, en revanche, les rendements sont parmi les plus élevés de l'île : 3,2 t/ha en saison de pluies et 3,4 t/ha en saison sèche.

Les hautes terres

Cette région couvre les provinces d'Antananarivo et de Fianarantsoa. C'est une des principales zones de production rizicole de Madagascar. La majeure partie des cultures de riz irrigué s'y trouve. Les paysans y sont des riziculteurs de longue date et les pratiques culturales sont plus intensives qu'ailleurs.

La riziculture s'étale sur trois saisons :
– première saison ou *Vary Aloha,* d'août en février ;
– saison intermédiaire ou *Vary Siha,* de septembre à mars ;
– deuxième saison ou *Vary Vakiambiaty,* de novembre à mai.

La riziculture des hauts plateaux est dominée par cette dernière saison de culture. En culture traditionnelle, le rendement moyen se chiffre à 1,6 t/ha mais suivant les niveaux d'intensification appliqués, il peut atteindre 2,8 à 5 t/ha.

Caractéristiques de la riziculture d'altitude

Les hautes terres malgaches sont globalement constituées dans la partie nord par le Faritany d'Antananarivo et au sud par le pays Betsileo. Elles font partie du grand bloc montagneux central. De relief accidenté avec un type de sols variés et un alluvionnement intense, l'altitude des vallées et des plaines varie de 1 000-1 200 m en Imerina, à 1 500-1 800 m dans le Vakinakaratta, et à 1 200-1 400 m dans le pays betsileo. Accusant un climat tropical d'altitude avec gelée durant la période juin-août, les hauts plateaux malgaches se subdivisent en quatre grandes régions :
– l'Imerima et sa riche plaine Betsimitatatra irriguée par l'Ikopa et ses affluents ;
– l'Itasy à l'Ouest. Contrée plus sèche et plus ensoleillée avec d'intéressantes possibilités d'extension rizicole sur les zones volcaniques des marais d'Ifanja et de Fitandambo ;
– le Vakinankaratra au Sud. Région surtout volcanique très montagneuse, d'altitude plus élevée et de climat plus rigoureux pour les plantes tropicales.

Ici, le riz atteint sa limite de culture, dans les secteurs de Vinaninony et de Faratsiho où se cultivent des variétés locales résistantes au froid (Iatsidahy, Iatsibavy).

Le Vakinankaratra présente quelques plaines de grandes potentialités rizicoles : Ambohibary-Sambaina, Antsirabe, Manandona et Landratsay-Betafo.

Le pays betsileo où la plaine d'Ankora offre :
– des vallées de largeur variable, sinueuse, utilisée au maximum pour le riz ;
– des vallons plus étroits divisés en rizières minuscules ;
– des pentes aménagées en gradins et en terrasses au bénéfice du riz.

Les contraintes de la riziculture d'altitude

Les hautes terres malgaches présentent comme principales contraintes un climat rigoureux, des sols acides et une forte pression parasitaire.

Un climat rigoureux

Il est caractérisé par des températures basses en début et en fin de cycle rendant nécessaires non seulement l'adoption de variétés à cycle court mais aussi l'obligation de caler le cycle cultural à une période très précise. Pour éviter les températures froides en fin de cycle et, corrélativement, son effet néfaste sur la stérilité des épillets, le semis doit se faire le plus tôt possible, en novembre, au plus tard.

Toutefois, il n'est pas toujours possible de semer tôt en raison de la distribution pluviométrique irrégulière. L'installation tardive de la saison pluvieuse contraint souvent à retarder le semis. En outre, on connaît fréquemment une période extrêmement pluvieuse en janvier-février en relation avec la succession des cyclones et des dépressions tropicales. Durant ces périodes cycloniques, on remarque enfin des vents forts, une forte hygrométrie et une couverture nuageuse importante se traduisant par un ensoleillement limitant.

Des sols acides

Il présente des sols acides au type ferrallitique désaturé en pluvial et hydromorphe moyennement à fortement organique en aquatique. De composition diverse, surtout en ce qui concerne la teneur en matière organique, ces sols marqués par un pH bas — de l'ordre de 4,5 à 6,5 — accusent des déséquilibres nutritionnels induits par la prépondérance de la toxicité aluminique et/ou ferreuse.

Une forte pression parasitaire

Les conditions climatiques liées à l'altitude ont une influence prépondérante sur l'incidence des maladies. Outre les dégâts causés par les insectes terricoles (*Heteronychus* et *Hopliochellus*), les deux plus importantes sont la pyriculariose causées par *Pyriculariose oryzae* et la pourriture de gaines due à *Sarocladium oryzae* en pluviale. Tandis qu'en riziculture aquatique, une bactériose occasionnée par *Pseudomonas fuscovaginae,* entraînant une pourriture des gaines et un blocage de l'émergence paniculaire, explique en partie les fluctuations de rendement.

Un faible niveau d'intensification

Le coût élevé des intrants — en relation avec le prix peu rémunérateur du paddy et la faible monétarisation des paysans des hautes terres malgaches — limite le taux du fumier, seule ressource fertilisante pouvant être produite par le paysan, ce qui aggrave la situation.

Objectifs et méthodologie adoptée

La faiblesse de rendement consécutive à une forte stérilité des épillets provoquée par le froid et les maladies constitue le principal facteur limitant le développement de la riziculture d'altitude appelée pourtant à s'étendre en raison de la pression démographique sans cesse croissante et l'extension limitée des bas-fonds. Un net enguouement des agriculteurs pour la riziculture pluviale a été effectivement constaté vers les années 80 en zones d'altitude supérieures à 1 000 m mais faute de clés variétés adéquates, ils ont été rapidement découragés par les rendements décevants enregistrés. La riziculture aquatique gagnait également en hauteur mais les grandes fluctuations des rendements en aquatique de très haute altitude freinait son développement.

Face à ces problèmes, les deux institutions de recherche, le FOFIFA et le CIRAD ont décidé d'unir leur compétence et leur savoir-faire pour comprendre cet intérêt des agriculteurs pour la riziculture d'altitude, d'une part, et les facteurs limitant son développement, d'autre part.

Ainsi, depuis 1984, un programme visant le développement de la riziculture pluviale et aquatique d'altitude a été lancé à Madagascar. Il s'intitule : « Etude des contraintes liées à la riziculture d'altitude et développement des variétés adaptées a ces conditions ».

Il est conduit initialement par le CIRAD et le FOFIFA en relation avec l'Institut des sciences agronomiques du Burundi associés à l'université catholique de Louvain-la-Neuve, en Belgique, avec l'appui financier de la Communauté économique européenne. D'autres partenaires du Sud, tels que le Népal, la Chine et le Zaïre, se sont par la suite intéressés au programme.

Il s'est déroulé en trois phases :

– la première phase (1984-1987), axée principalement sur le criblage et l'évaluation variétale en vue de la mise au point de variétés adaptées aux conditions de riziculture d'altitude fut par la suite élargie à l'étude et à la hiérarchisation des facteurs du milieu limitant la production ;

– la deuxième phase (1982-1992), comportait en plus de l'amélioration variétale et l'agrophysiologie, un volet phytopathologie visant à mettre au point des variétés résistantes à la pourriture des gaines causées par *Pseudomonas fuscovaginae ;*

– la troisième phase, qui prend fin en septembre 1996, consiste plus particulièrement à valoriser au mieux les acquis par diffusion des lignées créées dans le cadre du programme en relation avec des techniques culturales adaptées aux contraintes du milieu.

Le programme s'est fixé des objectifs dans deux domaines.

En création variétale

Amélioration de la fertilité des épillets par création criblage et sélection des lignées résistantes au froid, aux maladies, de cycle court et de qualité agronomique améliorée.

En agronomie

Mise au point d'itinéraires techniques de restauration et de maintien de la fertilité des sols, adaptés à la conjoncture socio-économique. Pour atteindre ces objectifs, une équipe pluridisciplinaire associant sélectionneurs, phytopathologistes et agrophysiologistes a été créée. Par ailleurs, une étroite collaboration avec les différents organismes de recherche-développement et de vulgarisation a été toujours entretenue pour une meilleure adéquation du programme aux contraintes réelles du développement du paysannat.

Trois niveaux d'intervention ont été ainsi choisis. En milieu controlé, en station où, outre le suivi climatique qui consiste à caractériser la représentativité de l'année en cours comparativement aux données moyennes historiques, sont conduits des essais de collection et d'évaluation variétale ainsi que des essais thématiques portant sur les modalités de semis, les techniques de fertilisation et les traitements phytosanitaires, les rotations culturales et le semis direct. Les itinéraires techniques mis au point en station passeront par la suite d'abord en tests multilocaux dans le but de caractériser les relations phénotypes-environnement en vue de retenir un minimum de sites d'expérimentation discriminantes et de révéler les adaptations spécifiques des terroirs ; ensuite en milieu réel pour permettre d'apprécier en grandeur réelle les innovations (variétales et techniques) identifiées en station et par l'intermédiaire des tests multilocaux, ceci en relation avec les contraintes socioéconomiques et selon la réceptivité et les critères des agriculteurs.

Conclusion

La mise en œuvre de cette méthodologie nous a permis d'obtenir des résultats dans divers domaines allant de la climatologie et de l'amélioration variétale en passant par la phytotechnie et la protection phytosanitaire pour aboutir à la production de semences. Les systèmes de culture mis au point et les variétés créées laissent espérer de bons rendements en zone d'altitude où jusqu'ici les basses températures interdisaient une production compétitive. La demande adoptée pour la mise en œuvre de ce projet a par ailleurs mis en évidence l'intérêt et l'importance de l'approche pluridisciplinaire et des relations établies avec les organismes de développement rural et de recherche appliquée.

Références bibliographiques

ORSTOM, 1984. Les hautes terres de Madagascar et leurs confins occidentaux. Enracinement et mobilité des sociétés rurales. Tome 1. Editions Karthala.

CHABANNE A., RAZAKAMIARAMANANA, 1991. Latsiddhy, une population de riz aquatique adaptée aux contraintes de haute altitude. *In* Atelier international sur le riz d'altitude, 15-20 avril 1991, Antsirabe, Madagascar, 10 p.

CHABANNE A. ROLLIN D., 1990. Contraintes liées à la riziculture d'altitude à Madagascar. *In* Séminaire sur les contraintes liées à la riziculture et l'amélioration variétale, 18-23 avril 1990, Bujumbura, Burundi. Université du Burundi, p. 29-44.

CIRAD, 1990. Images de la recherche. CIRAD, Paris, France, p. 18-20.

DECHANET R., RAVATOMANGA J., RAKOTONIRAINY R., 1990. L'amélioration variétale du riz d'altitude à Madagascar. *In* Séminaire sur les contraintes liées à la riziculture et à l'amélioration variétale, 18-23 avril 1990, Bujumbura, Burundi. Université du Burundi, p. 18-23.

DECHANET R., RAKOTONIRAINY R., 1991. Bilan de l'amélioration variétale pour le développement de la riziculture pluviale et aquatique à Madagascar. *In* Atelier Interaction sur le riz d'altitude, 15-20 avril 1991, Antsirabe, Madagascar, 8 p.

FOFIFA, 1991. Compte rendu de l'atelier international sur le riz d'altitude, 15-20 avril 1991, Antsirabe, Madagascar, 123 p.

DE GUIDICI P., 1991. Physico-chimie et fertilité des sols rizicultivés malgaches d'altitude. *In* Atelier international sur le riz d'altitude, 15-20 avril 1991, Antsirabe, Madagascar, 8 p.

JACQUOT M., 1987. Amélioration variétale pour le développement de la riziculture aquatique et pluviale en zones tropicales d'altitude. Rapport de synthèse d'un projet CEE. CIRAD-IRAT, Montpellier, France, 7 p.

JAUNET T., ROTT J.-P., NOTTEGHEM J.-L., 1990. Diagnostic et résistance à *Pseudomonas fuscovaginae*. *In* Séminaire sur les contraintes liées à la riziculture et l'amélioration variétale, Bujumbura, Burundi, 18-23 avril 1990. Université du Burundi, p. 121-127.

JAUNET T., RANDRIANASOLO A., RANOMENJANAHARY S., 1991. Impact de l'attaque du paddy par *Pseudomonas fuscovaginae*. *In* Atelier international sur le riz d'altitude, 15-20 avril 1991, Antsirabe, Madagascar, 16 p.

NOTTEGHEM J.-L., 1990. Rapport de mission à Madagascar. Analyse des problèmes posés par les maladies du riz en zone d'altitude. CIRAD-IRAT, Montpellier, France, 9 p.

RABARY E., NOYER J.-L., BENAYER P., ARNAUD M., GLASZMANN J.-C., 1989. Variabilité génétique du riz (*Oryza sativa* L.) à Madagascar, origine de types nouveaux. L'agronomie tropicale 44 (4) : 305-312.

RAI A.K. Varietal development of rice for hills of Nepal. *In* Atelier international sur le riz d'altitude, 15-20 avril 1991, Antsirabe, Madagascar, 6 p.

ROTT P., HONNEGER J., NOTTEGHEM J.-L., FROSSARD P., 1989. Identification and characterization of *Pseudomonas fuscovaginae,* the causal agent of bacterial sheath brown rot of rice, from Madagascar and other countries. Plant disease 73 (2) : 133-137.

ROTT P., HONNEGER J., NOTTEGHEM J.-L., RANOMENJANAHARY S., 1991. Identification of *Pseudomonas fuscovaginae* with biochelical, serological, and pathogenicity tests. Plant disease 75 (8) : 843-846.

SEGUY L., 1989, 1990, 1991, 1992. Rapports de mission d'appui à Madagascar. CIRAD-IRAT.

SEGUY L., CHABANNE A., DECHANET R., 1992. Plaquettes sur la riziculture pluviale et aquatique d'altitude à Madagascar, à paraître.

SHAKYA D.D., MANANDHAR H.S., 1992. Bacterial sheath brown rot of rice caused by *Pseudomonas fuscovaginae* in Nepal. *In* Abstracts of papers and posters, 8th International conference on pathogenic bacteria, May 1992, Versailles, France.

THAPA B.J., 1991. Blast disease, a major problem and its control. *In* Atelier international sur le riz d'altitude, 15-20 avril 1991, Antsirabe, Madagascar, 17 p.

JAUNET T., NOTTEGHEM J.-L., DECHANET R., RAZAFINDRAKOTO J., 1992. Disease assessment in Madagascar of sheat brown rot of rice caused by *Pseudomonas fuscovaginae. In* Abstracts of papers and posters, 8th International conference on pathogenic bacteria, May 1992, Versailles, France.

Session 1

Présentation par pays des acquis de la recherche

POISSON C., RAKOTOARISOA J., (edit.). 1997
Riziculture d'altitude
Actes du séminaire riziculture d'altitude
29 mars-5 avril 1996, Antananarivo, Madagascar.
Colloques, CIRAD-CA, Montpellier, France, 272 p.

Evolution de la riziculture des marais d'altitude au Burundi : contraintes rencontrées et méthode d'amélioration variétale utilisée

A. NIZIGIYIMANA
FACAGRO, université du Burundi, Bujumbura, Burundi

Résumé — Introduite au Burundi, en 1982, avec la diffusion de la variété Yunnan 3, la riziculture des marais d'altitude a rencontré 3 contraintes principales : les basses températures nocturnes qui limitent son extension à moins de 1 700 m d'altitude, la bactériose due à *Pseudomonas fuscovaginae* et la pyriculariose due à *Pyricularia oryzae*. Afin de lutter contre ces contraintes, le programme d'amélioration variétale de la riziculture des marais d'altitude attaché à la faculté des sciences agronomiques (FACAGRO) a rassemblé une cinquantaine de géniteurs d'origines diverses et a effectué des croisements intervariétaux pour créer de nouveaux génotypes. La méthode des populations hybrides, qui favorise la sélection naturelle, a été utilisée pour créer des variétés adaptées aux différentes conditions écologiques des marais d'altitude. Elle a permis d'obtenir des variétés tolérantes aux basses températures et résistantes à la bactériose. Cependant, la pyriculariose reste difficile à contrôler parce qu'elle possède beaucoup de souches différentes qui risquent de surmonter la résistance verticale des variétés sélectionnées. La seule solution possible à cette maladie est de lui opposer un maximum d'hétérogénéité en déployant un nombre important de gènes de résistance, ce qui nécessite un programme permanent de contrôle des maladies et de création variétale. Le but du présent travail est de faire un bilan d'une dizaine d'années d'amélioration variétale de la riziculture des marais d'altitude au Burundi. Les contraintes rencontrées et la méthode d'amélioration variétale utilisée pour les contourner seront mises en évidence avant d'exposer les résultats déjà obtenus.

Mots-clés : *Oryza sativa* L., basse température, pyriculariose, bactériose, méthode des populations hybrides.

Introduction

Le Burundi est un pays d'Afrique centrale délimité à l'Est et au Sud par la Tanzanie, au Nord par le Rwanda et à l'Ouest par le Zaïre. Le pays est divisé en trois principales zones climatiques suivant l'altitude :

– la zone de climat tropical, située à moins de 1 000 m d'altitude à l'ouest du pays, le long du lac Tanganyika. La température moyenne annuelle est de 23 °C. Dans cette plaine, on y pratique surtout la riziculture irriguée et la riziculture pluviale ;

– les régions du plateau central situées entre 1 000 et 2 000 m d'altitude. Elles jouissent d'un régime pluviométrique tropical et le climat est tempéré par l'altitude. Les températures moyennes annuelles varient entre 18 °C et 20 °C et les températures minimales nocturnes peuvent descendre en dessous de 10 °C. C'est dans cette même région que se retrouve l'entièreté des marais qui nous concernent ;

– la crête Zaïre-Nil située au-dessus de 2 000 m d'altitude. Elle connaît un climat rude aux pluies abondantes et à courte saison sèche. La température moyenne de l'année est de 17 °C et la superficie des marais est négligeable. C'est une zone inaccessible à la riziculture à cause de très basses températures nocturnes.

Traditionnellement, la plupart des marais n'étaient cultivés que pendant la saison sèche par un mélange haricot-maïs permettant ainsi une soudure entre les deux saisons de pluies. En 1981, 47 % des marais du pays étaient déjà cultivés.

Le tableau I et la figure 1 montrent que les provinces Kirundo, Muyinga, Ngozi, Kayanza, Cankuzo et Ruyigi, situées sur le plateau central, au nord et à

l'est du pays, ont les plus grandes superficies de marais. De plus, à part la province de Kayanza — qui est la plus densément peuplée (300 habitants/km²) —, moins de 50 % de leurs marais étaient déjà cultivés en 1981, avant l'introduction de la riziculture d'altitude. La riziculture a été introduite au Burundi à partir de la plaine côtière du lac Tanganyika par la population arabisée provenant de Tanzanie. Jusqu'en 1982, les basses températures nocturnes ne permettaient pas son implantation dans les marais du plateau central : les variétés traditionnelles de plaine étant entièrement stériles à plus de 1 300 m d'altitude (DE BRABANDERE, 1982).

ISABU (Institut des sciences agronomiques du Burundi) a installé son premier essai rizicole dans un marais de moyenne altitude (Gisha à Ngozi), pendant la campagne culturale 1977-1978. Cinq variétés furent testées pendant trois campagnes culturales successives jusqu'en 1981 : trois variétés d'origine malgache (M1283, M473 et M347) et deux d'origine chinoise (China et Yunnan 3). Les conclusions furent en faveur de la variété Yunnan 3 dont le rendement dépassait 3,5 t/ha avec un cycle de 210 jours. Elle fut diffusée en milieu rural, dans la région naturelle du Buyenzi, à partir de la saison culturale 1981-1982, pour être cultivée en rotation avec les associations traditionnelles de haricot et de maïs (De BRABANDERE, 1982). Dès lors, la riziculture a connu un développement explosif sur le plateau central jusqu'à occuper entre 15 000 et 20 000 hectares, en 1990, avant de régresser de manière spectaculaire à la suite de l'épidémie de pyriculariose.

Les principales contraintes rencontrées par la riziculture des marais d'altitude du Burundi

Les basses températures nocturnes

Dans les marais d'altitude, le drainage de l'air froid par des coulées nocturnes conduit à un abaissement brusque de la température minimale, d'autant plus marqué que les collines avoisinantes sont élevées. Ce microclimat affecte la phénologie du riz à plusieurs niveaux selon le stade de développement de la plante et le génotype concerné : certaines variétés ne germent pas, d'autres germent mais jaunissent au stade plantule, d'autres tallent mais restent sans panicules, et d'autres arrivent à l'épiaison mais manifestent une stérilité élevée des épillets à la récolte (NIZIGIYIMANA, 1993).

L'un des facteurs considérés dans la tolérance aux basses températures est la stérilité des épillets. Elle

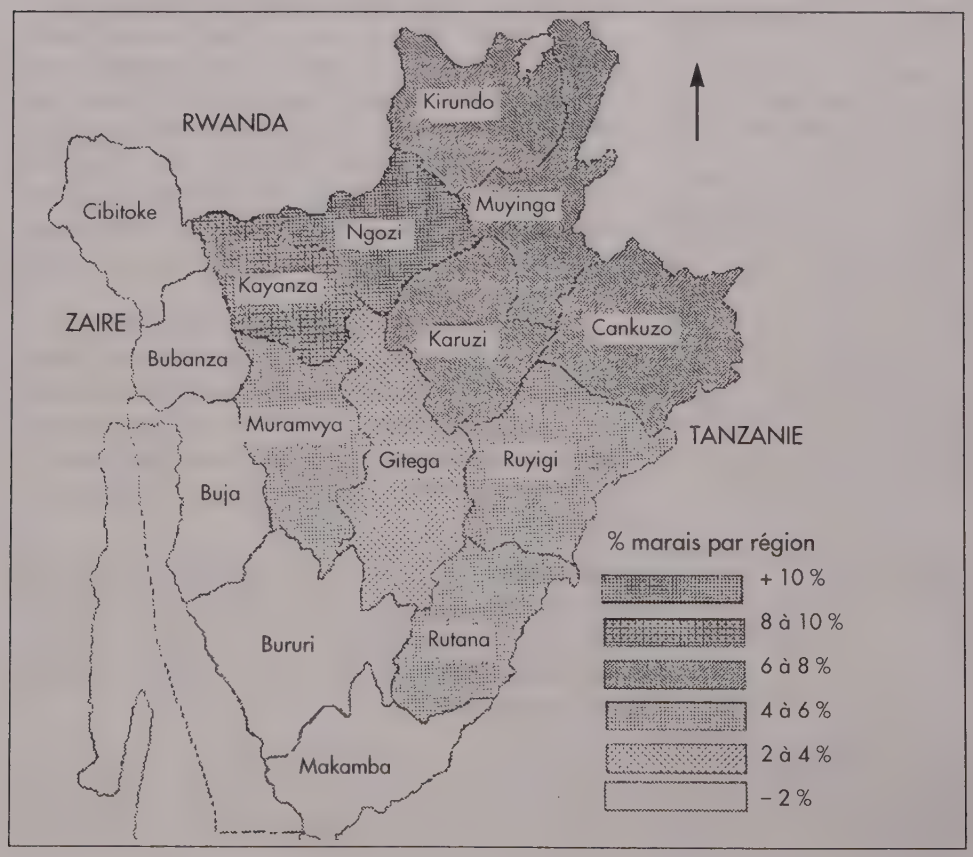


Figure 1. *Pourcentage de la superficie des marais par rapport à la superficie totale de la province au Burundi.*

résulte des perturbations induites par le froid, soit lors de la mise en place des organes floraux, soit pendant la microsporogenèse, soit à l'anthèse ou les trois à la fois (NIZIGIYIMANA, 1993). La tolérance aux basses températures est contrôlée par plusieurs gènes mineurs difficiles à identifier (KHAN *et al.*, 1986). Le meilleur génotype doit rassembler tous les gènes d'adaptation au stress permanent des basses températures. Il est donc nécessaire d'effectuer un nombre assez important de croisements entre beaucoup de géniteurs d'origine différente pour augmenter la chance d'avoir des génotypes réunissant de nombreux gènes de tolérance.

Jusqu'à présent, au Burundi, la riziculture ne peut pas dépasser 1 700 m d'altitude. Le tableau I montre que les provinces Ngozi, Kirundo, Cankuzo, Muyinga, Ruyigi et Karuzi possèdent les plus grandes superficies accessibles à la riziculture des marais d'attitude. Au départ, juste après la diffusion de la variété Yunnan 3, la région du Buyenzi (Ngozi et Kayanza) était la plus privilégiée en matière de riziculture. Cependant, l'épidémie de pyriculariose a découragé les agriculteurs de la région, en 1990, avec la destruction de champs entiers de Yunnan 3. Ils ont repris la culture traditionnelle de haricot-maïs suivie d'une période de jachère. Après cet échec, le programme d'amélioration variétale de la riziculture d'altitude de FACAGRO (Faculté des sciences agronomiques du Burundi) a introduit les nouvelles créations variétales (Facagro 57, 59 et 71), à Kirundo, qui est actuellement la province la mieux encadrée dans ce domaine. Des groupements de paysans habitant autour d'un même marais pour une exploitation commune, comme le marais de Gikuyo, sont encouragés dans cette région afin de faciliter l'aménagement du marais et faire une bonne gestion de l'eau d'irrigation.

A l'est du pays, dans la province de Cankuzo, le programme mis en place essaie d'étendre la riziculture des marais d'altitude à partir du marais pilote de Mishiha qui est bien aménagé et dans lequel des multiplications de meilleures variétés ont été installés à côté des essais expérimentaux.

Contraintes phytopathologiques

La bactériose due à *Pseudomonas fuscovaginae*

La bactériose fut observée pour la première fois en mai 1982 après la diffusion de la variété Yunnan 3. Les symptômes produits particulièrement sur la gaine paniculaire provoquent spécialement un raccourcissement du dernier entre-nœud et, par conséquent, une mauvaise sortie paniculaire, ce qui implique une stérilité de la partie non émergée de la panicule. La coïncidence de la montaison-floraison, stade vulnérable, avec une humidité relative élevée et des températures inférieures à 20 °C pendant la journée, a été identifiée comme facteur favorable au développement de la maladie (NTIBISHIMIRWA, 1991). NTIBISHIMIRWA (1991) a trouvé que le

Tableau I. Superficie des marais par province en 1981.

Province	Superficie totale des marais	% des marais cultivés en 1981	Superficie des marais situés à moins de 1 700 m d'altitude
Bujumbura	1 165	72	1 165
Bubanza	558	0	558
Bururi	3 009	41	64,4
Cankuzo	11 378	35	**11 378**
Cibitoke	1 114	62	1 114
Gitega	8 084	89	6235,7
Karuzi	9 347	38	**9 347**
Kayanza	11 026	73	8723,1
Kirundo	13 810	11	**13 810**
Makamba	1 626	70	1568,2
Muramviya	6 960	92	1920,3
Muyinga	10 700	37	**10 700**
Ngozi	14 662	48	**14 662**
Rutana	8 018	20	7 880
Ruyigi	10 571	47	**10 571**
Total	112 028	47	99 696,7

Source : Van LEUWEN (1984). La riziculture se limite à moins de 1 700 m d'altitude.

potentiel d'inoculum existe en permanence au champ, sur les plantes adventices, dans les pailles de riz infectées ainsi que dans le sol. Au Burundi, la bactériose se rencontre dans presque tous les marais situés à plus de 1 300 m d'altitude.

La pyriculariose due à *Pyricularia oryzae*

La pyriculariose était connue depuis longtemps à basse altitude, le long du lac Tanganyika, principalement en riziculture pluviale (TILQUIN, 1987 ; TILQUIN et NJINGINYA, 1988). Elle a été identifiée pour la première fois dans les marais d'altitude à Gisha, marais de Ngozi, en 1986. A partir de ce moment-là, la maladie s'est vite transformée en épidémie jusqu'à la destruction totale de la variété Yunnan 3, en 1990, dans tous les marais de la région du Buyenzi.

La pyriculariose s'attaque aux feuilles, aux nœuds des tiges et au cou de la panicule. Le cou paniculaire est l'endroit le plus vulnérable : selon la sensibilité de la variété, les symptômes vont d'un léger brunissement à un noircissement intense sur plusieurs centimètres conduisant à la cassure de la panicule au niveau du nœud. Dans les marais du Burundi, à climat tempéré par l'altitude, la pyriculariose est de type épidémique. La monoculture de la seule variété Yunnan 3 a dévasté des champs entiers en 1990, ce qui a découragé la plupart des riziculteurs de la région du Buyenzi.

Pyricularia oryzae est une espèce très polymorphe qui possède une grande variabilité de souches et s'adapte facilement aux nouvelles variétés. Sa pathogénicité est contrôlée par beaucoup de gènes. La résistance verticale à la maladie utilise des gènes majeurs mais elle est souvent instable et surmontée par le pathogène après quelques générations de culture. En revanche, la résistance horizontale est de type polygénique, plus stable, mais comme elle dépend de plusieurs gènes mineurs, elle n'est pas facilement manipulée par les améliorateurs.

Autres maladies fongiques mineures

L'helmintosporiose due à *Cochliobolus miyabeanus* (ITO et KURIBAYACHI) (DRESCHLER et DASTUR) est souvent observée sur les feuilles du riz pendant les premiers stades de croissance végétative. Elle se manifeste surtout sur des sols épuisés ou décapés ou qui possèdent un déséquilibre ionique. La rhynchosporiose due à *Gerlachia oryzae* (HASHIOKA et IKEGAMI) (W. GAMS) et la cercosporiose due à *Cercospora janseana* (Rabib. 0. Const.) sont également des maladies mineures rencontrées au Burundi souvent en phase de sénescence des variétés sensibles.

Les insectes ravageurs

Parmi les insectes qui causent des dégâts au riz dans les marais d'altitude du Burundi, seul le *Diopsis thoracica* WestWood (Diptera) est à prendre en considération actuellement. Sa larve est un phytophage obligatoire du riz. Les œufs sont pondus au pieds du limbe de la feuille subterminale d'une jeune tige saine. Dès l'éclosion, la larve pénètre dans la pseudo-tige en mangeant les tissus sains et s'enfonce de plus en plus tout en restant séparée du milieu extérieur par l'épaisseur des deux feuilles engainantes. Lorsque la décomposition de la tige ou de la feuille commence, la larve la quitte pour attaquer une nouvelle tige saine. Une larve peut détruire de 6 à 10 talles de riz (JORDAN, 1966 ; FEIJEN, 1979, cités par MADEBARI, 1995). Auparavant, l'insecte était connu dans la plaine de l'Imbo sans y être une contrainte majeure. Ces trois dernières années, l'insecte est brusquement apparu dans les marais d'altitude où il devient de plus en plus nuisible à la riziculture.

Contraintes édaphiques et problèmes d'aménagement des marais

Traditionnellement, les marais n'étaient cultivés que pendant la saison sèche de sorte que leurs écosystèmes étaient faiblement perturbés par l'homme. Avec l'introduction de la riziculture, l'exploitation continue de ces marais conduit à une dégradation progressive de leur fertilité. De plus, la plupart des marais à nappe phréatique très élevée étaient souvent inexploitée et couverte d'une formation végétative à dominance de *Cyperaceae* avec un sol tourbeux. Ces *Cyperaceae* jouent un rôle important dans la lutte antiérosive et dans le maintien d'une quantité importante d'eau. Les interventions anthropiques trop poussées peuvent donc avoir des conséquences graves et parfois irréversibles comme le tassement, l'assèchement irréversible, l'érosion des fossés de drainage, le glissement de terrain et la perte de la fertilité (Van LEUWEN, 1984).

En ce qui concerne l'aménagement des marais, la rotation de la culture de haricot-maïs avec la riziculture demande un aménagement particulier du marais permettant un bon contrôle de l'eau. Un mauvais drainage accompagné d'une mauvaise décomposition de la matière organique peut être à l'origine de maladies physiologiques chez le riz. Nous pouvons citer, entre autres maladies, le *bronzing* dû à une toxicité ferreuse et la tête droite *(straighthead)* causée par un excès en sulfate d'hydrogène (H_2S) qui se traduit par une stérilité totale des épillets (JOSHI *et al.*, 1975).

Amélioration variétale de la riziculture des marais d'altitude au Burundi

Matériel végétal utilisé

Les variétés de l'IRRI (International Rice Research Institute)

En 1984, l'unité d'amélioration des plantes de la faculté des sciences agronomiques du Burundi a conçu un programme d'amélioration rizicole — dont l'objectif principal était la diversification variétale —, afin d'assurer à long terme la réussite de la riziculture d'altitude naissante (TILQUIN, 1992). Dès l'approbation du programme par la Commission des communautés européennes dans le cadre du STD 1, une demande de lignées résistantes aux basses températures fut adressée à l'IRRI. L'institut ne tarda pas à répondre en envoyant 44 variétés provenant des collection IRCTN (International Rice Cold Tolerance Nursery). Ces variétés furent d'abord testées à basse altitude (800 m), dans la plaine de l'Imbo, toutes arrivèrent à maturité sans problème. Elle furent ensuite installées dans le marais de l'Akagoma, à Ngozi, — situé à 1 550 m d'altitude — pour évaluer leur tolérance aux basses températures nocturnes. Deux critères ont été pris en considération : le tallage utile et le pourcentage de stérilité correspondant au rapport du nombre d'épillets vides sur le nombre total de grains par panicule. Le tableau II montre qu'aucune lignée n'est plus tolérante aux basses températures que Yunnan 3, la majorité de celles-ci a un taux de stérilité supérieur à 50 %.

Géniteurs malgaches

Une vingtaine de variétés sont venues de Madagascar sur base de similitudes écologiques entre les deux pays. Le tableau III montre que leur mise en observation dans le marais de l'Akagoma a fait ressortir sept variétés plus productives que Yunnan 3 : Rojofosty (1285), Mutant Rojomena, Tokombana, Rojomena (A5-96), Mangakely, Ootori (1647) et Secano 1099. Toutefois, ces variétés ont été décimées par la pyriculariose dès leur deuxième campagne culturale en 1988-1989.

Géniteurs locaux

Les *lands races* du Burundi sont des populations adaptées aux conditions écologiques de basse altitude. Elles sont constituées de mélanges de variétés inconnues résistantes à plusieurs maladies du milieu (TILQUIN et NJINGINYA, 1988). Les plus performantes dans la riziculture pluviale sont les variétés IB45 et IB17 ; la variété L9 étant adaptée à la riziculture des marais de basse altitude (moins de 1 000 m d'altitude).

Tableau II. Pourcentage de stérilité des épillets chez les géniteurs cultivés à l'Akagoma (1 550 m d'altitude).

Variété/lignée	Origine	% stérilité	Variété/lignée	Origine	% stérilité
B2978b-Sr2-6-2-2-2	Indonésie	37,4	IR22723-RR-4-2	IRRI	70,7
B2980b-Sr-2-6-2-3-2	Indonésie	45,1	IR22623-RR-4-3	IRRI	81,8
B2982b-Sr-62-3-1-4	Indonésie	63,9	IR24312-19-3-B	IRRI	83,2
B2983b-Sr-85-3-2-4	Indonésie	65,2	K288	Inde	82,6
Barkat (K78-13)	Bangladesh	32,3	K438	Inde	49,0
BrS1-315-2B-39-1-1	Bangladesh	97,2	K443-106	Inde	87,0
Br220-1-1	Bangladesh	95,1	Kaohsiung Sen yu 252	Taïwan	87,2
Br319-1	Bangladesh	100,0	NR10041-66-3-1	Népal	70,8
Chan Wang Ku (1539)	Chine	88,7	RP1848-54-2-3-1	Inde	77,7
IR2061-522-6-9	IRRI	83,4	RP1848-109-2-1-1	Inde	66,2
IR5716-18-1	IRRI	75,2	RP1931-68-4-1-2	Inde	90,0
IR7167-33-2-3-3-1	IRRI	78,1	Se Lin R (476)	Proc	97,6
IR9202-6-1-1	IRRI	72,1	Shao Nan Tsan	Proc	79,7
IR9202-33-4-2-1	IRRI	70,9	Stejarree 45	URSS	32,2
IRI3155-60-3-1-2-1	IRRI	80,6	Swat 1	Pakistan	74,7
IRI5579-24-2	IRRI	77,8	Tatseni mochi	Japon	17,8
IRI5579-85-2-3	IRRI	92,7	YR1641-GH12-5-1Gh4-1	Corée	90,2
IRI5579-135-3	IRRI	69,3	YR1641-Gh59-7	Corée	83,7
IRI5638-8-8	IRRI	83,1	YR1805-17-3-2	Corée	-
IRI5889-32-1	IRRI	67,7	YR2379-47-2	Corée	93,7
IRI8476-55-2	IRRI	67,5	Yunnan 3	Chine	12,9

Source : TILQUIN J.-P., 1989. Screening for cold tolerance in Burundi, IRRN 14 (1): 1415.

Tableau III. Mise en observation des variétés malgaches à l'Akagoma.

Variétés	% stérilité	Poids de 1 000 grains	Tallage utile	Rendement en kg/ha
Ambalalava (M1 283)	27,5	27,8	315	1 643,6
Chianan B (1932)	-	19,6	215	681,9
Kalila (473)	27,5	24,1	230	1 215,0
Botra	49,7	17,6	298	1 368,8
Telorirana (A5 91)	46,2	22,6	198	722,5
Rojofosty (1 285)	23,6	24,3	243	2 042,7
Mutant Rojomena	22,7	28,8	185	2 023,2
Botramaitso	65,2	20,9	128	1 255,7
Tokombana	64,8	23,6	300	1 917,5
Rojomena (AS 96)	32,8	21,9	248	1 927,1
Tainung 3	59,0	16,8	245	447,0
Nitsangana	38,5	22,2	248	423,9
Mangakely	35,8	25,5	255	1 981,1
Ootori (1 647)	17,5	25,2	140	2 187,5
Kaoshiung 21	49,9	22,1	333	1 640,0
Mavobe (A5 43)	38,0	22,8	305	1 186,0
1 300	62,9	22,5	245	1 467,5
Secano 1099	39,6	26,2	265	2 617,5,
Yunnan 3	44,3	22,8	228	1 823,81

Les géniteurs de l'IRAT (Institut de recherche en agronomie tropicale)

L'IRAT a également livré au Burundi des variétés adaptées à la riziculture pluviale de basse altitude. IRAT 13 et IRAT 104 sont les plus connues pour leur résistance au champ à la pyriculariose et ont été introduites dans nos programmes d'hybridation.

Principale méthode de sélection utilisée

Après avoir rassemblé un nombre important de géniteurs, les premiers croisements ont été directement commencés, en 1985, afin de créer des recombinaisons et d'augmenter la chance d'avoir des génotypes réunissant un grand nombre de gènes favorables. Des croisements diallèles ont été ainsi réalisés entre les géniteurs de l'IRRI et les variétés L9, Ambalalava, IB45 et K_5. Les hybrides F1 ont été ensuite multipliés en *bulk*, à basse altitude (800 m) pour constituer des populations hybrides. Cela a continué pendant trois à quatre générations jusqu'à l'obtention d'une homogénéité suffisante des caractères agronomiques recherchés. Dans le but de diversifier les relations entre les gènes nucléaires et les gènes cytoplasmiques, les croisements réciproques ont été également *bulkés* pour générer le maximum d'hétérogénéité. La méthode des populations hybrides ainsi choisie favorise la sélection naturelle qui a tendance à ajuster les types de plantes aux conditions environnementales du milieu. De plus, c'est une méthode qui convient pour l'amélioration des caractères quantitatifs tels que la tolérance aux basses températures et la résistance horizontale à la pyriculariose. Dans le cas précis de la riziculture des marais d'altitude du Burundi, la méthode des populations hybrides favorise l'adaptation des variétés nouvellement introduites à la région où elles sont sélectionnées. Elle exerce également une pression stabilisatrice sur les populations parasites et diminue ainsi le risque d'épidémies capables d'anéantir des champs entiers et de décourager les riziculteurs. Les variétés populations qui en résultent sont composées d'un mélange incontrôlé de lignées, d'où leur facilité d'adaptation aux changements climatiques ou phytopathologiques du milieu. Dès novembre 1986, 46 familles F4 à faible variabilité furent confrontées aux contraintes d'altitude dans le marais de l'Akagoma. A ce moment-là, les contraintes principales étaient les basses températures nocturnes, la bactériose et la pyriculariose naissante. Onze familles se montrèrent plus productives que Yunnan 3 et parmi celles-ci, 3 variétés populations (Facagro 57, Facagro 59 et Facagro 71) ont été adoptées par les agriculteurs dès la campagne culturale 1988-1989. Ce noyau a assuré la continuité de la riziculture dans la province de Kirundo après la destruction totale de Yunnan 3, en 1990, (TILQUIN *et al.*, 1992). En 1987, 29 nouvelles familles passèrent une nouvelle épreuve dans le même marais en misant toujours sur l'efficacité de la sélection naturelle

pour éliminer les familles inadaptées aux conditions environnementales. Dans notre méthodologie, les essais préliminaires de triage sont toujours suivis par un essai de confirmation des meilleures variétés comprenant 3 répétitions ; ce qui permet de faire des analyses statistiques et de comparer les différentes composantes du rendement ainsi que l'incidence et la sévérité des maladies pour les différentes variétés. Les meilleures variétés sortant de l'essai de confirmation entrent dans des essais multilocaux installés dans 3 sites à écosystèmes différents pour évaluer l'interaction entre le génotype et l'environnement et déterminer les variétés adaptées à telle ou telle région. En effet, il existe de fortes fluctuations climatiques selon les microclimats des différents marais.

Les résultats déjà obtenus

La tolérance aux basses températures

La stérilité des épillets est mesurée sur un échantillon de 25 panicules saines par répétition (généralement il y a 3 répétitions) et représente la somme de la stérilité inhérente à toute culture et de la stérilité due aux basses températures ou aux mauvaises conditions édaphiques. C'est la variable principale utilisée pour estimer la sensibilité aux basses températures chez le riz. La méthode des populations hybrides est efficace pour augmenter la tolérance aux basses températures. Si nous ne considérons que les trois variétés déjà diffusées en milieu rural (Facagro 57, 59 et 71), nous constatons que, dans le même site de l'Akagoma, les parents d'origine ont des taux de stérilité moyens plus élevés que ceux des variétés populations issues des croisements. En effet, la sélection naturelle a éliminé progressivement de la population les individus à forte stérilité pour arriver, après plusieurs générations, à une population stable constituée d'éléments tolérants.

Le tableau IV nous montre l'évolution de la stérilité des épillets chez les trois variétés populations à l'Akagoma et à Muramba (Kirundo), de 1991 à 1995. Le site de Muramba se trouve à 1 380 m d'altitude alors que le site de l'Akagoma se trouve à 1 550 m d'altitude. Si la stérilité ne dépendait que des basses températures, elle serait toujours plus élevée à l'Akagoma qu'à Muramba. Cependant, on constate que dans le marais de l'Akagoma, la stérilité augmente au fil des années à cause surtout de la diminution progressive de la fertilité du sol. Celle-ci est due à une surexploitation du marais pendant plusieurs années, sans application de fertilisants, et à un mauvais drainage en contre-saison, provoquant une circulation continue d'eau dans les casiers rizicoles et un lessivage horizontal des éléments minéraux.

La résistance aux maladies

Parmi les variétés populations introduites à l'Akagorna, certaines ont vite été décimées par la bactériose ou la pyriculariose et ont été éliminées ; d'autres, en revanche, ont maintenu un bon comportement général. L'action de la sélection naturelle pendant plusieurs générations sur ces familles a permis d'avoir un nombre assez important de variétés résistantes aux deux principales maladies. Ces variétés restent toujours en observation pour vérifier surtout la stabilité de leur résistance à la pyriculariose. Sur la liste des meilleures créations variétales (tableau VIII), on remarque que, selon les années et les sites de cultures, certaines d'entre elles sont fortement attaquées par la pyriculariose.

Pour la bactériose et la pyriculariose, l'évaluation de la pression de l'inoculum et de son agressivité

Tableau IV. Pourcentage de stérilité des épillets à la récolte de 3 variétés différentes dans les sites de l'Akagoma (1 500 m d'altitude) et de Muramba (1 380 m d'altitude).

Saison culturale	Variétés					
	Facagro 57		Facagro 59		Facagro 71	
	Akagoma	Muramba	Akagoma	Muramba	Akagoma	Muramba
1990-1991	10,9	20,6	11,0	24,1	-	-
1991-1992	17,0	27,0	14,0	19,0	31,0	31,0
1992-1993	29,6	19,9	40,5	17,9	63,5	46,8
1993-1994	27,4	9,6	-	-	-	-
1994-1995	30,3	18,4	44,0	21,8	53,3	17,0
Moyenne	23,0	19,1	27,4	20,7	49,3	31,6

sur une variété particulière se fait à partir de deux indices : l'incidence qui traduit en pourcentage le nombre de talles malades sur un échantillon aléatoire de 10 plants par parcelle (généralement il y a 3 répétitions) ; la sévérité qui reflète la sensibilité d'une variété donnée à un inoculum global, est estimée par la différence de poids des grains entre 25 panicules saines (PPS) et 25 panicules malades (PPM) divisée par le poids des grains de 25 panicules saines : sévérité = (PPS - PPM)/PPS.

Le produit de l'incidence par la sévérité donne une estimation des pertes de rendement dues à la maladie considérée. Tout en n'étant pas parfaits, ces deux indices servent d'indicateur fiable sur l'avenir d'une variété, par exemple, une incidence élevée liée à une faible sévérité est signe de la longévité de la variété et de la présence d'une résistance horizontale envers la maladie en question.

Pour la bactériose, nous allons prendre l'exemple des deux variétés populations Facagro 57 et Facagro 59 qui sont actuellement en diffusion. Le tableau V nous montre l'évolution de l'incidence, de la sévérité et des pertes de rendement dues à la bactériose chez les deux variétés cultivées à l'Akagoma de 1991 à 1995. La sélection naturelle a été efficace pour augmenter la résistance à la bactériose chez les deux variétés. Les pertes de rendement dues à la maladies qui dépassaient 15 % en 1991 se sont stabilisées en dessous de 6 % ces trois dernières années malgré l'incidence parfois élevée.

En ce qui concerne la pyriculariose, le tableau VI nous montre l'incidence, la sévérité et les pertes dues à la maladie, à Muramba, de 1992 à 1995 et, à Mishiha, de 1993 à 1995, pour 6 variétés populations provenant des croisements réalisés par notre programme. Il n'existe pas de corrélation entre l'incidence et la sévérité. En effet, il arrive souvent que l'incidence soit très élevée alors que la sévérité reste négligeable ; c'est le cas de Muramba en 1992-1993 et de Mishiha en 1993-1994. Les pertes de rendement dues à la maladie restent faibles et l'incidence diminue au fur et à mesure que les années avancent chez les 6 variétés. Cela pourrait s'expliquer dans l'adaptabilité progressive des variétés au pathosystème du milieu par sélection naturelle : le développement d'une résistance horizontale implique une faible agressivité du pathogène vis-à-vis de la variété. Il est également à noter que ces deux dernières années, l'incidence de la pyriculariose est plus élevée à Mishiha qu'à Muramba. Il est probable que les souches de *Pyricularia oryzae* de Mishiha soient plus virulentes vis-à-vis de nos variétés que celles de Muramba, ce qui se remarque particulièrement chez les variétés Facagro 71 en 1994-1995 et Facagro 59 en 1993-1994.

Conclusion

La méthode des populations hybrides obéissant à la sélection naturelle a permis de créer des variétés tolérantes aux basses températures nocturnes des marais d'altitude. Actuellement, avec nos variétés, la riziculture peut être pratiquée jusqu'à 1 700 m d'altitude. Les dégâts causés par la bactériose ont aussi étaient limités par la même méthode : le tableau VII montre que les pertes dues à cette maladie sont insignifiantes parmi les meilleures variétés. En revanche, la pyriculariose est très difficile à contrôler. En effet, *Pyricularia oryzae* possède plusieurs souches différentes qui peuvent s'adapter à l'hôte d'une année à l'autre ou par changement de site. La pyriculariose reste toujours la première contrainte majeure de la riziculture des marais d'altitude au Burundi parce que la durée de vie d'une variété visà-vis de cette maladie est imprévisible. Ainsi, cette maladie a fait disparaître un nombre important de variétés après quelques années de culture comme par exemple Yunnan 3, Kirundo 3, Kirundo 9 et les variétés malgaches. Les pesticides chimiques étant inaccessibles à la plupart

Tableau V. Evolution de l'incidence, de la sévérité et de la perte de rendement due à la bactériose chez les variétés Facagro 57 et 59 cultivées à l'Akagoma de 1991 à 1995.

Saison culturale	Facagro 57			Facagro 59		
	Incidence	Sévérité	Perte en %	Incidence	Sévérité	Perte en %
1990-1991	50,6	37,2	22,1	41,1	57,6	15,9
1991-1992	-	-	4,2	-	-	4,5
1992-1993	34,6	9,2	4,4	36,0	8,8	3,3
1993-1994	21,3	24,0	5,7	13,5	12,2	1,7
1994-1995	51,5	15,9	5,9	46,3	5,3	2,6
Moyenne	39,5	21,6	8,5	34,2	21,0	5,6

des agriculteurs burundais, nous préconisons des techniques de sélection qui minimisent le recours à des mesures curatives plutôt que de mettre l'accent sur la lutte chimique contre les maladies. Pour cela, la diversité variétale reste une bonne garantie por la riziculture à long terme. Les chercheurs ne doivent pas se contenter uniquement des quelques variétés qui donnent une lueur d'espoir actuellement. Il est plutôt prudent de continuer à faire des croisements afin d'augmenter la diversité variétale. En outre, il vaudrait mieux incorporer les gènes forts de résistance à la pyriculariose, déjà identifiés à l'IRRI, dans le programme d'hybridation.

Les mélanges variétaux déjà adoptés par la plupart des agriculteurs sont parmi les stratégies à appliquer pour lutter contre la pyriculariose. En plus des variétés Facagro 57, Facagro 59 et Facagro 71 déjà diffusées en milieu rural, cinq autres variétés sont en multiplication pour être distribuée aux agriculteurs pendant la prochaine campagne culturale (1996-1997). Il s'agit des Facagro 18, 46, 234, 441 et 567. Le tableau VI donne les caractéristiques principales des 8 meilleures variétés proposées aux agriculteurs. De plus, le tableau VIII présente l'origine génétique et géographique des variétés provenant de nos croisements.

Parallèlement à la lutte contre la pyriculariose, notre programme doit tenir compte d'autres contraintes naissantes comme le *Diopsis thoracica*, la dégradation de la fertilité des marais et les maladies physiologiques. Il est aussi nécessaire que le paquet phytotechnique et les meilleures créations variétales déjà mis au point, soient diffusés dans les pays voisins ayant le même écosystème que le Burundi.

Tableau VI. Incidence, sévérité et perte due à la pyriculariose à Muramba (pendant 3 ans) et à Mishiha (pendant 2 ans) pour 6 variétés populations.

Variété	Muramba									Mishiha					
	1992-1993			1993-1994			1994-1995			1993-1994			1993-1994		
	Incidence	Sévérité	Perte	Incidence	Sévérité	Perte	Incidence	Sévérité	Perte	Incidence	Sévérité	Perte	Incidence	Sévérité	Perte
Facagro 57	86,5	0,0	0,0	88,9	16,7	2,4	7,5	0,0	0,0	48,2	0,0	0,0	21,0	3,0	0,7
Facagro 59	70,6	1,2	0,8	26,4	0,7	0,2	7,8	0,0	0,0	78,1	7,5	5,9	23,7	4,8	0,6
Facagro 64	84,9	0,0	0,0	4,1	1,7	0,1	12,2	0,0	0,0	52,2	2,9	1,5	20,3	0,0	0,0
Facagro 71	89,2	0,0	0,0	9,9	0,5	0,1	15,9	7,1	1,4	57,8	4,5	2,0	23,5	12,1	3,7
Facagro 234	83,6	4,1	3,6	3,9	19,3	0,8	9,5	0,0	0,0	71,1	0,0	0,0	27,5	0,1	0,0
Facagro 430	58,7	0,0	0,0	49,4	4,0	2,5	14,4	13,3	1,8	76,5	0,1	0,0	40,3	2,4	1,0
Moyenne	78,9	0,9	0,7	17,1	7,2	1,2	11,2	3,4	0,5	64,0	2,5	1,6	26,1	3,7	1,0

Tableau VII. Moyenne de la perte de rendement due à la pyriculariose (PRPY) et à la bactériose (PRBA), taux de stérilité moyen des épillets (STE) et rendement moyen des 8 meilleures variétés populations pendant 3 saisons culturales.

Variétés	1992-1993				1993-1994				1994-1995			
	PRPY en %	PRBA en %	STE en %	RDT t/ha	PRPY en %	PRBA en %	STE en %	RDT t/ha	PRPY en %	PRBA en %	STE en %	RDT t/ha
Facagro 57	0,0	4,2	24,8	6,1	0,8	3,0	17,1	4,2	0,2	2,1	24,6	5,2
Facagro 59	0,7	4,8	29,2	4,7	2,8	2,2	16,9	3,5	0,7	0,7	24,8	4,2
Facagro 71	0,0	0,0	55,2	4,1	1,0	0,2	21,1	3,6	1,7	3,2	30,5	4,4
Facagro 18	-	-	-	6,7	7,2	0,2	18,5	4,6	0,1	0,9	28,5	3,9
Facagro 46	0,0	0,4	49,1	4,2	-	-	-	-	3,1	0,9	34,6	3,8
Facagro 234	1,8	1,6	29,5	4,4	0,5	5,3	22,2	3,8	0,7	2,9	27,5	4,5
Facagro 441	0,0	2,7	24,5	5,1	-	-	-		0,6	2,8	21,9	4,5
Facagro 567	-	-		5,2	2,0	0,3	25,8	3,3	0,7	0,8	39,8	3,5
Moyenne	0,4	2,3	35,4	5,1	2,4	1,9	20,3	3,8	1,0	1,8	29,0	4,3

Tableau VIII. Origine génétique et géographique des meilleures créations variétales.

Facagro 14 (IR [1] 9202-33-4-2-1 Shua Nan Tsan) + Mishiha en 94[2]	Facagro 344 a-doré (IR 15579-24-2/RP 1848-109-2-1-1)
Facagro 18 (Shua Nan Tsan/Tatsumi mochi)	Facagro 344 b-paille (IR 15579-24-2/RP 1848-109-2-1-1)
Facagro 35 (Br 51-315-4/YR 1805-17-3-2)	Facagro 348 (IR 24312 R-R-19-3 / RP 1848-54-2-3-1)
Facagro 36 (IR 24312 -R-R 193/Se Lin, Acc. 4767)	Facagro 369 (IR 5716-18-1/Yung keng 9)
Facagro 45 (IR 9202-33-4-2-1/IR 24312-R-R-19-3)	Facagro 372-6 (Barkat K 78-13/Ambalalava)
Facagro 46 (IR 9202-6-1-1/YR 2379-79-2) + Mishiha en 95	Facagro 372-9 (Barkat K 78-13/Ambalalava)
Facagro 47 (Tatsumi mochi/IR 9202-6-1-1) + Mishiha en 94	Facagro 374 (K 288/K 433-106)
Facagro 49 (pedigree perdu) + Muramba en 91	Facagro 377 (B 2980-B-Sr-2-6-2-3-2/YR 2379-47-2) + Mishiha en 94 Facagro 386 (YR 1641- GH 59-7/Yung Keng 9)
Facagro 53 (B2980-B-Sr-2-6-2/L9)	Facagro 394 (Yung Keng 9/IR 22623-R-R-4-3)
Facagro 56 (IR 9202-33-4-2-1/RP 1848-54-2-3-1)	Facagro 405 (K 433-106/BR 319-1) + Mishiha en 94
Facagro 57 (IR 24312-R-R-19-3-B/B 2980-B-Sr-2-6-2-3-2)	Facagro 406 (IR 22723-R-R-4-2/IR 15579-135-3) + Muramba en 93
Facagro 58 (IR 18476-55-2/IR 24312-R-R-19-3-8) + Muramba en 93 Facagro 59 (NR 10041-66-3-1/B 2980-B-Sr-2-6-2-3-2)	Facagro 414 (RP 1848-109-2-1-1/B 2983-B-Sr-.85-3-2-4) + Muramba en 93
Facagro 64 (K 443-106/1,9)	Facagro 506 (Ken Dia 3/IR 24312-R-R-19-3-B) + Mishiha en 94
Facagro 67 (YR 2379-87-2/Swat)	Facagro 512 (Ken Dia 3/Tatsumi Mochi) + Misbiha en 94
Facagro 70 (IR 24312-R-R-19-3-B/L 9) + Mishiha en 94	Facagro 521 (IR 9202-6-1-1/K 5) Mishiha en 94
Facagro 71 (IR 15579-24-2/K 288)	Facagro 533 a = japonica (Yunnan 3/IR 18476-55-2) + Muramba en 90
Facagro 76 (IR 3155-60-3-1-2-1/B 2978-B-Sr-2-6-2-2-2)	Facagro 533 b = indica (Yunnan 3/IR 18476-55-2) + Mishiha en 94
Facagro 77 (NR 10041-66-3-1/IR 15889-32-1) + Mishiha en 94	Facagro 546 (Yung keng 9/RP 1848-109-2-1-1) + Mishiha en 94
Facagro 99 (pedigree perdu) + Murainba en 93	Facagro 549 (Yung keng 9/Swat 1) + Muramba en 90
Facagro 105 (Swat 1/IR 13155-60-3-1-2-1) + Mishiha en 94	Facagro 910 (Yunnan 3/Rojomena) + Mishiha en 94
Facagro 246 (Barkat K 78-13/IR 15579-24-2) + Mishiha en 94	
Facagro 252 (Barkat K 78-13/RP 1848-109-2-1-1)	
Facagro 304 (IR18476-55-2/Shua Nan Tsan)	

[1] IR : IRRI, RP ou K : Indes, B : Indonésie, Swat : Pakistan, NR : Népal, Tatsumi Mochi : Japon, YR : Corée du Sud, Shua nan Tsan, K 5 : Corée du Nord, Yung keng, Ken Dia, Yunnan 3 : Chine, L 9 : Burundi. Barkat : Bengladesh, Ambalalava, Rojofosty, Rojomena : Madagascar, Kitundo 3 et 9 : hors type récolté en région de Kirundo dans les champs de Yunnan 3 en 1987.
[2] +... détruite par la pyriculariose à... en...

Références bibliographiques

DE BRABANDERE J., 1982. Synthèse des premiers essais de riziculture dans le plateau central du Burundi. Rapport annuel de l'ISABU, 2-14. Bujumbura, Burundi.

JOSHI M.M. *et al.*, 1975. Hydrogen sulfide : effects of the physiology on rice plant and relation to straighthead disease. Phytopath. 65: 1165-1170.

KHAN D.R., MACKILL D.J., VERGARA B.S., 1986. Selection for tolerance to low température induced spikelet sterility at anthesis in rice. Crop Sci. 26: 694-698.

MADEBARI J.D.H., 1995. Impact de la mouche du riz *(Diopsis spp.)* sur le rendement et ses composantes en riziculture de moyenne altitude. Mémoire FACAGRO, université du Burundi, 67 p.

NIZIGIYIMANA A., 1993. Détermination et caractérisation des phases de sensibilité aux basses températures chez le riz (*Oryza sativa* L.). Thèse de doctorat, université catholique de Louvain, Belgique, 124 p.

NTIBISHIMIRWA M., 1991. Epidémiologie de la pourriture brune de la gaine foliaire du riz causée par *Pseudomonas fuscovaginae* au Burundi. Thèse de doctorat, université catholique de Louvain, Belgique, 119 p.

TILQUIN J.-P., 1989. Screening for cold tolerance in Burundi. International Rice Research Newsletter 14 (1): 14-15, IRRI, Los Baños, Philippines.

TILQUIN J.-P., DETRY J.-F., BUSOCORO J.-P, EVRARD D., 1992. Rapport final du STD-2. Etudes des contraintes liées à la riziculture d'altitude, amélioration variétale. FACACRO, unité d'amélioration des plantes. Bujumbura, Burundi, 27 p.

TILQUIN J.-P., NJINGINYA P., 1988. Upland rice varieties released in Burundi. International Rice Research Newsletter 13 (3): 21. IRRI, Los Baños, Philippines.

TILQUIN J.-P., RAHIER D., NTAMATUNGIRO S., 1986. Amélioration variétale en riziculture des marais d'altitude. Rapport 1, 2 et 3, période du 25 mars 1985 au 25 mars 1986. FACAGRO, unité d'amélioration des plantes. Bujumbura, Burundi, 53 p.

TILQUIN J.-P., SIBOMANA C., EVRARD D., BUSOGORO J.-P., DETRY J.-F., 1994. Phénologie et rendement de deux variétés de riz dans deux écosystèmes contrastés au Burundi. Cahier Agricultures 3: 309-314.

Van LEUWEN N.H., 1984. Les marais du Burundi. Ministère de l'agriculture et de l'élevage. Département du génie rural. Projet PNUD/FAO. Bujumbura, Burundi, 21 p.

POISSON C., RAKOTOARISOA J., (édit.), 1997
Riziculture d'altitude
Actes du séminaire riziculture d'altitude,
29 mars-5 avril 1996, Antananarivo, Madagascar.
Colloques, CIRAD-CA, Montpellier, France, 272 p.

Initial evaluation of some of the Madagascar rice lines in Nepal

A. K. RAI
Project Coordinator, ECARDS Kathmandu, Nepal

Abstract — In 1992, 56 progenies of IRAT rice from Madagascar were tested in Kathmandu climate (1600 m). In 1993, they were tested again dropping 10 progenies and repeating 46 only; in addition, 14 IRAT lines, including some China lines and 12 local varieties, were tested at Dhapasi Kathmandu; 56 lines were tested at Jumla (2600 m). In 1994, also the evaluation work was continued; 14 promising IRAT progenies were tested for yield trial; other progenies were maintained as germplasm bank. Stand rating, plant height, days to maturity, effective tiller, grain production per panicle, panicle length, 1000 grain weight and yield were studied.
Keywords: rice, variety, yield component, Nepal, Madagascar.

Introduction

In Nepal, rice is grown under three distinctly differentiated ecological zones of Nepal, namely the plain area (Tarai and Inner Tarai) with the elevation ranging from 100-1100 metre the mid hills (1100-1600 metre) and the high hills (above 1600 metre). (Figure 1). Out of the total area of rice (1.54 m ha) 75% is in the plain area, 22% in the mid hills and 3% in the high hills. This paper is mainly concerned with the mid and high hills only.

The rice growing belt of Nepal is in subtropical and temperate region which lies in-between 80°-88° E longitude and runs parallel approximately to 27° N latitude. In the southern hemisphere, Madagascar lies in between 15 to 30° S latitude approximately creating somewhat similar climate for rice as that of Nepal. The main season for rice planting starts from April to June in Nepal where as in Madagascar it is from October to December. Because in this season appropriate temperature prevails in the region (Table I).

The average rice season temperature of Nepal varies from 16.5 °C at Jumla to 28.5 °C at Nepalganj. The mean air temperature recorded in Jumla is the world's coldest temperature for rice (HUKE and HUKE, 1990, have claimed that the temperature 17 °C of Otaru Japan is the coldest in the world). Jumla also stands as the world's highest location (2600 m) where rice is grown.

In the hills of Nepal the yield of rice is low. Under the varied agroclimatic condition, there are complex biotic and abiotic constraints that need to be addressed with appropriate technologies.

Among the abiotic constraints for hill rice, the cold air temperature and low nitrogen status of soil are the major ones. The effect of cold temperature or altitude on yield and maturity days of some rice cultivators at some higher locations is found to be highly significant. (Table II). A widely adapted local cultivator Chomro has produced 126% less yield at the mean temperature of 16.5 °C (Jumla) than that of 21.1 °C (Khumal). This result help hypothesize a loss of grain at the rate of 570 kg/ha with every 1 °C fall considering the other production factor as constant.

The low yield of rice is mainly due to the declining of soil fertility status. This is a serious problem specially for hill rice. The fertility case in an issue of long-term and complex problem that appears over the years. The continuous cultivation of rice in the same field, limited use of the improved resource management technologies are the contributing factors of declining soil fertility situation.

Among the biotic constraints rice diseases stand number one position. Blast *(Pyricularia oryzae)*, Brown Leaf Spot *(Helminthoporium oryzae)* and Bacterial Leaf Blight can be considered as the most serious diseases. In the recent year Sheath Brown Rot *(Pseudomonas fuscovaginae)* is also noticed as a serious disease in the cold rice.

Inadequate research on hill rice could not produce desired level of technologies yet. Till now research has identified some good varieties for some pocket or valley like Kathmandu, but in the larger area high yielding varieties are lacking. Suitable germplasm under varied geographical condition are yet to be developed, screened and make available to the farmers. Under the Collaborative Research Project EEC/STD3 we are expecting to obtain some good high yielding germplasms that may be suitable to the larger area of hill rice of Nepal.

Material and Method

In 1992, 56 progenies of IRAT rice from Madagascar were tested in Kathmandu climate at an

Table I. Monthly mean Temperature °C.

Month	Khumaltar 1500 m (Nepal)	Jumla 2290 m (Nepal)	Antsirabe 1500 m (Madagascar)
January	8.5	5.6	19.0
February	8.6	8.2	19.3
March	11.85	8.7	18.7
April	18.9	11.9	17.4
May	21.0	15.7	14.9
June	25.2	17.5	12.6
July	23.6	20.7	12.6
August	23.3	19.6	13.1
September	22.2	13.7	15.0
October	18.2	12.7	17.2
November	14.2	7.8	18.2
December	11.3	5.6	19.0

Table II. Effect of Cold Temperature on Rice Yield, 1989-1990 (Variety Chomrong).

Location	Grain Yield (kg/ha)	Days to maturity
Khumal (1500 m)	4756	114
Chomrung (2000 m)	2660	163
Jumla (2290 m)	2104	205

Source: Annual Report of NRIP (1989-1990).

Table III. Agronomic Characters of Madagascar Rice Lines (1995).

S/N	Rice Lines	Days to maturity	Effective tiller/hill	Grain/ Panicle	% of sterile grain	1000 grain Wt (g)
1	Taichung 176	130	6	51	11	30
2	C 29-F 48/2	87	7	44	18	34
3	C 58-F 10/9	90	6	51	11	46
4	C 29-F 93/2	92	7	60	5	35
5	C 29-F 213/5	99	8	50	16	32
6	C 30-F 250/4	81	6	59	12	36
7	C 29-F 387/3	86	7	50	8	35
8	C 29-F 182/3	86	8	60	12	36
9	C 29-F 176/9	11	5	70	7	40
10	IRAT 379	8	6	70	7	42
11	C 30-F 149/7	14	6	60	16	37
12	C 29-F 103/6	85	6	68	12	36
13	IRAT 380	85	7	69	7	43
14	C 29-F 19/5	88	5	74	6	38
15	C 29-F 376/10	88	9	55	20	34
16	Khumal 5	126	10	67	10	27

Table IV. Yield of Madagascar Rice Lines (1995).

S/N.	Rice Lines	No Fertilizer kg/ha	With fertilizer* kg/ha	% increase with fertilizer application
1	Taichung 176	1939	2470	27
2	C 29-F 48/2	3233	4568	41
3	C 58-F 10/9	3164	4183	32
4	C 29-F 93/2	2918	4860	66
5	C 29-F 213/5	2676	3571	33
6	C 30-F 250/4	2983	3559	22
7	C 29-F 387/3	2256	2900	28
8	C 29-F 182/3	3031	4629	53
9	C 29-F 176/9	2871	3333	16
10	IRAT 370	3263	4224	29
11	C 30-F 147/7	3233	4008	24
12	C 29-F 10/6	3495	4475	28
13	IRAT 370	4204	5098	21
14	C 29-F 19/5	4233	4574	8
15	C 29-F 376/10	2919	3375	15
16	Khumal 5	3798	4844	27
				Average = 29

* Fertilizer rate : 60-30-30 NPK/ha

elevation of 1600 m. These progenies were sown in January and harvested on September 25. But the check varieties (Khumal 4 and Taichung 176) were harvested on October 31 only. In the following year, these progenies were tested again dropping 10 progenies and repeating 46 only. In addition to these progenies, 14 IRAT lines, including some China lines and 12 local varieties, were tested at Dhapasi Kathmandu. Progenies were sown in 2 rows of 1 m length with 2 replications. Seeds were planted on June 4, 1994. Another set of progenies consisting 56 lines were tested at Jumla (2600 m). The material were planted in rows of one metre for 56 each progenies. Seeds were sown on March 22, 1994.

In the subsequent year (1994), also the evaluation work was continued. 14 promising IRAT progenies were tested for yield trial. Other progenies were maintained as germplasm bank. Initial Evaluation Trial was laid out in three replication including 16 progenies two are being local check (Khumal 5 and Taichung 176). The progenies were tested under no fertilizer (Fo) and with fertilizer (Fi) at the rate of 60-30-30 NPK kg/ha. Half of the N dose and full doses of P and K were applied as basal dose and remaining N dose was applied as top dressing. Individual net plot size was 3 x 1 sq. metre. The seeds of progenies were sown on June 21, 1995 and harvested from September 13 to October 8, 1995.

Result and Discussion

Stand rating

The progenies tested at Dhapasi (1994) showed normal stand by 90% of the total number. The Chinese lines and local varieties produced comparatively dense population with stronger stems. 4 progenies of Madagascar and one local variety (Jumli Marsi) could stand vegetatively but produced no grain (Table V).

All the progenies tested at Jumla (1994) could not tolerate cold temperature and hence there stand was very poor (Table VI). Out of 56 lines 48 lines could hardly germinate but 8 lines were disappeared.

Among the progenies of yield trial of Dhapasi (1995). 3 progenies C 30F 250/4, C 29-F 176/9 and C 29-F 19/5 stand was thin and for rest or others had normal stand.

Tableau V. Germplasm Testing, Dhapasi, 1994.

Progeny	Days to Maturity	Plant Height (cm)	No. of Grains per Panicle	Yield (kg/ha)
1. C 30-F 73/7	100	99	109	2222
2. C 30-F 93/7	97	106	86	2080
3. C 30-F 324/2	101	104	78	2927
4. C 30-F 285/7	102	96	77	3621
5. C 30-F 25/2	100	105	85	1387
6. C 30-F 250/4	103	86	61	3698
7. C 30-F 166/9	97	94	101	2773
8. C 30-F 417/4	x	x	x	177
9. C 30-F 469/9	99	91	66	2311
10. C 30-F 170/3	x	x	x	x
11. C 30-F 288/4	x	x	x	741
12. C 30-F 39/3	100	137	124	4414
13. C 30-F 80/6	97	108	64	2773
14. C 30-F 103/6	95	106	89	5624
15. C 29-F 48/2	99	103	66	5547
16. C 29-F 19/5	99	105	79	4853
17. C 29-F 387/3	100	117	86	7241
18. C 29-F 159/6	101	100	60	2773
19. C 29-F 176/9	102	112	87	4930
20. C 29-F 182/3	102	103	103	4314
21. C 29-F 207/5	111	118	94	2311
22. C 29-F 24/5	101	104	106	1703
23. C 29-F 376/10	100	106	91	3929
24. C 29-F 213/5	102	101	87	4160
25. C 29-F 189/3	x	x	x	x
26. C 29-F 156/3	111	133	116	2773
27. C 8-F 230/6	108	109	63	3236
28. C 8-F 129/3	101	101	108	3159
29. C 8-F 162/6	101	103	104	1387
30. C 8-F 169/6	108	111	104	x
31. C 8-F 321/2	107	98	101	847
32. C 8-F 133/4	105	92	82	3621
33. C 8-F 180/9	102	87	53	1695
34. C 8-F 215/4	102	105	x	2334
35. C 8-F 184/5	102	91	61	2619
36. C 8-F 190/5	108	98	116	2927
37. C 8-F 109/2	109	87	80	3159
38. C 8-F 262/10	106	103	109	3159
39. C 8-F 35/5	102	100	62	2003
40. C 8-F 10/9	101	98	70	4468
41. C 58-F 33/9	103	109	94	3004
42. C 51-F 217/2	102	97	93	3081
43. C 51-F 322/1	101	111	83	3156
44. C 51-F 338/ 2	102	102	76	1926
45. C 51-F 137/9	102	77	61	1695
46. C 51-F 363/8	100	104	78	1541
47. Bijiglut Rice	105	99	83	2311
48. IRAT 379	101	95	126	3467
49. IRAT 380	102	108	84	6163
50. Pongsweetglut	138	102	x	x
51. Manya Rice	142	120	195	2148
52. N 236 HAO TO	142	102	133	3467
53. N 542 HAO TO	139	105	172	2719
54. 88-206	145	78	146	2741
55. 88-439	139	88	182	1541
56. 89-547-4	145	90	195	1387
57. 90-152-6	141	105	119	462
58. 90-653-1	145	78	104	2222
59. 90-69	43	88	99	1185
60. Xing Ming	146	63	165	1233
61. Khumal 5	143	96	100	4963
62. Palung 2	100	116	109	4391
63. Jumli Marsi	x	x	x	x
64. Lari	110	116	253	7407
65. Damari	110	113	196	6370
66. Khumal 2	111	103	94	x
67. Khumal 4	112	118	131	6148
68. Khumal 5	110	116	115	6667
69. Khumal 7	116	119	131	7111
70. Khumal 9	113	105	98	4468
71. Taichung 176	116	115	153	5333
72. Chainung 242	115	107	115	7407

Plant height

Plant height of 72 tested progenies at Dhapasi (1994) varied from 73 cm (90-691-4) to 139 cm (Xing Ming). But the average height of other Madagascar progenies were around 100 cm. (Table V). At Jumla the plant height was varied from 13 cm of C 29-F 156/6 to 50 cm of C 8-F 363/8 (Table VI). The average height of other progenies were around 30-40 cm. In the field of yield trial of Dhapasi (1995), the plant height varied from 63 cm of C 29-F 376/10 and 85 cm of IRAT 380. The height of almost all the progenies with fertilizer application were increase and the average increment recorded as 11%.

Days to maturity

Among the Madagascar progenies tested at Dhapasi in yield trial C 30-F 25/4 was ripen in 81 days demonstrating as an earliest progenies (Table III). 90 days was enough for other progenies excluding checks for ripening. Where as in Jumla these progenies took almost seven months for full ripening. For days to flowering only these material took 174 to 195 days.

Effective tiller

Effective tiller of the tested progenies were observed as 5 to 10 in number (Table III). At Jumla the average number of tiller produced was only 2. (Table VI).

Grain production per panicle

In the yield trial, the grain per panicle was observed as from 44 to 74. The average filled grain and sterile grain per panicle recorded with the progenies tested in the yield trial were found as 60 and 11 respectively (Table III). At Jumla it was 36 filled grain/panicle.

1000 grain weight

Average 1000 grain weight of all the progenies tested in the yield trial was recorded 39 g. The local check comparatively produced less weighted grain (Table III). At Jumla the average of 1000 grain weight was only 21 g.

Table VI. Germplasm Testing, Jumla, 1994.

Progeny	Plant Height (cm)	Panicle Length (cm)	No. Of Effective Tillers	No. of Grains/ Panicle	1000 Grain (gm)
1. C 30-F 73/7	36	13	x	x	x
2. C 30-F 51/8	x	x	x	x	x
3. C 30-F 324/2	40	14	1	x	x
4. C 30-F 149/7	x	x	x	x	x
5. C 30-F 25/2	40	15	x	41	20
6. C 30-F 285/7	30	19	2	x	2
7. C 30-F 25/2	35	17	2	x	x
8. C 30-F 250/4	36	21	3	x	x
9. C 30-F 166/9	45	13	2	x	x
10. C 30-F 417/4	48	11	x	x	x
11. C 30-F 469/9	45	18	1	x	x
12. C 30-F 170/3	x	x	x	x	x
13. C 30-F 288/4	44	13	x	x	x
14. C 30-F 39/3	28	17	-1	x	x
15. C 30-F 80/6	38	13	1	x	x
16. C 29-F 103/6	35	11	3	x	x
17. C 29-F 48/2	21	9	1	x	x
18. C 29-F 316/8	27	9	2	x	x
19. C 29-F 19/5	15	3	1	x	x
20. C 29-F 387/3	35	10	2	x	x
21. C 29-F 159/6	25	10	1	x	x
22. C 29-F 176/9	38	14	2	x	x
23. C 29-F 182/3	27	12	2	x	x
24. C 29-F 207/5	x	x	x	x	x
25. C 29-F 24/5	40	19	x	43	24
26. C 29-F 376/10	38	15	x	22	20
27. C 29-F 93/2	20	10	x	x	x
28. C 29-F 213/5	28	7	x	x	x
29. C 29-F 189/3	38	14	x	x	x
30. C 29-F 280/3	25	13	x	x	x
31. C 29-F 68/8	25	18	x	x	x
32. C 29-F 156/3	40	13	x	x	x
33. C 8-F 230/6	30	x	2	x	x
34. C 8-F 129/3	15	x	x	x	x
35. C 8-F 253/3	x	x	x	x	x
36. C 8-F 162/6	50	18	3	x	x
37. C 8-F 169/6	x	x	x	x	x
38. C 8-F 321/2	38	15	1	x	x
39. C 8-F 133/4	18	8	x	x	x
40. C 8-F 180/9	36	11	2	x	x
41. C 8-F 414/5	37	14	3	x	x
42. C 8-F 215/4	35	6	2	x	x
43. C 8-F 184/5	35	6	2	x	x
44. C 8-F 190/5	37	12	2	21	18
45. C 8-F 317/6	21	16	2	x	x
46. C 8-F 109/2	40	12	3	x	x
47. C 8-F 262/10	49	17	4	53	22
48. C 51-F 264/5	30	15	3	28	20
49. C 58-F 35/5	45	x	3	x	x
50. C 58-F 10/9	x	10	x	x	x
51. C 58-F 33/9	42	14	3	19	22
52. C 51-F 217/2	47	15	3	44	22
53. C 51-F 322/1	46	15	3	33	24
54. C 51-F 338/3	x	x	2	x	x
55. C 51-F 137/9	32	14	2	47	20
56. C 8-F 363/8	50	15	3	46	20
57. Local, Jumli Marsi	55	19	3	48	22

POISSON C., RAKOTOARISOA J., (édit.), 1997
Riziculture d'altitude
Actes du séminaire riziculture d'altitude,
29 mars-5 avril 1996, Antananarivo, Madagascar.
Colloques, CIRAD-CA, Montpellier, France, 272 p.

Introduction and utilization of IRAT/CIRAD upland rice cultivars

TAO DAYUN, HU FENGYI, YANG GUIFEN, YANG JIANGYI
Food Crops Research Institute, Yunnan Academy of Agricultural Sciences, Kunming 650205,
The People's Republic of China

Abstract — Based upon the situation of most planting area of planting rice in Yunnan, China located in the South and Southwest Yunnan which belong to frontier region, mountainous area, minority nationality region, poor and low yield area between 21 °N and 24 °N as well as between 800-1 600 m above sea level, more than 90% belonged to *japonica*, breeding objective should be *japonica* rice of high-yield, resistance to blast, tolerance for drought and low soil fertility, adaptation to the situation of South Yunnan condition. According to the policy of simultaneous introduction and breeding, 69 accessions of IRAT upland rice were introduced and evaluated from 1988 to 1995. After several years experimental evaluation and field demonstration, Certification and Evaluation as well as Acceptance were approved in Yunnan Province in 1994. In 1995, IRAT 104 was released by Agricultural Department of Yunnan Province formally and became the first improved variety released formally by authorities in Yunnan. Besides direct utilization, some progress was achieved using IRAT upland rice cultivars as dwarf, blast resistance and wide compatibility resources to improve Yunnan local upland rice. Out of 45 promising breeding lines of upland rice, forty have IRAT 104 or IRAT 216 as one parent. And among 934 advanced elite lines bred in 1994, 649 lines have IRAT 104, IRAT 170, IRAT 177 or IRAT 216 as one parent.
Keywords: introduction, utilization, upland rice, IRAT, Yunnan.

Upland rice planting area in Yunnan is about one-third of total upland rice planting area in China, which is the biggest one in China. Both writing record and archaeological studies indicated that as early as 4000 years ago, here existed upland rice cultivation; however, there was only about 2000 years for irrigated field to be appeared in Yunnan. So, upland rice was the initial planting way of rice cultivation in Yunnan. Yunnan was supposed as one of the origin places of *Oriza sativa*. Upland rice of Yunnan, as preliminary type of Asia cultivated rice, made contribution to both China and World. There were more than 1000 accessions of genetic germplasm resources of upland rice in Yunnan province, which have different ecotype. Yunnan could be called kingdom of upland rice resource. Perpendicular distribution of upland rice rarely exceeds 1000 m in Southeast Asia and 1200 m
in Latin America and Africa. But from 73.2 m to 2200 m in Yunnan above sea level, there existed upland rice. High altitude and greater difference of elevation distribution is also the characteristics of Yunnan Upland rice.

But, it should be recognized that upland rice, accounted for 13% of Yunnan rice planting area, had yield per hectare below one-third of irrigated rice. There existed obvious indication of primitive agriculture: natural slopping field, natural precipitation, natural fertility of soil, simple tools and primitive land varieties. Slash-and-burn cultivation was basically controlled, but shallow cultivation was the typical characteristics. For the past few decades, some works on evaluation and utilization of land races, using irrigated *Indica* hybrid rice as upland planting, reforming cropping system, application of chemical fertilizer and herbicides have been done. But as a whole, the predominant cultivars are local land races, low yield potential, lodging under intensification cultivation, susceptible to blast, narrow adaptation are main weak points. In order to increase yield/ha and alleviate the poor and hungry situation, it is quite necessary to improve varieties of upland rice.

Based upon the situation of most planting area located in the South and Southwest Yunnan which belong to frontier region, mountainous area,

minority nationality region, poor and low yield area between 21° N and 24° N as well as between 800-1600 m above sea level, more than 90% belonged to *japonica*, breeding objective should be *japonica* rice of high-yield, resistance to blast, tolerance for drought and low soil fertility, adaptation to the situation of South Yunnan condition. Because of low and late starting point, weak foundation, it is very difficulty to breed elite varieties for production by itself within a short time. However, IRRI, CIRAD-CA, CIAT, IITA have bred some improved upland rice cultivars. The policy of simultaneous introduction and breeding should be kept. The purpose of the paper is to report the situation of introduction and utilization of IRAT upland rice cultivars in Yunnan.

Situation of introduction and utilization

As early as in 1981 and 1982, Research Institute for Crops genetic Germplasm Resources/China Academy of Agricultural Sciences introduced 63-83, 63-104, IRAT 11, IRAT 13, IRAT 78, IRAT 104, IRAT 106, IRAT 111 and IRAT 138 to China via IRRI. Then, in 1983, blast resistance evaluation was carried out simultaneously in Gunagdong, Guangxi, Yunnan, Sichuan, Hunan, Zhejiang, Beijing, Dandong, Jilin; only IRAT104 resisted to blast in all sites. The results of IRBN-1981 and IRBN-1982 also indicated that IRAT 104 had the ability of blast resistance in a wide condition but the utilization in China was not paid enough attention until recent years.

In 1988, IRAT supplied IRAT 104, IRAT 110, IRAT 133, IRAT 134, IRAT 136, IRAT 140, IRAT 144, IRAT 169, IRAT 170, IRAT 177, IRAT 194, IRAT 216 for classification study to Food Crops Research Institute/YAAS. Upland rice program planted these cultivars under irrigated field in 1989 and under upland field in 1990. Because of intermediate stature, resistance to blast, high-yield potential of IRAT 104, IRAT 170, IRAT 177, IRAT 216, seed reproduction was carried out during the winter of 1990 in Hainan island. IRAT 104 ranked the first in 1991 Simao advanced yield trials with 2791 kg/ha, increasing 40% over local check Gengsan (Table I). In 1992, it was at the top of yield trials too in Simao, Jiangcheng, Menla, Jinghong, Menhai, Menlian, Gengma and Langchan with yield of 2631 kg/ha, increasing 21.5% over Mengwanbaigu. The average yield of 1993-1994 Yunnan Provincial Regional Trials for Upland Rice was 2263 kg/ha, ranked the first also, increasing 11.3%, over the check cultivars Mengwanbaigu. Meanwhile, IRAT 104 had

Table I. Results of advanced yield trials (SIMAO, 1991).

Accessions	Yield (kg/ha)	Days to heading	Vg	PB	LSc	Lg	Ht (cm)
IRAT 104	2791	116	5	1	5	0	91.1
IRAT 170	921	114	7	3	0	0	70.1
IRAT 177	1395	106	7	3	0	0	82.6
IRAT 216	1773	110	5	3	1	0	71.4
Gensan (ck)	1990	116	3	3	1	3	146.0

Table II. Results of multilocational variety trials (1992, six sites).

Cultivars	Yield (kg/ha)	Interaction variance	Variation coefficient of interaction (%)	Adapted to
IRAT 104	2610	0.22	13.5	Jinghong, Mengla, Menglian
IRAT 170	1567	0.35	28.3	Jiangcheng, Simao
IRAT 177	2182	0.21	15.7	Simao, Jiangcheng, Menglian
IRAT 216	2070	0.11	12.1	Jianghong, Mengla, Lancan
Mengwan Baigu(ck)	2100	0.32	20.3	Menglian

Table III. Performing entries in the 1993-1994 Yunnan. Province Regional trials for Upland Rice.

Designation	Mean yield (kg/ha)	Yield rank	Increase (%)
IRAT 104	2.263	1	11.3
Dibeiguxuan-2	2.220	2	9.1
Beidaozixuan	2.178	3	7.1
88439	2.080	4	2.3
IRAT 216	2.070	5	1.8
Mengwangbaigu (ck)	2.034	6	-
IRAT 177	1.987	7	-2.3

Table IV. Grain quality of entries.

Designation	Brown rice recovery (%)	Milled rice (%)	Amy (%)	Gel consistency	Gelatinization temperature	CIK(%)	Rough protein content (%)
DBGX-2	78.0	59.2	17.1	97.6	7.0	< 10	9.27
MWBG	71.7	52.0	16.8	53.0	6.5	< 10	10.6
BDZX	75.5	57.9	15.2	70.8	7.0	0	10.3
IRAT 104	79.6	58.4	17.8	69.3	4.0	10	9.4
IRAT 177	76.5	58.5	16.4	68.5	4.0	0	8.97
IRAT 216	67.6	49.7	17.8	75.0	5.0	0	11.4

Table V. Blast resistance of entries (Kunming Blast Nursery).

Designation	1993			1994		
	SB	BL	PB	SB	LB	PB
Dibeiguxuan-2	6	5	1			
Mengwanbaigu	6	5	0	6	4	0
Beidaozixuàn	6	5	1			
IRAT 104	6	6	0	6	5	1
IRAT 177	4	3	1	6	6	1
IRAT 216	3	3	0	6	6	1
88439				6	5	0

Table VI. IRAT upland rice cultivars introduced each year.

Year	Cultivars introduced
1988	IRAT 104, IRAT 110, IRAT 133, IRAT 134, IRAT 136, IRAT 140, IRAT 144, IRAT 169, IRAT 170, IRAT 177, IRAT 194, IRAT 216
1991	IRAT 8, IRAT 9, IRAT 10, IRAT 13, IRAT 104, IRAT 105, IRAT 106, IRAT 107, IRAT 108, IRAT 109, IRAT 110, IRAT 111, IRAT 114, IRAT 115, IRAT 117, IRAT 118, IRAT 119
1992	IRAT 2, IRAT 238, IRAT 307, IRAT 311, IRAT 314, IRAT 316, IRAT 318, IRAT 320
1994	IRAT 95, IRAT 115, IRAT 131, IRAT 212, IRAT 336, IRAT 341, IRAT 654, IRAT 657, IRAT 669, IRAT 752, IRAT 1285, IRAT 3281, IRAT 3284, IRAT 3288, IRAT 4217, IRAT 4608
1995	IRAT 13, IRAT 112, IRAT 191, IRAT 156, IRAT 170, IRAT 208, IRAT 213, IRAT 216 IRAT 239, IRAT 340, IRAT 252, IRAT 253, IRAT 262, IRAT 284, IRAT 306, IRAT 339

accepted quality character and strong panicle blast resistance.

As to demonstration test, 0.08 ha field in Jinghong had 3125 kg/ha and 0.01 ha field in Simao was 3600 kg/ha in 1992. In 1993, the yield of 2.5 ha demonstration plot in Jingcheng, Gengma, Jinghong, Simao was 2530 kg/ha, among whish the highest yield was 4383 kg/ha. In 1994, total 13.33 ha demonstration area in Yunnan had the average yield of 2887 kg/ha, in which the highest yield was 5272 kg/ha in Menglian, increasing 18.23% over the land race Xiaobeigu. In 1995, there was 100 ha planting area in Yunnan Province, among which 63 ha in Menglian had the yield of 2520 kg/ha.

At the same time, IRAT 104 was introduced to Guizhou, Sichuan, Anhui, Jiangxi, Fujian, Henan, Ningxia, Hubei, Shanghai, Guangdong and Guangxi province to plant and utilize indirectly. IRAT 104 have become the promising varieties especially in Anhui Province.

At last, in 1994 Certification and Evaluation as well as Acceptance were approved in Yunnan Province. In 1995, IRAT 104 was released by Agricultural Department of Yunnan Province formally and became the first improved variety released formally by authorities in Yunnan.

IRAT 104, besides the advantage mentioned above, as tropical *japonica* had better wide compatibility with *indica* rice (in 1990, the average spikelet fertility with three indica rices was 63.35%) and excellent combing ability with Yunnan *japonica* rice. IRAT 104 was a promising resource in breeding for super-high yield and blast resistance.

Since 1991, introduction of IRAT upland rice has become the integrated part of breeding activity in Yunnan Province. And other cultivars were introduced also. Some elite lines such as IRAT 95, IRAT 131, IRAT 654, IRAT 657, IRAT 669, IRAT 752, IRAT 1285, IRAT 3281, IRAT 3284, IRAT 3288, IRAT 4217, IRAT 4608 introduced in 1994 was on the further evaluation.

Besides direct utilization, some progress was achieved using IRAT upland rice cultivars as dwarf and blast resistance resources improving Yunnan land upland rice. Among our 45 promising breeding lines of upland rice, 40 have IRAT 104 or IRAT 216 as one parent. And among 934 advanced elite lines bred in 1994, 649 lines have IRAT 104, IRAT 170, IRAT 177, IRAT 216 as one parent.

Discussion

Because of great difference between Yunnan and Bouake, usually it is not easy to introduce successfully from Ivory Coast. But IRAT 104 was a successful example and IRAT 359 was promising also. It is natural and necessary to study the introduction law between Bouake and Yunnan.

IRAT upland rices belonged to tropical *japonica* ecotype, but Yunnan upland rices belonged to subtropical or temperate ecotype, to compare the advantage and disadvantage simultaneously in Yunnan and Ivory Coast then to combine the two distinguished types and to breed new improved varieties are promising.

References

TAO DAYUN, HU FENGYI, NENG ZHOU, HE YOUNG, 1993. Introduction of upland rice from abroad. Journal of Shaanxi Normal University, Nature Science Edition 21: 32-38.

TAO DAYUN, 1995. Upland rice breeding. Yunnan Science and Technology Press. Kunning, Yunnan, China. Yunnan Rice, p. 221-230.

TAO DAYUN, HU FENGYI, YANG GUIFEN, YANG JIANGYI, 1996. Upland rice research in Yunnan, presented at the Upland Rice Research Consortium/Upland Rice Breeders Meeting held at Padang, Indonesia, 4-13 January, 1996.

XU PEILUN, 1993. Environmental characters of dryland rice in Yunnan. Journal of Shaanxi Normal University, Nature Science Edition 21: 8-12.

ZHOU JIWEI, 1995. The history and present situation of upland rice in Yunnan. Yunnan agricultural sciences and technology (5): 22-26.

POISSON C., RAKOTOARISOA I., (édit.), 1997
Riziculture d'altitude
Actes du séminaire riziculture d'altitude
29 mars-5 avril 1996, Antananarivo, Madagascar
Colloques, CIRAD-CA, Montpellier, France, 272 p.

Le riz pluvial en région d'altitude. Une nouvelle option pour la zone caféière colombienne

A. MORENO BERROCAL[1], M. CHATEL[2], E. P. GUIMARAES[3], J. BORRERO[3]
1. CENICAFE, Pedro Uribe Mejía, Chinchiná, Caldas, Colombie
2. CIRAD-CA, CIAT, apartado aéreo 6713, Cali, Colombie
3. CIAT, apartado aéreo 6713, Cali, Colombie

Résumé — La Colombie est le premier exportateur et le deuxième producteur mondial de café. La zone caféière se situe en altitude entre 1 000 et 2 000 m. Les revenus des agriculteurs qui dépendent de cette monoculture fluctuent en fonction des prix à l'exportation et des accords internationaux sur les quotas. La région caféière est déficitaire pour la production de denrées alimentaires de base comme le haricot, le maïs et le riz. La diversification de l'agriculture doit permettre de réduire ce déficit et d'augmenter le revenu et le bien être des producteurs de café. La première introduction de riz pluvial dans cette région d'altitude a eu lieu en 1993 sous l'impulsion du CIRAD-CA et du CIAT, en collaboration avec le CENICAFE. La matériel végétal utilisé provient du programme riz pluvial CIRAD/CIAT et du programme riz d'altitude du CIRAD-CA à Madagascar. Les premiers essais se sont montrés très prometteurs. Les lignées pluviales de savane sont adaptées à la zone de moyenne altitude (1 000-1 300 m). Seules, les lignées introduites de Madagascar se comportent bien à des altitudes plus élevées (1 300-1 600 m). La stérilité des épillets qui traduit l'adaptation aux contraintes agroclimatiques d'altitude est modérée et le potentiel de rendement prometteur. Le riz pluvial constitue une nouvelle option pour la diversification de l'agriculture et la production d'aliment de base de la région caféière colombienne.
Mots-clés : riz pluvial, altitude, région caféière, Colombie.

La production caféière colombienne

La Colombie est le deuxième producteur mondial de café. La production totale est de 13,5 millions de sacs de 60 kg sur une superficie de 1 million d'hectares. La région de production est la région de la Cordillère andine située entre 1 et 10 degrés de latitude Nord, son altitude est comprise entre 1 000 et 2 000 m. La Colombie est le premier exportateur mondial de café arabica avec 12 millions de sacs. La consommation interne est de 1,5 million de sacs.

Problèmes de la production de café

Aspects économiques

Les prix à l'exportation sont fonction du marché mondial et varient entre 1 et 1,7 dollar la livre. Dans ces conditions, les rentrées de devises pour la Colombie sont fluctuantes ainsi que les revenus des agriculteurs qui dépendent de cette monoculture. Les coûts de production sont élevés. La main d'œuvre représente 60 % du coût de production (la récolte est manuelle et étalée dans le temps pour obtenir un produit de très haute qualité, la récolte des baies matures).

La production est fluctuante en fonction des accords internationaux. Pendant la période des quotats, la Colombie produit en moyenne 11,13 millions de sacs. En 1992, après la disparition des quotats, la production atteint 18 millions de sacs et le prix international chute.

Aspects agronomiques

La monoculture favorise l'érosion et une utilisation de la terre inadéquate. De plus, des attaques de la rouille du café ont fortement réduit la production.

Une nouvelle variété résistante, appelée Colombia, est diffusée aux agriculteurs pour replanter.

A partir de 1990, un nouveau problème affecte la caféiculture colombienne. Il s'agit de l'apparition d'un forreur du grain : *la broca del café, Hypothenemus hampei* F.

Production d'aliments de base

La région caféière colombienne est autosuffisante et exportatrice interne pour la production de banane plantain. La zone caféière produit 2 millions de tonnes, ce qui représente 40 % de la production colombienne. La région caféière est déficitaire pour les autres aliments de base comme le haricot, le riz, le maïs et les légumes, ainsi que pour la viande et le lait. La diversification de la production agricole doit permettre de réduire le déficit en aliments de base, et d'augmenter le revenu et le bien être des producteurs de café. De plus, la diversification agricole permet une meilleure utilisation de la terre.

Le riz pluvial dans la zone caféière

La première introduction du riz pluvial dans la région caféière date de 1993. Les principaux objectifs ont été de connaître l'adaptation du riz dans la région, et la réaction des producteurs face à cette nouvelle culture. Les systèmes de culture dans lesquels peut prendre place le riz pluvial sont la monoculture de cette céréale — là ou cela est possible — et la culture associée au café pour les nouvelles plantations ou après le recépage des plantations agées.

Matériel et méthodes

Phase 1 (1993-1994)

La première introduction de matériel végétal a été faite sur la base de 14 lignées du programme riz pluvial de savanes du CIRAD/CIAT dont les caractéristiques étaient : la précocité, le type de plante, le format du grain et le potentiel de rendement. Les sites expérimentaux ont été choisis par le CENICAFE (Centre national de recherche caféière). Les trois sites ont été Paraguaicito (département de Quindio), la Catalina (département de Risaralda) et Naranjal (département de Caldas). La caractérisation des sites experimentaux est présentée dans le tableau I.

Matériel et méthodes

Phase 2 (1994-1995)

Cette deuxième phase concerne l'évaluation de lignée, la sélection et la réalisation d'essais variétaux sur deux sites, avec deux modes de semis et trois densités, et deux niveaux d'azote.

Phase 3 (1995-1996)

Elle concerne de nouvelles introductions de lignées provenant du programme riz pluvial du CIAT (60 lignées), de Chine, par l'intermédiaire du CIRAD-CA (12 lignées) et enfin du CIRAD-CA/FOFIFA-Programme d'altitude de Madagascar (51 lignées). Une nouvelle collaboration institutionnelle débute avec le CIAO (Centro Internacional de Agricultura Orgánica).

Résultats

Phase 1

Six des 14 lignées (43 %) du programme riz pluvial de savanes du CIAT ont été sélectionnées. Elles présentent une bonne adaptation générale, une bonne fertilité des épillets, un cycle total de 150 jours et un bon potentiel de rendement. Les résultats sont montrés dans le tableau II.

Tableau I. Caractérisation des sites expérimentaux.

	Paraguaicito (Quindio)	La Catalina (Risaralda)	Naranjal (Caldas)
Latitude (N)	4° 24′	4° 45′	4° 58′
Longitude (W)	75° 43′	75° 45′	75° 36′
Altitude (masl)	1 250	1 350	1 370
Température :			
– moyenne	21° 3	21° 4	20° 6
– maxima	28°	28° 4	26° 8
– minima	16° 6	17°	16° 2
Précipitation (mm)	1 827	2 415	2 370
Radiation solaire	401	320	390

Constitution génétique de la lignée :

CT10069-27-3-1-4

IRAT 216 (43,75 %), IRAT 104 (12,50 %), NGOVIE (18,75 %)

IAC 165 (12,50 %), CAMPONI (6,25 %), TAIPEI 309 (6,25 %).

Résultats

Phase 2

Evaluation de la lignée CT10069-27-3-1-4 à Naranjal, les rendements variant de 3 à 5,7 t/ha. Selon les modes de semis, le meilleur résultat est obtenu avec un semis en ligne. Pour la densité de semis, le meilleur résultat est obtenu avec l'utilisation de 80 kg de semence. La meilleure dose d'azote est l'application de 60 unités par hectare. Le taux le plus faible de stérilité est obtenu avec un semis en ligne et l'application de 60 unités de N. Les résultats sont présentés dans le tableau III.

Essai variétal des 6 lignées sélectionnées en 1993 à Naranjal.

La meilleure lignée est CT10069-27-3-1-4, meilleur rendement et fertilité des épillets. Les résultats sont présentés dans le tableau IV.

A l'occasion de la visite des essais par les producteurs de café, ceux-ci ont montré un grand intérêt pour l'introduction du riz pluvial comme nouvelle culture pour la région.

Tableau IV. Essai variétal à Naranjal en 1994-1995.

Lignée	Rendement	
Stérilité	(kg/ha)	(%)
CT10037-9-4-M-4-8P-1-M	3 625 bc	18,0 b
CT6196-33-11-1-3-M	3 292 c	19,0 b
CT9997-5-3-M-4-M	3 194 c	42,0 a
CT10069-27-3-1-4	4 306 ab	12,5 b
CT10037-9-7-M-1-M	4 660 a	17,0 b
CT10037-30-3-M-1-2P-2-M	3 146 c	17,5 b

Tableau II. Données moyennes des 6 lignées sélectionnées dans l'essai d'observation à Naranjal, Paraguaicito et La Catalina en 1993-1994.

Lignée	Panicules (nb/m²)	Tallage (nb/m²)	Stérilité (%)	Rendement (kg/ha)
CT10037-9-4-M-4-8P-1-M	113	141	33	4 350
CT6196-33-11-1-3-M	120	143	28	3 950
CT9997-5-3-M-4-M	120	135	39	3 833
CT10069-27-3-1-4	132	160	12	5 167*
CT10037-9-7-M-1-M	120	155	34	5 592
CT10037-30-3-M-1-2P-2-M	116	124	18	3 775

* Lignée sélectionnée pour essai agronomique futur

Tableau III. Comportement de la lignée CT10069-27-3-1-4 dans l'essai d'évaluation à Naranjal en 1994-1995.

	Semis en ligne				Semis en poquet			
	ON	stérilité %	60 N	stérilité %	ON	stérilité %	60 N	stérilité %
Densité de semis (kg/ha)								
60	4 167	8,7	5 688	12,9	3 750	15,2	4 875	23,9
80	5 292	10,4	5 563	9,9	2 958	26,8	4 063	29,9
100	4 250	17,9	4 479	6,0	3 000	17,3	3 042	17,6
Moyenne	4 569	12,4	5 243	9,7	3 236	19,7	3 993	23,8

Résultats

Phase 3

L'observation et la sélection de nouvelles lignées ont montré les éléments suivants :

– les lignées du programme riz pluvial de savane du CIAT sont précoces et ont une bonne qualité de grain ;

– les lignées de Chine sont tardives, très hautes et présentent un grain rond et cireux ;

– les lignées CIRAD-CA/FOFIFA de Madagascar sont précoces à très précoces, présentent un bon type de plante et une excellente vigueur végétative.

Ces mêmes lignées ont été évaluées par le CIAO. Le résultat de leur comportement pour la précocité est le suivant :

Floraison à 120 JAS :

– 82 % des lignées CIRAD-CA/FOFIFA de Madagascar ;

– 70 % des lignées CIAT ;

– 12 % des lignées de Chine.

Conclusion

Le riz pluvial est une céréale très prometteuse pour la diversification de l'agriculture en région caféière colombienne. Les premiers résultats sont très encourageants aussi bien en ce qui concerne son comportement que pour ce qui est de l'acceptation par les différents producteurs contactés. Le matériel végétal de base peut provenir de différentes sources : des programmes riz pluvial de diverses institutions (CIAT, CIRAD, CNPAF et SNRA) et des programmes spécifiques d'altitude (CIRAD-FOFIFA et SNRA).

Les premiers résultats de sélection de lignées et des essais de comportement montrent une adaptation relativement bonne du matériel chinois (matériel plus tardif, grain rond), une bonne adaptation du matériel précoce du programme riz pluvial du CIAT (rendements de plus de 3 t/ha en 150 jours) et une excellente adaptation des lignées créées à Madagascar par le CIRAD-CA et le FOFIFA.

Futures activités

Activités en cours à poursuivre :

– nouvelles introductions ;

– essais régionaux ;

– effet de l'association sur la production de café ;

– diffusion de cultivars adaptés ;

– monter en altitude supérieure à 1 400 m.

Nouvelles activités :

– production de lignées fixées dans un programme d'amélioration variétale conventionnel ;

– sélection récurrente : évaluation du potentiel des pools génétiques et populations disponibles ;

– population précoce de riz pluvial (PCT-4) ;

– population (s) d'altitude créées par le CIRAD et le FOFIFA à Madagascar ;

– création de populations spécifiques.

Autres activités de recherche principalement en agronomie et en physiologie végétale. Les premiers résultats obtenus et leur confirmation en Colombie peuvent permettre d'envisager certains transferts à d'autres régions d'altitude en Colombie et, sur le plan régional, en Amérique latine.

POISSON C., RAKOTOARISOA J., (édit.), 1997.
Riziculture d'altitude
Actes du séminaire riziculture d'altitude,
29 mars-5 avril 1996, Antananarivo, Madagascar.
Colloques, CIRAD-CA, Montpellier, France, 272 p.

Résultats de l'amélioration variétale du riz d'altitude malgache

R. DECHANET[1], J. RAZAFINDRAKOTO[2], M. VALES[1]
1. Programme riz d'altitude, FOFIFA-CIRAD, CIRAD-CA, BP 853, Antananarivo, Madagascar
2. FOFIFA-DRR, BP 1690, Antananarivo, Madagascar

Résumé — Le programme riz d'altitude du FOFIFA-CIRAD a été commencé en 1983 pour répondre au besoin de développement de la riziculture d'altitude, notamment de la riziculture pluviale. Les objectifs de l'amélioration variétale, les méthodes de sélection et les résultats sont exposés. Les variétés pluviales proposées par ce programme sont les premières au monde à être réellement adaptées à l'altitude supérieure à 1 500 m. Elles offrent un potentiel de production allant jusqu'à 6 t/ha. Des variétés traditionnelles irriguées malgaches sont très bien adaptées à l'altitude jusqu'à près de 2 000 m. Cependant ce programme a pu créer deux variétés nettement plus productives.
Mots-clés : riz d'altitude, *Oryza sativa*, sélection, Madagascar, *Pseudomonas fuscovaginae*, *Sarocladium oryzae*, froid, précocité.

Introduction

L'aliment de base de la majorité des Malgaches est le riz. La surface cultivée en riz est estimée à 1 300 000 ha, ce qui représente un tiers des terres cultivées. La région des hauts plateaux, comprise entre 1 000 et 2 000 m, est la zone la plus dense en population de Madagascar. C'est également une zone rizicole importante puisque cette culture couvre environ 600 000 ha. Il y a une seule culture de riz par an. Il existe deux saisons de culture. Le riz de saison des pluies, le plus important, de septembre-octobre à avril-mai ; le riz de première saison, cultivé d'avril-mai à janvier-février. Le choix de la saison de culture dépend du type de riziculture, des possibilités d'irrigation, du régime des précipitations et de l'altitude. La pression démographique sur les hauts plateaux provoque une saturation foncière. Tous les bas-fonds sont déjà valorisés, aussi les paysans tentent d'exploiter les *tanety* (collines) au sol pauvre. Face à ces besoins, un programme du FOFIFA-CIRAD a été créé pour tenter de développer la riziculture irriguée, et surtout pluviale, d'altitude. Il est réalisé en collaboration avec de nombreux organismes de recherche ou de développement et il est appuyé en particulier par la CEE.

Objectifs de sélection

Les facteurs positifs du développement de la riziculture sur les hauts plateaux sont les suivants. Les paysans sont des riziculteurs de tradition très compétents et réceptifs aux innovations. L'ensoleillement est satisfaisant comparativement à celui de la zone côtière. Enfin les 1 000 à 1 500 mm de pluie se répartissent à plus de 90 % pendant la saison chaude.

Pour la riziculture irriguée

En riziculture irriguée, la contrainte majeure est le froid lié à l'altitude. Il est préjudiciable tout le long du cycle — mais surtout en son début et lors de la phase reproductive —, et il provoque une stérilité des épillets. Les fréquents orages de grêle de fin de cycle provoquent également un égrenage important qui réduit les récoltes. La contrainte biotique la plus importante est la pourriture des gaines due à

Pseudomonas fuscovaginae. Cette maladie provoque également des taches sur grains. Au cours des générations, les paysans ont su choisir et maintenir des variétés populations locales irriguées au potentiel de production souvent élevé, les Latsika. Cependant, le taux de stérilité, ainsi que la sensibilité à la pourriture des gaines restent malgré tout relativement importants.

Aussi les critères de sélection retenus sont-ils les suivants :

– la précocité pour esquiver le froid accru en fin de cycle et pour faciliter les cultures de contre-saison, blé ou pomme de terre ;

– la résistance au froid marquée par un bon comportement de la plante et une bonne fertilité des épillets ;

– la tolérance à *Pseudomonas fuscovaginae ;*

– une production élevée et régulière ;

– une bonne tolérance aux orages de grêle par une résistance à la verse et à l'égrenage ;

– une dormance assez marquée.

En effet, pour réduire les risques d'égrenage dûs à la grêle, les paysans coupent le riz alors que les rizières ne sont pas encore complètement drainées, déposent les javelles sur place et les panicules se retrouvent dans l'eau pendant 5 à 10 j (RAVATOMANGA *et al.*, 1990).

Pour la riziculture pluviale

En riziculture pluviale, les contraintes climatiques sont les mêmes qu'en conditions irriguées. Mais, certaines années, l'irrégularité des précipitations peut provoquer des déficits hydriques préjudiciables. Les sols de *tanety* sont en général pauvres. La pourriture des gaines en pluvial est due à *Sarocladium oryzae*. La pyriculariose est également un problème qui devient de plus en plus important. Contrairement à la riziculture irriguée, les paysans malgaches n'ont pas sélectionné, au cours des générations, des riz adaptés à la culture pluviale de haute altitude. Cela témoigne d'un besoin plus récent né d'une augmentation de la pression démographe, et donc foncière, sur les hautes terres. Quelques paysans cultivaient des variétés provenant du Moyen Ouest malgache (800 à 1 000 m), notamment Botramaintso, une autre variété pluviale de plus basse altitude et d'origine brésilienne, IAC 25-64, et une variété japonaise Kagoshima Hakamuri. Mais à cause d'une forte stérilité des épillets, les paysans ont progressivement réduit les surfaces en attendant de disposer de variétés mieux adaptées. Les critères de sélection sont donc sensiblement les mêmes qu'en conditions irriguées, la dormance en moins, la tolérance à la sécheresse et à la pyriculariose en plus.

Matériels, méthodes et résultats

Prospections et introductions

Plusieurs prospections ont été réalisées dans les zones d'altitude de Madagascar, notamment par le FOFIFA, l'IBPGR, ainsi que par des missionnaires du CIRAD et de l'ORSTOM (tableau I). De nombreuses introductions de variétés ont été faites en provenance de zones d'altitude, comme le Népal, la Chine ou le Pérou, ou de zones de froid de latitude, comme le Japon, la Corée ou la Bulgarie. Des introductions ont également été faites par le biais du CIAT, du CIRAD et de l'IRRI avec 175 variétés présélectionnées pour leur résistance au froid (IRCTN).

Collections de comportement

Sur ces 892 variétés introduites ou prospectées (tableau I), 470 ont été testées en début du programme en pluvial près d'Antisrabe, à 1 500 m, et 433 en irrigué, à Vinaninony, à 1 875 m. Au départ, 86 ont été retenues dans la collection de travail de riz pluvial et 101 dans celle de riz irrigué. Des essais suivants, 55 géniteurs ont été retenus (tableau II), dont la majorité est du matériel local malgache.

En effet, en irrigué, aucune variété introduite n'a montré un bon comportement. Le matériel malgache local s'est révélé le seul à tolérer en plus du froid la pourriture des gaines due à *Pseudomonas fuscovaginae*. Aussi, *a fortiori,* aucune variété n'a été proposée à la vulgarisation. En pluvial, le matériel provenant des ressources locales (collection FOFIFA) a eu le meilleur comportement. Malgré un taux de stérilité dû au froid encore important, les résultats étaient très supérieurs à ceux des témoins locaux. Aussi, certaines des créations locales, provenant d'autres programmes de sélection, ont pu être nommées et proposées à la vulgarisation dès 1990. Il s'agit de FOFIFA 62 et FOFIFA 64 issues du croisement IAC 25-64/Daniela et de FOFIFA 116 provenant de RS 25 T/IAC 25-64 (tableaux III et IV).

Tableau I. Origine du matériel végétal évalué par le programme riz d'altitude.

Diverses prospections à Madagascar	126
Népal	4
Bouthan	2
Inde	11
Pérou	1
Burundi	8
Iran	1
Japon	14
Corée	12
Bulgarie	3
Etats-Unis	1
Ex-URSS	1
Taïwan	4
Egypte	2
Italie	1
Indonésie	3
Surinam	2
Brésil	91
Créations du FOFIFA	155
Collection du lac Alaotra (Madagascar)	46
CIAT Colombie	66
CIRAD/Idessa Côte d'Ivoire	3
CIRAD Guyane	1
CIRAD France	25
CIRAD Guadeloupe	140
IRRI Philippines	175

Tableau IV. Cycle semis-maturité à 1 500 m (en jours).

FOFIFA 62	145
FOFIFA 64	165
FOFIFA 116	165
FOFIFA 133	150
FOFIFA 134	160
FOFIFA 151	160
FOFIFA 152	150
FOFIFA 153	160
FOFIFA 154	155

Croisements et populations récurrentes

Plus de 400 croisements ont été réalisés et conduits en sélection généalogique. Pour l'irrigué, la majorité d'entre eux a été faite entre Latsika, matériel local des hauts plateaux malgaches. Pour le pluvial, ils ont été faits entre Latsika, apportant une bonne tolérance au froid et à la pourriture des gaines, et des variétés de plus basse altitude adaptées à la culture pluviale. En irrigué, après élimination des moins bonnes descendances, 32 de ces premiers croisements sont encore en cours d'exploitation (tableau V). L'un d'entre eux, Latsidahy/AS 40, a permis l'obtention de deux nouvelles variétés FOFIFA 155 et FOFIFA 156 plus productives que le témoin paysan Latsidahy (tableau VI) (VALES et RAZAFINDRAKOTO, 1996a).

Tableau II. Liste des géniteurs retenus.

1300	Dourado précoce	IBPGR 209-2	Mitsangana
AS 14	FOFIFA 62	IBPGR 210-1	Noiku 15-17
AS 37	FOFIFA 70	IRAT 13	Norin 22
AS 40	FOFIFA 114	IRAT 134	NR 10045
AS 43	FOFIFA 116	IRAT 146	Ootori
AS 59	IAC 25-64	Kagoshima Akamuri	Pokhareli Masimo
AS 68	IBPGR 90	Khonorallo	Pratao précoce
AS 91	IBPGR 111-2	Latsibavy	Rikuto Norin 6
AS 92	IBPGR 115	Latsidahy	Rikuto Norin 15
AS 93	IBPGR 118	Latiska B	Rojo Vin
AS 95	IBPGR 138-2	Latsika D	RS 25 T
AS X	IBPGR 141-4	Latsika P	Shin Ei
CA 435	IBPGR 148-4	Latsika T	Tokambana
Daniela	IBPGR 188	Lieto	

Tableau III. Variétés pluviales nommées.

Rendement (t/ha) observé		moyen	maximal
Botramaintso	témoin paysan	0,47	0,90
Kagoshima Hakamuri	idem	0,50	-
FOFIFA 62	IAC 25-64/Daniela	3,00	4,00
FOFIFA 64	IAC 25-64/Daniela	3,50	4,90
FOFIFA 116	RS 25 T/IAC 25-64	3,50	4,70
FOFIFA 133	Latsidahy/FOFIFA 62	4,50	6,00
FOFIFA 134	Latsidahy/FOFIFA 62	4,50	6,00
FOFIFA 151	Latsidahy/Shin Ei	3,00	4,50
FOFIFA 152	Latsidahy/FOFIFA 62	3,50	4,50
FOFIFA 153	Latsibavy/Daniela	3,50	4,50
FOFIFA 154	Latsibavy/FOFIFA 62	3,70	5,70

Tableau V. Descendances irriguées encore exploitées.

Croisement		parents	
C	génération	femelle	mâle
2	F10	Latsidahy	Shin ei
9	F10	Latsidahy	AS 40
10	F10	Latsidahy	IBPGR 118
14	F10	Latsidahy	AS 94
17	F9	Latsidah	IBPGR 148-4
23	F9	Latsidahy	AS 14
31	F9	Latsibavy	AS 40
32	F10	Latsibavy	IBPGR 118
34	F10	Latsibavy	AS 37
36	F9	Latsibavy	Tokambana
37	F9	Latsibavy	AS 43
40	F9	Latsibavy	Mitsangana
57	F9	AS 40	Tokambana
132	F7	Latsidahy	IBPGR 141-4
147	F9	Latsika P	AS 40
148	F8	Latsika P	AS 92
149	F9	Latsika D	AS 40
150	F9	Latsika	AS 92
301	F7	IBPGR 209-2	Latsika D
301 bis	F7	Latsika D	IBPGR 209-2
302	F7	IBPGR 111-2	Latsika D
302 bis	F7	Latsika D	IBPGR 111-2
160	F7-F8	AS 92	AS 59
304 bis	F7	Latsika D	Khonorallo
312	F7	Latsidahy	Khonorallo
313	F7	IBPGR 111-2	Khonorallo
400	F6	C 167	AS 43
400 bis	F6	AS 43	C 167
401	F6	C 167	Khonorallo
402	F6	C 167	Latsika D
402 bis	F6	Latsika D	C 167
404 bis	F6	IBPGR 138-2	C 167
x	F10	Mélange de F2 d'Ivoloina	

Avec C167 : AS 92/AS 43.

Tableau VI. Variétés irriguées nommées.

Rendement (t/ha) observé		moyen	maximal
Latsidahy	témoin paysan	3,0	4,5
FOFIFA 155	Latsidahy/AS 40	4,0	5,0
FOFIFA 156	Latsidahy/AS 40	4,8	4,8

En pluvial, 37 des premiers croisements font encore l'objet d'une sélection généalogique ou d'évaluation variétale. Quatre d'entre eux ont déjà permis la nomination de 6 variétés qui sont en cours de vulgarisation (tableau VII). Il s'agit de FOFIFA 133, FOFIFA 134 et FOFIFA 152 issues du croisement Latsidahy/FOFIFA 62, FOFIFA 151 provenant de Latsidahy /Shin Ei, FOFIFA 153 venant de Latsidahy/Daniela et FOFIFA 154 de Latsibavy/FOFIFA 62. Elles sont plus productives (tableau III) et plus précoces (tableau IV) que les variétés locales (CHABANNE et RAZAKAMIARAMANANA, 1996)

En plus de l'exploitation des populations F2, des populations récurrentes ont été constituées. Le tableau VIII fournit la liste des variétés fondatrices de la population pluviale et le tableau IX celle de la population irriguée. Ces populations ont été exploitées jusqu'à présent en sélection récurrente sur lignées S1. Quelques lignées en sortie de ses populations sont en sélection généalogique. Cependant, l'expérience acquise a conduit à prévoir l'élargissement de la base génétique de ces populations et à envisager un schéma de sélection peut-être mieux adapté aux contraintes de l'altitude (VALES et RAZAFINDRAKOTO, 1996c).

Tableau VII. Descendances pluviales encore exploitées.

Croisement C	génération	parents femelle	mâle
1	F9	Latsidahy	IRAT 134
2	F8-F9-F10	Latsidahy	Shin Ei
7	F8-F10	Latsidahy	Daniela
8	F7-F8-F9	Latsidahy	FOFIFA 62
25	F6-F7	Latsibavy	IRAT 134
26	F8-F10	Latsibavy	Shin Ei
29	F8-F9-F10	Latsibavy	Daniela
30	F7-F8-F9	Latsibavy	FOFIFA 62
43	F8	Latsibavy	IAC 25
51	F8-F10	IAC 25-64	Daniela
51 bis	F10	Daniela	IAC 25-64
55	F8	1490 Ant.	Daniela
58	F8-F10	IAC 25-64	Shin Ei
102	F7-F8-F9	FOFIFA 62	Shin Ei
103	F7	Daniela	Shin Ei
104	F9	IAC 25-64	Lieto
105	F7	FOFIFA 116	Lieto
106	F7-F8-F9	FOFIFA116	Shin Ei
107	F7	FOFIFA 116	Daniela
112	F7-F9	Kagoshima Akamuri	Shin Ei
113	F7	IAC 25	Noiku 1517
115	F6-F8-F9	IAC 25-64	Ootori
116	F9	FOFIFA 62	Noiku 1517
118	F6	IAC 25	Rikuto Norin 15
119	F6-F7	FOFIFA 62	Rikuto Norin 15
121	F7-F8	FOFIFA 70	Lieto
122	F7-F9	FOFIFA 70	Shin Ei
202 bis	F6-F8	FOFIFA 62	RS 25 T
208	F8	CA 435	FOFIFA 62
211	F6	RS 25 T	Daniela
212	F6-F7-F8	Dourado précoce	Daniela
212 bis	F6-F7-F8	Daniela	Dourado précoce
218	F7	IRAT 146	Daniela
221	F7	FOFIFA 114	Daniela
308	F6-F7	Pratao précoce	Daniela
311	F6	CNA 4121	Daniela
211 bis	F8	Daniela	RS 25 T

Tableau VIII. Variétés fondatrices de la population récurrente pluviale.

Stérilité mâle CNA-IRAT 1	Brésil
Latsidahy	Madagascar
Latsibavy	Madagascar
Shin Ei	Japon
Rikuto Norin 15	Japon
Daniela	Brésil
IAC 25-64	Brésil
Pratao précoce	Brésil
Guarani	Brésil
FOFIFA 62	IAC 25-64/Daniela
FOFIFA 116	RS 25 T/IAC 25-64
F4 C58-L10	IAC 25-64/Shin ei

Tableau IX. Variétés fondatrices de la population récurrente irriguée.

Stérilité mâle CNA-IRAT 1		
Latsidahy	IBPGR	138-2
Latsibavy	IBPGR	141-4
Tokambana	AS 37	
Mitsangana	AS 39	
Rojo Vin	AS 40	
IBPGR 115	AS 92	
IBPGR 118		

Conclusion

Les résultats des premières introductions sont décevants. Malgré cela, celles-ci continuent (VALES et RAZAFINDRAKOTO, 1996b). Les populations récurrentes n'ont pas encore apporté de résultats vulgarisables. Leur base génétique a été récemment élargie et un nouveau schéma de sélection récurrente a été mis en route. Cela devrait permettre d'obtenir des résultats assez rapidement (VALES et RAZAFINDRAKOTO, 1996c). Parmi les lignées en fin de sélection généalogique, beaucoup semblent très prometteuses. Elles devraient permettre que soit proposé, tant en irrigué qu'en pluvial, de nouvelles variétés plus performantes à court terme.

Enfin, le programme riz d'altitude du FOFIFA-CIRAD a pu répondre à ses engagements contractés dans les projets de la CEE en proposant une série de 9 variétés performantes pour la culture pluviale de haute altitude. Il propose également deux variétés irriguées plus productives (VALES et RAZAFINDRAKOTO, 1996a). Malgré ces succès de l'amélioration variétale, renforcés par ceux acquis en agronomie, le programme continue et des progrès notables sont déjà attendus.

Références bibliographiques

CHABANNE A., RAZAKAMIARAMANANA M. 1996. Comportement multilocal et pluriannuel des nouvelles variétés de riz pluvial à Madagascar. Atelier international Point sur la recherche et le développement de la riziculture d'altitude, 30 mars-5 avril 1996. FOFIFA-CIRAD. Antananarivo, Antsirabe, Madagascar, 8 p.

RAVATOMANGA J., RAKOTONIRAINY R., DECHANET R., 1990. L'amélioration du riz d'altitude à Madagascar. Séminaire sur le riz d'altitude, Burundi, avril 1990, 20 p.

VALES M., RAZAFINDRAKOTO J., 1996a. Deux nouvelles variétés productives de riz irrigué d'altitude malgache. Atelier international Point sur la recherche et le développement de la riziculture d'altitude, 30 mars-5 avril 1996. FOFIFA-CIRAD. Antananarivo, Antsirabe, Madagascar, 7 p.

VALES M., RAZAFINDRAKOTO J. 1996b. De la précocité népalaise pour le riz d'altitude malgache. Atelier international Point sur la recherche et le développement de la riziculture d'altitude, 30 mars-5 avril 1996. FOFIFA-CIRAD. Antananarivo, Antsirabe, Madagascar, 9 p.

VALES M., RAZAFINDRAKOTO J. 1996c. La sélection récurrente pour le riz d'altitude malgache. Atelier international Point sur la recherche et le développement de la riziculture d'altitude, 30 mars-5 avril 1996. FOFIFA-CIRAD. Antananarivo, Antsirabe, Madagascar, 7 p.

POISSON C., RAKOTOARISOA J., (édit.). 1997
Riziculture d'altitude
Actes du séminaire riziculture d'altitude,
29 mars-5 avril 1996, Antananarivo, Madagascar.
Colloques, CIRAD-CA, Montpellier, France, 272 p.

Deux nouvelles variétés productives de riz irrigué d'altitude malgache

M. VALES[1], J. RAZAFINDRAKOTO[2], R. DECHANET[1], D. THARREAU[3]
1. CIRAD-CA, BP 853, Antananarivo, Madagascar
2. FOFIFA-DRR, BP 1690, Antananarivo, Madagascar
3. CIRAD-CA, BP 5035, 34032 Montpellier Cedex 1, France

Résumé — Cela fait plusieurs campagnes que des lignées irriguées ont une production nettement supérieure au témoin Latsidahy, à 1 875 m, chez des paysans. Elles sont issues du croisement Latsidahy par AS 40. Les 2 meilleures sont nommées FOFIFA 155 (CIRAD 394) (lignée 47) et FOFIFA 156 (CIRAD 407) (lignée 57). Les composantes du rendement ainsi que d'autres caractères variétaux sont analysés. La supériorité de FOFIFA 155 est expliquée par un meilleur poids paniculaire. Celle de FOFIFA 156 par un meilleur tallage utile.
Mots-clés : riz d'altitude, *Oryza sativa*, variété, Madagascar, *Pseudomonas fuscovaginae*.

Introduction

Les riz irrigués traditionnels malgaches, les Latsika, sont parmi les meilleurs au monde pour leur adaptation à la haute altitude, supérieure à 1 500 m. En plus de leur tolérance au froid, ils se singularisent en supportant mieux la pourriture des gaines due à *Pseudomonas fuscovaginae*. Aussi, le pari d'obtenir des variétés plus productives est difficile à tenir. Le présent propos fait part de l'aboutissement des travaux de sélection irriguée du programme riz d'altitude lancés par Roger Déchanet, en 1984 (DECHANET *et al.*, 1990). Ce programme, conduit par le FOFIFA et le CIRAD, a pu être réalisé grâce en particulier à l'appui financier de la CEE.

Matériel et méthodes

Cette expérimentation a été conduite à Vinaninony, à l'altitude de 1 875 m, par M. Elson Randriamboavonjison (paysan n° 1) et par M. François-Xavier Razanakaandrianirina (paysan n° 2). Le précédent cultural était le riz. Le matériel végétal étudié était constitué de 8 lignées fixées qui ont eu des rendements nettement supérieurs à Latsidahy, au cours de la campagne 1993-1994. Ces lignées sont issues du croisement C9, Latsidahy X AS 40.

Il s'agit des lignées suivantes :

F9 C9-MB-F1	F9 C9-MB-F12
F9 C9-MB-F4	F9 C9-MB-F47
F9 C9-MB-F5	F9 C9-MB-F57
F9 C9-MB-F7	F9 C9-MB-F62

Latsidahy est le témoin. C'est la variété utilisée par la majorité des paysans sur tout le périmètre. Le dispositif mis en place chez chacun des 2 paysans était en blocs aléatoires complets à 4 répétitions et 9 modalités pour le facteur variétal.

La parcelle élémentaire avait pour dimensions :
– pour le paysan n° 1 : 2 m x 5 m ;
– pour le paysan n° 2 : 2 m x 4 m.

Les pépinières ont été semées le 28 septembre 1994. Le repiquage a eu lieu le 29 novembre chez le paysan n° 1 et le 10 décembre chez le second. Le repiquage a été fait par les paysans, comme à leur habitude, à 4 brins par touffe avec un écartement de 20 x 20 cm. La fumure est de 30-60-60 de N-P-K. Le logiciel utilisé pour les analyses statistiques est Stat-Itcf.

Résultats et discussion

A la vue du tableau I, il semble que les conditions de culture du paysan n° 1 aient été plus sélectives. La moyenne de production a été plus basse

chez lui. Latsidahy est rustique. Aussi chez ce premier paysan, il y a eu moins de variétés significativement plus productives que ce témoin local, que chez le second.

Chez le premier paysan, seules les lignées F47 et F57 étaient plus productives que Latsidahy. La lignée F47 produit 56 % de plus que le témoin. Chez le deuxième paysan, seule la lignée F5 n'était pas supérieure à Latsidahy ; ce qui confirme son classement chez le premier paysan. La lignée F62, la plus productive, a fourni 36 % de plus que le témoin. La production de la lignée F47 était très proche de celle de la lignée F62. Il est important de constater que le gain de production par rapport à Latsidahy est d'autant meilleur que les conditions sont difficiles. En effet, le gain de production des lignées F47 et F57 était respectivement de 34 % et 26 % chez le paysan n° 2 et de 56 % et 48 % chez le paysan n° 1. Cela laisse penser que la rusticité de ces 2 lignées est au moins égale à celle de Latsidahy.

Le tableau II montre que la supériorité de la production des lignées F47 et F62 sur le témoin peut être expliquée par un meilleur poids paniculaire. Cela ne semble pas vrai pour la lignée F57.

Le tableau II indique que la supériorité de la production de la lignée F57 sur Latsidahy peut être expliquée par un meilleur tallage utile par touffe. Cela ne semble pas vrai pour les lignées F47 et F62.

Le fait que la lignée F57 n'ait pas eu un très bon poids paniculaire peut être expliqué par une fertilité relativement moins bonne des épillets chez le paysan n° 2 (tableau IV). C'est la seule lignée qui ait été inférieure au témoin. Mais la note 4 et l'écart de notation sont loin d'être rédhibitoires d'autant qu'il n'y a pas eu de différence significative chez le premier paysan.

Cette moins bonne fertilité de la lignée F57 n'est pas attribuable à une moins bonne tolérance au froid qui aurait pu s'exprimer dès le stade jeune. En effet, il n'y a pas eu de différence significative pour les notes globales de vigueur à la reprise et la lignée F57 est la seule qui ait été d'un vert plus soutenu 15 jours après le repiquage (tableau V). Ce qui témoigne d'une meilleure reprise chez le paysan n° 1.

Le froid favorise les attaques de *Pseudomonas fuscovaginae* dont les attaques sont particulièrement graves à partir du stade gonflement (JAUNET, 1995). La totalité des plantes présentait des pourritures des gaines. La fertilité relativement plus faible des épillets de la lignée F57 n'est pas due à un plus fort taux de talles touchés par la pourriture des gaines chez le paysan n° 2 (tableau VI). Il n'était pas significativement différent de celui du témoin. En revanche, la lignée F47 présentait près de 38 % de talles atteints de plus par rapport au témoin et la lignée F62 près de 53 % de plus, ce qui est inquiétant si l'on considère que l'année n'était pas très sélective. Chez le paysan n° 1, les différences n'étaient pas significatives. Comme le traduisait la différence de production, les conditions étaient effectivement plus sélectives chez le paysan n° 1. La

- Dispositifs en blocs aléatoires complets à 4 répétitions.
- Les moyennes suivies d'un exposant sont soit supérieures au témoin $^{(+)}$, soit égales au témoin $^{(=)}$, soit inférieures au témoin $^{(-)}$, selon le test de Dunnet au seuil de 5 %.
- Les moyennes suivies d'une même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5 % par le test de Newman et Keuls.

Tableau I. Poids parcellaire.

Paysan	n° 1 g/10 m²	n° 2 g/8 m²	
C9 MB-F47	**4 020,00⁺**	**4 020,00**	**A**
C9 MB-F57	**3 802,50⁺**	**3 802,50**	**A B**
C9 MB-F62	3 500,00⁼	4 080,00	A
C9 MB-F 7	3 390,00⁼	3 860,00	A B
C9 MB-F12	3 360,00⁼	3 751,25	A B
C9 MB-F 4	3 206,25⁼	3 685,00	A B
C9 MB-F 1	3 448,75⁼	3 450,00	B C
C9 MB-F 5	2 601,25⁼	3 147,50	C D
Latsidahy (témoin)	2 575,00	3 000,00	D
Moyenne	3 322,64	3 644,03	
ETM	276,745	127,330	
CV (%)	16,7	7,0	

Tableau II. Poids paniculaire (g).

Paysans	n° 1		n° 2	
C9 MB-F62	1,93	A	2,79	A
C9 MB-F12	1,73	A	2,36	B
C9 MB-F47	**1,84**	**A**	**2,33**	**B**
C9 MB-F 4	1,77	A	2,10	B C
C9 MB-F57	**1,45**	**B**	**1,92**	**C D**
C9 MB-F 7	1,45	B	1,77	D E
Latsidahy	1,36	B	1,69	D E
C9 MB-F 1	1,36	B	1,59	D E
C9 MB-F 5	1,20	B	1,47	E
Moyenne	1,57		2,00	
ETM	0,07		0,085	
CV (%)	9,1		8,7	

Tableau III. Tallage utile.

Paysans	n° 1		n° 2	
C9 MB-F 5	8,32	A	16,83	A
C9 MB-F 1	8,68	A	16,27	A
C9 MB-F 7	7,43	A	15,91	A
C9 MB-F57	**8,32**	**A**	**15,15**	**A B**
C9 MB-F 4	5,64	B	13,43	B C
Latsidahy	5,93	B	13,09	B C
C9 MB-F47	**5,61**	**B**	**12,38**	**C**
C9 MB-F12	4,90	B	11,46	C
C9 MB-F62	5,00	B	10,75	C
Moyenne	6,36		13,92	
ETM	0,43		0,67	
CV (%)	3,5		9,6	

Tableau IV. Stérilité des épillets chez le paysan n° 2 (note de 1 à 9 par pas de 2 ; 1 : tous fertiles, 9 : tous stériles).

C9 MB-F57	**4,00**	**A**
C9 MB-F 5	3,75	AB
C9 MB-F 7	3,25	AB
C9 MB-F 1	3,25	AB
C9 MB-F62	3,25	AB
C9 MB-F47	**3,25**	**AB**
C9 MB-F12	3,00	B
Latsidahy	3,00	B
C9 MB-F 4	3,00	B
Moyenne	3,31	
ETM	0,175	
CV (%)	10,7	

Tableau V. Couleur des plantes 15 jours après repiquage chez le paysan n° 1 (note de 1 à 9 par pas de 2 ; 1 : jaune clair, 9 : vert foncé).

C9 MB-F57	**7,00** >
C9 MB-F62	6,50=
C9 MB-F47	**6,00**=
C9 MB-F 4	6,00=
C9 MB-F12	5,50=
C9 MB-F 1	5,50=
C9 MB-F 7	5,00=
C9 MB-F 5	5,00=
Latsidahy (témoin)	5,00
Moyenne	5,72
ETM	0,415
CV (%)	14,6

Tableau VI. Pourcentage de talles malades (pourriture brune des gaines) par touffe chez le paysan n° 2.

C9 MB-F62	86,90	A
C9 MB-F12	80,40	AB
C9 MB-F47	**78,38**	**AB**
C9 MB-F 7	77,54	AB
C9 MB-F 4	77,36	AB
C9 MB-F57	**68,08**	**ABC**
C9 MB-F 5	67,47	ABC
C9 MB-F 1	65,45	BC
Latsidahy	56,81	C
Moyenne	73,15	
ETM	4,305	
CV (%)	11,8	

Tableau VII. Grains tachés chez le paysan n° 1 (note de 1 à 9 par pas de 2 ; 1 : aucun, 9 : tous tachés).

C9 MB-F57	**5,75**	**A**
C9 MB-F 4	5,25	A B
C9 MB-F 5	5,25	A B
C9 MB-F 7	5,00	A B
C9 MB-F 1	5,00	A B
C9 MB-F12	5,00	A B
C9 MB-F47	**5,00**	**A B**
Latsidahy	4,50	B
C9 MB-F62	4,50	B
Moyenne	5,03	
ETM	0,22	
CV (%)	8,7	

moyenne générale était de 82,83 % de talles touchés au lieu de 73,15 % chez le second.

Le tableau VII montre que la lignée F57 était la seule à avoir plus de grains tachés que le témoin, seulement chez le paysan n° 1. Chez le paysan n° 2, les différences n'étaient pas significatives, mais la lignée F57 semblait également avoir plus de grains tachés que les lignées F47 et F62 et que le témoin. Cette tendance pourrait expliquer la légère différence de fertilité des épillets.

Les 3 lignées F47, F57 et F62 ont eu une bonne exertion paniculaire chez les 2 paysans (tableau VIII). Cela est important pour limiter les conséquences des attaques sur gaines en cas d'année plus favorable à cette maladie.

Le tableau IX montre que 5 lignées ont des cous plus gros que Latsidahy dont F47, F57 et F62.

Le tableau X indique que toutes les lignées créées ont un égrenage plus faible que le témoin. De gros cous et une bonne résistance à l'égrenage sont des qualités importantes face au risque très important de chute de grêle.

Les tableaux XI fournissent la hauteur des lignées. Chez les deux paysans, la lignée F62 était la seule significativement plus grande que Latsidahy. Elle dominait le témoin de 11,5 cm chez le deuxième paysan. Cela constitue un défaut face au risque de fortes rafales de vent en haute altitude. La hauteur moyenne chez le paysan n° 1 était inférieure de 20 cm par rapport à celle obtenue chez le second. Cela démontre encore que les conditions de culture étaient moins favorables chez le premier.

La précocité des variétés est une qualité importante. En effet, elle permet d'esquiver le froid accru en fin de cycle ou de faciliter les successions culturales avec la contre-saison (VALES et RAZAFINDRAKOTO, 1996 ; VALES *et al.*, 1996).

Pour le cycle semis-maturité (tableau XII), seules les lignées F4 et F12 était significativement plus précoces que Latsidahy et la lignée F7 plus tardive chez le paysan n° 1. Chez le paysan n° 2, 5 étaient significativement plus précoces. Mais les différences étaient minimes sur un plan pratique. Le tableau XII montre que la lignée F7, la plus tardive, est celle qui a mûri légèrement plus rapidement.

Le tableau XIV fournit quelques caractéristiques variétales. Il est clair que Latsidahy est moins homogène. En effet, la variété cultivée par les paysans est une variété population. Cela peut être considéré comme une limite à une très haute production mais c'est aussi probablement un gage de rusticité et de stabilité du rendement. Etant donné qu'il s'agit de lignées sœurs, il n'est pas surprenant de constater qu'elles se ressemblent pour le port et le type de grain.

Tableau VIII. Exertion paniculaire (note de 1 à 9 par pas de 2 ; 1 : excellente, 9 : panicule engainée).

Paysans	n° 1		n° 2
Latsidahy (témoin)	5,00	A	4,50
C9 MB-F 7	5,00	A	3,50=
C9 MB-F 5	5,00	A	4,50=
C9 MB-F12	4,50	AB	3,50=
C9 MB-F 4	4,00	ABC	3,50=
C9 MB-F 1	3,50	BC	3,00<
C9 MB-F62	3,00	C	3,00<
C9 MB-F57	**3,00**	**C**	**3,00<**
C9 MB-F47	**3,00**	**C**	**3,00<**
Moyenne	4,00		3,5
ETM	0,30		0,365
CV (%)	15,0		20,9

Tableau IX. Grosseur des cous chez le paysan n° 2 (note de 1 à 9 par pas de 2 ; 1 : très fin, 9 : très gros).

C9 MB-F47	**5,00**	**A**
C9 MB-F57	**5,00**	**A**
C9 MB-F62	5,00	A
C9 MB-F12	5,00	A
C9 MB-F 4	5,00	A
C9 MB-F 7	3,50	B
C9 MB-F 5	3,50	B
Latsidahy	3,50	B
C9 MB-F 1	3,00	B
Moyenne	4,28	
ETM	0,25	
CV (%)	11,7	

Tableau X. Egrenage chez le paysan n° 2 (note de 1 à 9 par pas de 2 ; 1 : très résistant, 9 : très sensible).

Latsidahy	5,00	A
C9 MB-F62	3,00	B
C9 MB-F 1	3,00	B
C9 MB-F12	3,00	B
C9 MB-F57	**3,00**	**B**
C9 MB-F47	**3,00**	**B**
C9 MB-F 7	1,50	C
C9 MB-F 4	1,00	C
C9 MB-F 5	1,00	C
Moyenne	2,61	
ETM	0,165	
CV (%)	12,8	

Tableau XI. Hauteur à maturité (cm).

Paysans	n° 1		n° 2	
C9 MB-F62	63,00	A	81,50	A
C9 MB-F47	**59,00**	**B**	**76,50**	**AB**
Latsidahy	56,50	BC	70,00	B
C9 MB-F 1	54,25	CD	73,25	AB
C9 MB-F12	53,75	CD	76,00	AB
C9 MB-F 4	53,25	CD	73,50	AB
C9 MB-F57	**52,00**	**D**	**79,00**	**AB**
C9 MB-F 7	50,75	D	70,25	B
C9 MB-F 5	47,00	E	73,50	AB
Moyenne	54,39		74,83	
ETM	0,945		2,295	
CV (%)	3,5		6,1	

Tableau XII. Cycle semis-maturité (en jours).

Paysans	n° 1		n° 2	
C9 MB-F 7	213,00	A	210,00	A
C9 MB-F 5	209,00	B	210,00	A
Latsidahy	208,75	B	210,00	A
C9 MB-F62	207,00	BC	206,00	AB
C9 MB-F57	**206,00**	**BC**	**204,00**	**AB**
C9 MB-F 1	205,00	BC	202,00	B
C9 MB-F47	**205,00**	**BC**	**206,00**	**AB**
C9 MB-F 4	204,00	C	208,00	A
C9 MB-F12	203,00	C	206,00	AB
Moyenne	206,75		206,89	
ETM	1,045		1,32	
CV (%)	10		1,3	

Tableau XIII. Nombre de jours entre 50 % de plantes en fleurs et maturité chez le paysan n° 1.

C9 MB-F62	11,00	A
C9 MB-F 5	11,00	A
C9 MB-F47	**11,00**	**A**
C9 MB-F57	**11,00**	**A**
C9 MB-F 1	10,75	A
C9 MB-F 4	10,50	A
C9 MB-F12	10,25	A
Latsidahy	10,00	A
C9 MB-F 7	8,50	B
Moyenne	10,44	
ETM	0,36	
CV (%)	6,9	

Tableau XIV. Quelques caractéristiques variétales.

Lignée	Ho	Lc	Lp	lp	L/l	1000	Trans	Port
C9 MB-F 1	1	4,96	6,11	2,75	2,22	23,6	0,05	3
C9 MB-F 4	1	5,11	6,30	2,93	2,15	26,4	0,10	3
C9 MB-F 5	1	5,15	6,37	2,97	2,14	26,2	0,25	3
C9 MB-F 7	1	5,02	6,14	3,19	1,92	29,8	0,05	3
C9 MB-F 12	1	4,95	6,04	3,03	1,99	27,6	0,10	3
C9 MB-F 47	**1**	**5,30**	**6,38**	**2,82**	**2,26**	**27,5**	**0,25**	**3**
C9 MB-F 57	**1**	**5,13**	**6,25**	**3,11**	**2,01**	**25,8**	**0,10**	**3**
C9 MB-F 62	1	5,43	6,66	2,96	2,25	28,0	0,05	3
Latsidahy	4	5,70	7,09	2,76	2,57	26,4	0,10	3

Ho : homogénéité chez le paysan 2 (1 à 9 par pas de 2 ; 1 : homogène, 9 très hétérogène)
Lc : longueur du caryopse
L/l : longueur/largeur du grain paddy
Lp : longueur du grain de paddy
1000 : poids de 1000 grains
lp : largeur du grain de paddy
Trans : coefficient de translucidité
Port : port des plantes (1 à 9 par pas de 2 ; 1 : très érigé, 9 : très ouvert)

Conclusion

Etant donné la ressemblance de ces lignées, c'est la différence de production qui va présider au choix de 2 variétés qui seront nommées. Les 2 lignées plus productives que Latsidahy chez les 2 paysans sont les lignées F47 et F57. Le gain de production par rapport à Latsidahy va de 26 % à 56 %. La supériorité de la production de la lignée F47 est expliquée par un meilleur poids paniculaire et celle de la lignée F57 par un meilleur tallage utile. Il est important de souligner qu'il est possible de les distinguer sur ces 2 critères. Ces 2 meilleures lignées seront donc nommées officiellement, respectivement FOFIFA 155 et FOFIFA 156. La production de semences de base sera lancée dès la compagne prochaine.

Remerciements

Les auteurs remercient M. Victor Rakotozafy (PRA-FOFIFA-CIRAD) pour sa collaboration technique.

Références bibliographiques

DECHANET R., RAVATOMANGA J., RAKOTONIRAINY R., 1990. L'amélioration variétale du riz d'altitude à Madagascar. *In* Comptes rendus du séminaire sur les contraintes liées à la riziculture d'altitude et l'amélioration variétale. Bujumbura, Burundi, 18-23 avril 1990. Université catholique de Louvain, Louvain-la-Neuve, Belgique, J. BOUHARMONT et J.-P. TILQUIN (éditeurs), p. 45-53.

JAUNET T., 1995. Caractérisation, pathogénie et épidémiologie de *Pseudomonas fuscovaginae,* agent de la pourriture brune des gaines de riz *(Oryza sativa).* Thèse, université Paris XI, centre d'Orsay, 104 p.

VALES M., RAZAFINDRAKOTO J., 1996. De la précocité népalaise pour le riz d'altitude malgache. Atelier international Point sur la recherche et le développement de la riziculture d'altitude, 30 mars-5 avril 1996. FOFIFA-CIRAD. Antananarivo, Antsirabe, Madagascar, 9 p.

VALES M., RAZAFINDRAKOTO J., SEGUY L., 1996. Croisements pour la qualité du grain et la précocité du riz d'altitude malgache. Atelier international Point sur la recherche et le développement de la riziculture d'altitude, 30 mars-5 avril 1996. FOFIFA-CIRAD. Antananarivo, Antsirabe, Madagascar, 9 p.

POISSON C., RAKOTOARISOA J., (édit.), 1997
Riziculture d'altitude
Actes du séminaire riziculture d'altitude.
29 mars-5 avril 1996, Antananarivo, Madagascar
Colloques, CIRAD-CA, Montpellier, France, 272 p.

La climatologie d'altitude à Madagascar

A. CHABANNE[1], M. RAZAKAMIARAMANANA[2]
1. CIRAD-CA, BP 853, Antananarivo, Madagascar
2. FOFIFA/DRR, BP 1690, Antananarivo, Madagascar

Résumé — La climatologie d'altitude à Madagascar se distingue par la sélectivité des contraintes rencontrées, notamment pour les températures. Seules les stations du Népal présentent des conditions similaires. Cela se traduit pour la plante principalement par des difficultés de calage des calendriers culturaux dues à un rallongement des cycles de développement, par une réduction de la croissance en hauteur des plantes et par une limitation des rendements à cause de la forte stérilité des épillets provoquée par le froid et les maladies. En riziculture pluviale, la conjonction entre le froid et des conditions pluviométriques — parfois limitantes en début et en cours de cycle — détermine une sélectivité extrême du milieu. Les résultats hautement satisfaisants obtenus laissent espérer une large extension de cette pratique culturale en altitude. Les conditions particulières d'engorgement et de températures froides des rizières de haute altitude ont favorisé l'accumulation en matière organique des sols, accumulation ayant des effets dépressifs sur la nutrition minérale. La sélectivité des conditions spécifiques de la climatologie d'altitude à Madagascar confère une large adaptabilité des résultats obtenus sur une majeure partie des hautes terres, d'une part, et à de nombreux pays concernés par le froid, d'autre part.
Mots-clés : Madagascar, climatologie, riz, altitude, froid, matière organique.

Le climat

Sources des données

Afin de caractériser au mieux la variabilité spatiale et temporelle des éléments climatiques ayant une influence directe ou indirecte sur la croissance, le développement et la production du riz, une étude climatique des régions d'altitude à Madagascar a été réalisée. Pour ce faire, nous nous sommes référés aux données météorologiques historiques sur un ensemble de stations répondant aux critères suivants :
– concerner les régions rizicoles les plus importantes ;
– se répartir au mieux entre les gradients d'altitude de 800 à 1 800 m ;
– disposer de données suffisantes sur une période d'environ 20 ans pour les températures, les précipitations et, si possible, l'insolation.
Dix stations synoptiques et climatologiques ont été retenues. Elles sont représentatives des lieux suivants :
– la région du lac Alaotra et de la dépression du Mangoro (800 m) ;
– la région d'Antananarivo (1 300-1 400 m) ;
– la région de l'Ankaratra (1 500-1 750 m).
– la région de Fianarantsoa (1 100-1 400 m).

De plus, grâce à l'installation de stations météorologiques sur certains sites d'essai, nous disposons du suivi des variations journalières des données depuis le début du projet, notamment sur les sites d'Antsirabe (1 500 m) et Vinaninony (1 875 m). L'ensemble de ces travaux a pu être réalisé grâce à une convention établie entre le FOFIFA, le CIRAD et la météorologie nationale.

Caractéristiques générales

Les hautes terres malgaches subissent l'alternance d'une saison chaude et humide (novembre à avril) et d'une saison fraîche et sèche (mai à octobre). Ce régime climatique est conditionné par l'arrivée en saison chaude de masses d'air humide en provenance du Nord-Ouest. Il s'agit du flux de mousson issu du continent asiatique qui, en franchissant l'équateur, change de direction. En saison fraîche, ce sont les alizés du Sud-Est, en provenance de l'anticyclone du sud-est de l'océan Indien qui frappent l'est de Madagascar et y déchargent une bonne partie de leur humidité. Cet

anticyclone peut être actif en saison chaude, son contact avec les basses pressions du Nord-Ouest se fait par une zone de convergence intertropicale responsable des orages de fin d'après-midi. Enfin, s'ajoutent parfois fréquemment pendant la saison chaude des dépressions tropicales et des cyclones violents traversant l'île d'Est en Ouest.

A ce régime tropical austral, se combinent — dans l'Ankaratra —, les effets de l'altitude (diminution des températures) et les effets de la position subméridienne du massif. Les hauts reliefs à plus de 2 500 m forment une longue échine Nord-Sud sur environ 50 km, dans l'axe des hauts plateaux. L'Ankaratra constitue un obstacle perturbateur pour les masses d'air humide, principalement les alizés, qui subissent une forte ascendance orographique génératrice de grosses précipitations et d'orages. On observera une très nette dissymétrie climatique, concernant surtout les précipitations, entre le versant occidental et le versant oriental du massif. En saison chaude et humide, le versant est est beaucoup moins intéressé par la mousson. Inversement, en saison fraîche et sèche, les pentes orientales sont plus marquées par l'alizé que les pentes occidentales réchauffées et dégagées de toute nébulosité par l'effet de foehn dû à la redescente de cet alizé.

Enfin, les effets de l'orographie chahutée de l'Ankaratra, spécialement au sud, au sud-ouest et à l'ouest de la longue crête sommitale — cuvettes encastrées par de hauts reliefs, ensembles montagneux isolés, grandes vallées encaissées —, sont propices à l'instabilité des masses d'air chaudes et humides, instabilité responsable de très nombreux et violents orages, composante importante du climat de cette région.

Les températures

L'effet de l'altitude est déterminant sur les variations des températures moyennes qui diminuent d'environ 0,6 °C par 100 m de dénivellation (figure 1), pour des valeurs en saison chaude (décembre à février) de 22 °C à 23 °C ; à 900 m, elles sont de 17 °C à 18 °C à 1 875 m.

Les températures minimales (figure 2) accusent les mêmes variations mais de façon plus modérée à haute altitude. En effet, la couverture nuageuse fréquente et survenant de façon précoce dans la journée limite le rayonnement nocturne et de ce fait la baisse des températures. Alors que de 900 à 1 500 m, elles chutent de 18 °C à 14 °C en saison chaude ; entre 1 500 m et 1 875 m, elles sont très peu différentes et avoisinent les 13 °C-14 °C.

Au contraire, les températures maximales montreront une plus forte variabilité combinant les effets de l'altitude et de cette couverture nuageuse (figure 3). De 29 °C à 900 m, elles sont de 21 °C à 1 875 m en saison chaude. Il ne semble pas que l'altitude influe sensiblement sur les amplitudes durant la saison chaude jusqu'à une altitude de 1 600 m. Les amplitudes sont alors d'environ 10 °C à 12 °C. Au-delà de cette altitude, la nébulosité plus importante tamponne les variations des températures. L'amplitude thermique est alors de 6 °C à 8 °C entre décembre et février.

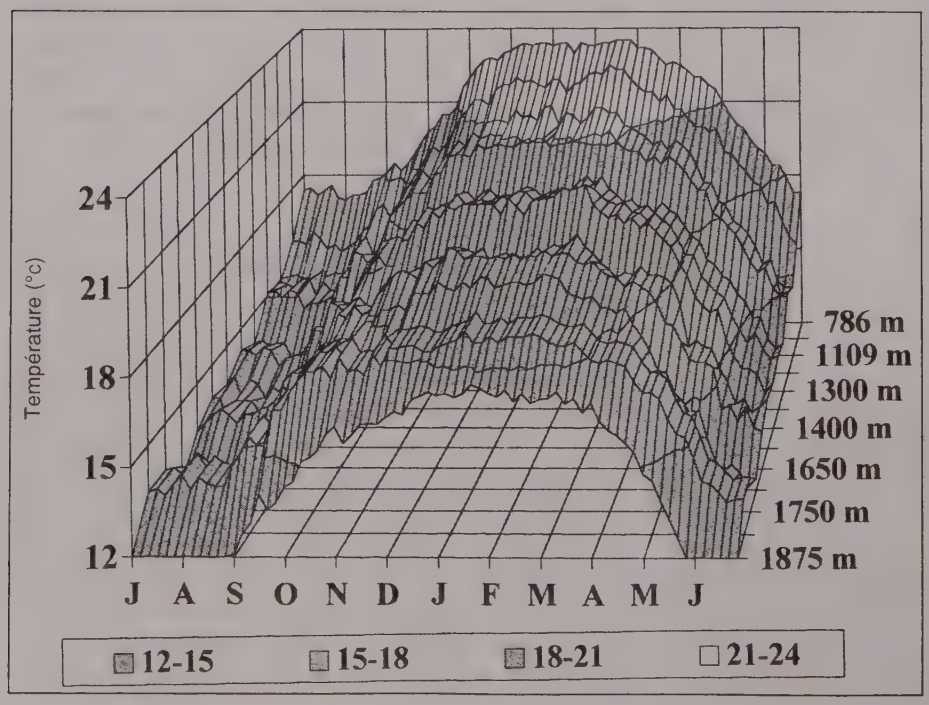


Figure 1. Les températures moyennes pentadaires.

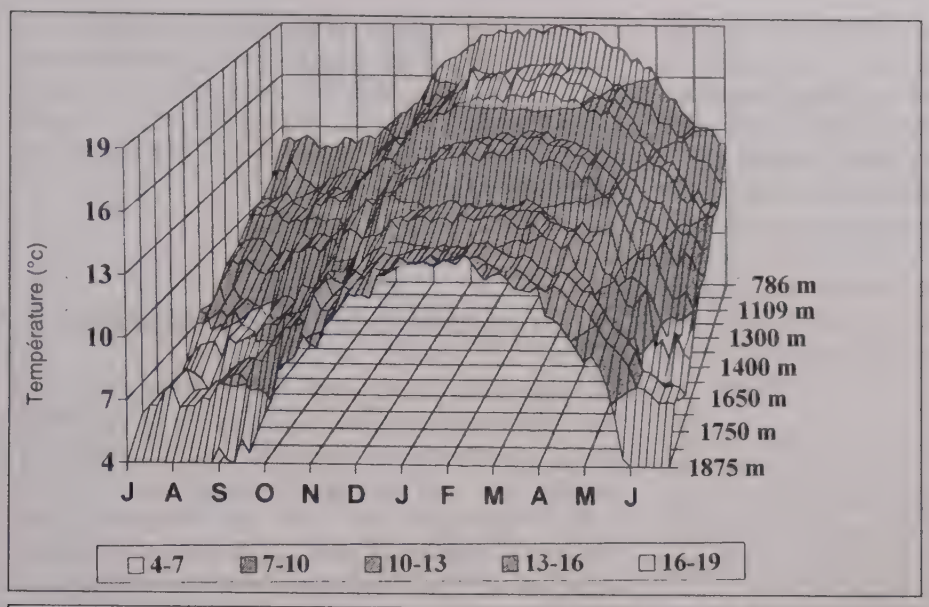


Figure 2. Les températures minimales pentadaires en fonction de l'altitude.

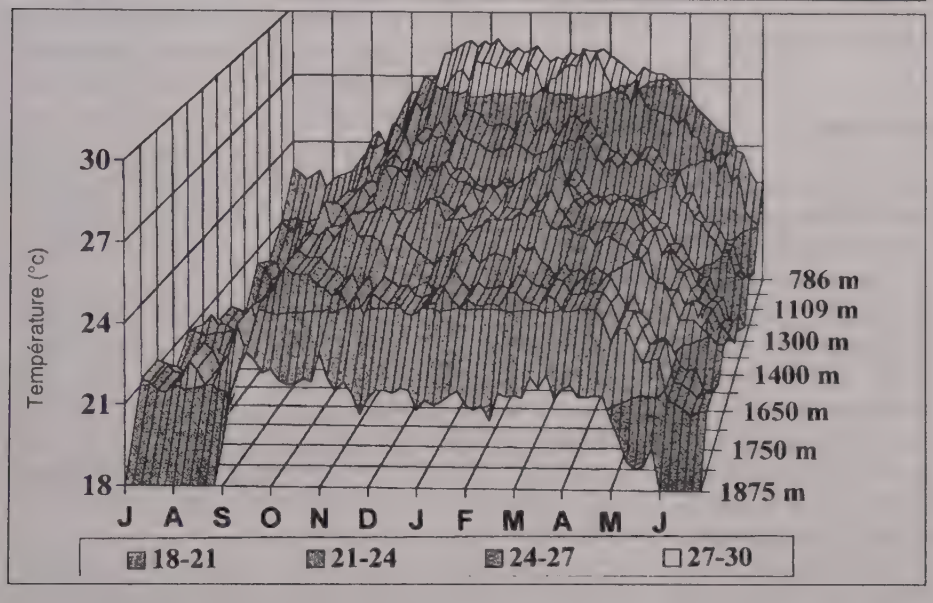


Figure 3. Les températures maximales pentadaires en fonction de l'altitude.

On notera les différences dans les courbes de variation entre les températures minimales et maximales durant les intersaisons. Si les valeurs maximales atteignent et conservent leurs valeurs extrêmes de fin septembre à avril, les valeurs minimales ne le font que de fin décembre à la mi-mars. Cela est à rapprocher des conditions spécifiques des intersaisons où de meilleures insolations favorisent les plus fortes amplitudes thermiques. Ces dernières peuvent alors atteindre des valeurs de 16 °C à 18 °C à ces périodes.

La pluviométrie

La majeure partie des pluies tombe entre le 15 octobre et le 15 avril (figure 4). Les 4 mois les plus pluvieux sont décembre, janvier, février, mars. C'est en décembre que tombent les plus fortes quantités par jour de pluie. La pluviosité annuelle varie de 1 300 mm à 2 000 mm selon l'altitude et l'exposition. En effet, si, à altitude égale, on compare les moyennes des stations situées sur le versant ouest et le versant est de part et d'autre de l'échine sommitale, on constate qu'il pleut plus à l'ouest mais de façon plus concentrée. Cette dissymétrie s'explique par le fait que l'alizé s'est déjà déchargé de son humidité sur les gradins successifs orientaux avant d'aborder les hauts plateaux. Avant de rencontrer l'Ankaratra, il est responsable de la chute d'environ 1 300 mm, mais comme il est plus étalé dans l'année que la mousson, il entretient une ambiance humide constante (rosée, crachins, brouillards). C'est seulement en abordant les fortes pentes de l'Ankaratra (à partir de 1 600 m), qu'il subit une ascendance orographique rapide et se dessaisit alors de son humidité (> 2 000 mm) sur les pentes orientales.

Après avoir dépassé les crêtes, les vents redescendent rapidement sur les pentes occidentales qu'ils réchauffent et nettoient par effet de foehn. C'est alors la mousson qui est responsable des précipitations. Elles sont plus limitées dans l'année mais elles se présentent toujours avec de fortes intensités. L'ascendance orographique aboutit à une cumulification rapide qui dégénère en orages violents. Elle est amplifiée par le fort échauffement thermique (bon ensoleillement) pendant la journée. Les orages les plus violents ont lieu en début et en fin de saison chaude.

La grêle est fréquente sur les hauts plateaux en général et dans le massif de l'Ankaratra en particulier. Elle est à craindre chaque mois mais surtout d'octobre à décembre. Bien que moins fréquente en avril et mai, elle cause souvent de grands ravages au moment des récoltes.

Les autres données climatiques

Les autres données climatiques sont directement influencées par les conditions pluviométriques et de nébulosité précédemment décrites. La durée du jour est la plus élevée pendant la saison des pluies. Cependant, la nébulosité réduit fortement l'ensoleillement de novembre à mars en liaison avec l'altitude et l'exposition. En février, à Antsirabe, l'ensoleillement correspond à 50 % seulement de la durée du jour. Pendant l'année, l'humidité moyenne de l'air suit les variations inverses de l'ensoleillement et cela suivant l'altitude et l'exposition. En saison des pluies, l'hygrométrie moyenne est toujours élevée — de l'ordre de 80 % —, quels que soient les sites. Pendant la nuit, elle varie de 85 % à 95 %, et la journée, elle baisse jusqu'à 60 à 70 %. En saison sèche, on notera une différence plus nette entre les versants ouest et est.

En ce qui concerne le vent, l'absence de relevés sur de nombreux sites interdit toute interprétation multilocale. Cependant, on retiendra les périodes fortement ventées durant les phases dépressionnaires et cyclonales. Celles-ci sont fréquentes de décembre à mars.

La représentativité malgache

Les travaux concernant la riziculture et le froid ont été principalement conduits en Asie. Nous avons repris ici les données des températures minimales rencontrées sur les sites d'expérimentation afin de les comparer aux données malgaches. De plus, nous y avons joint les observations relatives aux stations d'altitude du Burundi. Nous n'avons retenu que les stations les plus marquantes quant à leurs conditions thermiques. Quatre principales catégories peuvent être distinguées (figure 5) :

– les stations proches de l'équateur (courbe 1) où la variabilité interannuelle est très faible (Burundi). Les conditions y sont favorables en début et en fin de cycle ; seuls des problèmes durant la phase reproductive peuvent se présenter ;

– les stations présentant une courbe en cloche beaucoup plus marquée (courbe 2) à cause de la latitude élevée. Les problèmes de froid se rencontrent en début et en fin de cycle mais les conditions durant la phase de reproduction sont favorables. De plus, une réduction de la longueur des cycles permet d'échapper en partie aux contraintes ;

– les stations présentant des courbes de variation similaires à celles de Madagascar (courbe 3). Il s'agit principalement du Népal. Les problèmes de froid s'y rencontrent pendant toute la durée du cycle du riz.

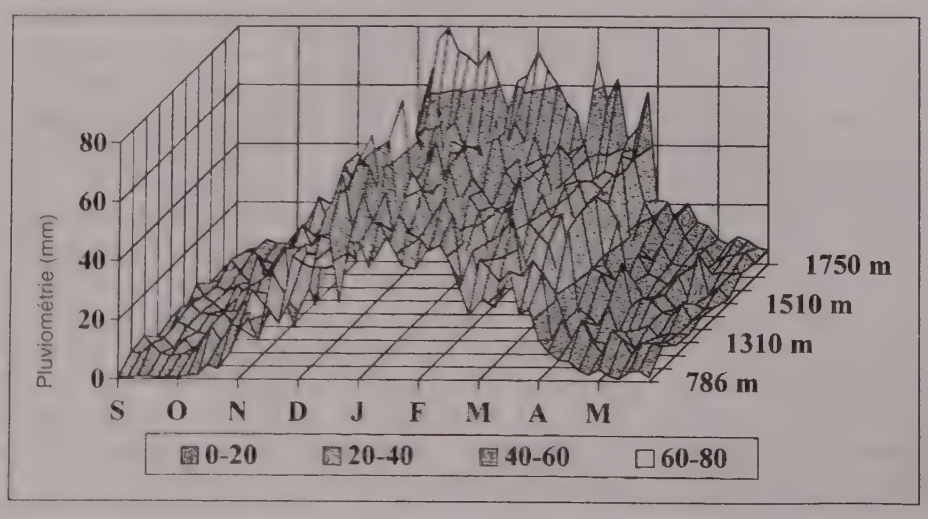


Figure 4. La pluviométrie pentadaire en fonction de l'altitude.

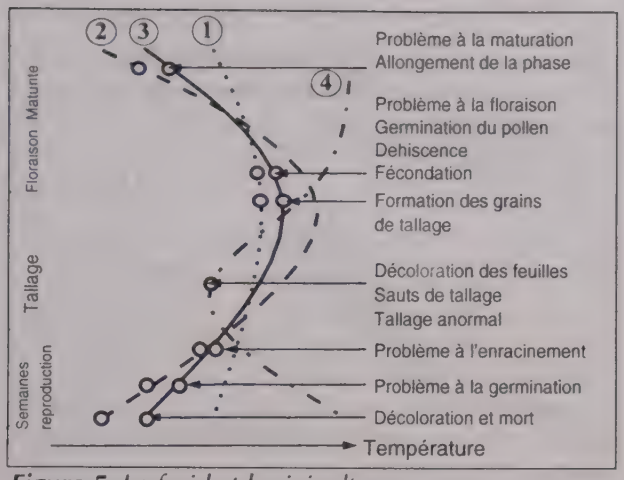


Figure 5. *Le froid et la riziculture.*

– enfin, certains pays pratiquent les cultures de contre-saison, en conditions froides. Dans ce cas, le bon calage du calendrier cultural permet d'échapper aux basses températures durant la phase de reproduction. Des problèmes pourront être rencontrés en cours de tallage (courbe 4).

Ces observations montrent la sélectivité du milieu d'altitude malgache. Des introductions variétales issues de l'Asie ne sont pas nécessairement adaptées aux contraintes locales. Elles peuvent répondre à des contraintes ponctuelles telles que le froid en début de cycle, mais ne satisferont pas à l'ensemble des critères recherchés. Le matériel végétal malgache résistant au froid durant la phase de reproduction pourrait intéresser une large gamme de régions concernées puisque les contraintes y sont parmi les plus sévères.

Les relations plante-climat

Les conditions de température de haute altitude sont limitantes pendant pratiquement toute la durée du cycle du riz. La première observation concerne le retard dans l'accomplissement du cycle de développement (figure 6). Il s'explique à la fois par un retard à l'initiation paniculaire et par un allongement de la phase de maturation. La durée de la phase de reproduction reste constante (25 à 30 jours). Si la diminution de la croissance en hauteur (figure 7), traduite par une plus faible vitesse de croissance, est nettement observée, il semblerait, en revanche, que le tallage soit peu ou pas affecté de façon directe si ce n'est en année fortement sélective. La réduction du tallage est à relier avec les conditions particulières de nutrition minérale rencontrées en altitude. Les rendements présentés par toutes les variétés aquatiques sont nettement dépréciés à haute altitude. Seules, les populations locales, de type *latsika*, parviennent à maintenir un niveau de fertilité des épillets satisfaisants (figure 8). Les causes de la stérilité observée reposent sur une interaction entre les conditions de froid et les attaques de *Pseudomonas fuscovaginae*. En riziculture pluviale, seules, des populations locales étaient cultivées. Les différentes

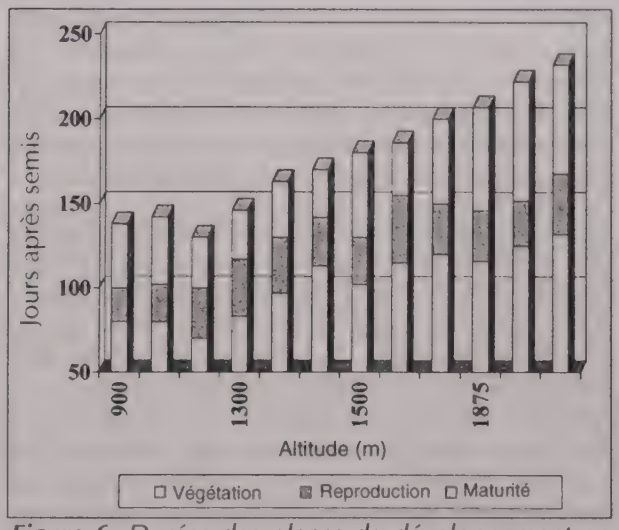


Figure 6. *Durées des places de développement en fonction de l'altitude.*

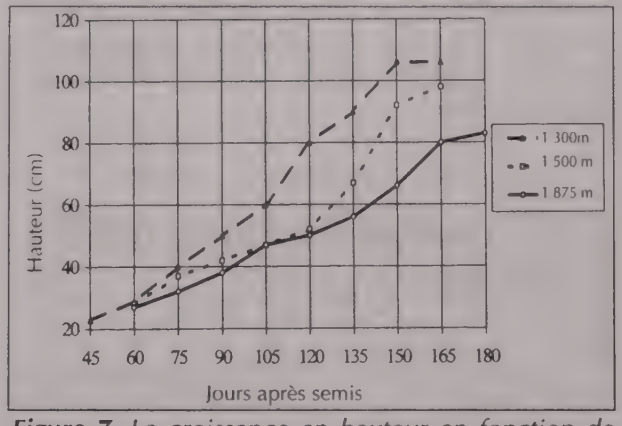


Figure 7. *La croissance en hauteur en fonction de l'altitude.*

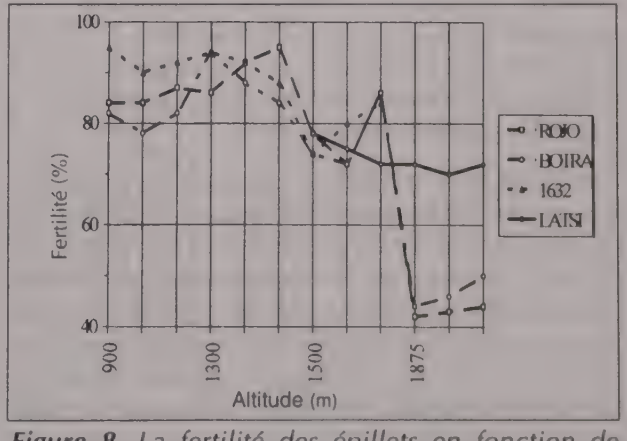


Figure 8. *La fertilité des épillets en fonction de l'altitude.*

contraintes, principalement le froid en phase de reproduction à cause de cycle végétatif trop tardif, les condamnent à de très forts taux de stérilité des épillets, de plus, elles sont très sensibles aux maladies. Le poids moyen des grains est aussi réduit avec l'altitude. Nous n'avons pas pu déterminer si cette réduction était due à un mauvais remplissage des grains et/ou à une diminution de la taille des épillets. Les conditions climatiques interviennent aussi dans les relations plantes-maladies. La répartition spatiale des attaques de pyriculariose, *Pseudomonas fuscovaginae* et *Sarocladium orizae* traduisent ces relations. Elles sont à rapprocher des températures, humidité de l'air, insolation et vent.

Enfin, les conditions pluviométriques peuvent être déficientes. Pour la riziculture pluviale, on retiendra les difficultés de mise en place précoce des cultures à cause d'une mauvaise installation de la saison pluvieuse ainsi que des risques de sécheresse prolongée durant la phase de reproduction. En riziculture aquatique, le mauvais contrôle généralisé de l'eau se traduit par des difficultés fréquentes de mise en eau des rizières. A 1 500 m, suivant les années et les parcelles, les dates de repiquages peuvent s'étaler du 15 novembre au 15 janvier pour les mêmes dates de semis. De plus, le mauvais contrôle de l'eau se traduit par des difficultés de drainage, ce qui entraîne des engorgements excessifs en contre-saison et des inondations en cours de cycle.

Les contraintes dans la fertilité des sols

Les basses températures moyennes observées même pendant la saison chaude constituent la principale contrainte climatique des régions d'altitude. Elles ont pour effet de diminuer d'une manière générale l'activité biologique et microbiologique des sols. Certaines activités microbiennes telles que la dégradation de la cellulose, la fixation d'azote et la nitrification y sont particulièrement sensibles.

L'action globale des basses températures résulte en une moindre maturation de la matière organique du sol et une tendance à l'accumulation de celle-ci. La figure 9 montre que les températures moyennes observées en saison chaude correspondent à une accumulation de la matière organique qui peut être accentuée par l'engorgement. La minéralisation de la matière organique des rizières d'altitude est donc simultanément ralentie par le froid et l'hydromorphie.

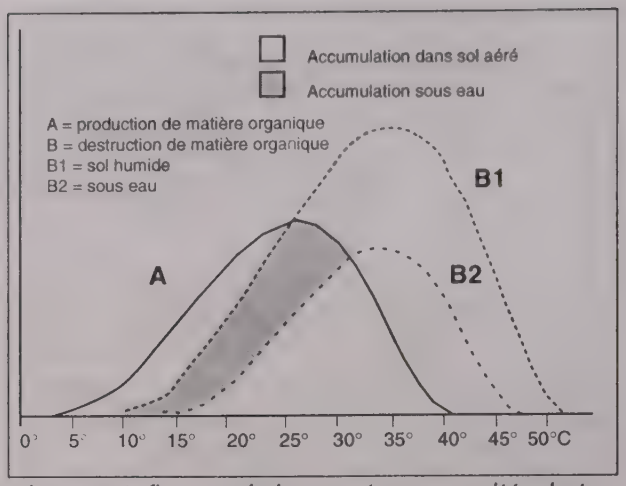


Figure 9. *Influence de la température sur l'évolution de la matière organique.*

D'autres activités microbiennes plus spécifiques aux sols engorgés (conditions d'anaérobiose) sont aussi touchées. En effet, en absence d'oxygène, de nombreuses bactéries hétérotrophes utilisent comme accepteurs finaux d'électrons certains substrats minéraux ou organiques qu'elles réduisent, tels les ions ferriques, manganiques et sulfates transformés respectivement en ions ferreux, manganeux et sulfures (ou H_2S). Les substances réduites libérées peuvent se révéler toxiques pour le riz. Le froid limitant l'activité microbienne, il diminue également la libération de ces substances toxiques et exerce donc à ce niveau une action bénéfique. Seule, la production d'acides organiques (souvent toxiques) due, par exemple, à l'enfouissement d'un engrais vert, semble stimulée par les basses températures. Le froid peut aussi limiter la libération d'éléments nutritifs dans la solution du sol, l'exemple du phosphore est bien connu, les basses températures diminuent sa capacité d'assimilation. Cet exemple illustre bien l'importance de l'activité microbienne sur la libération du phosphore minéral à partir, soit de la fraction organique (minéralisation), soit de la fraction minérale fixée sur les hydroxydes de fer ferrique (réduction bactérienne).

Le choix des sites d'expérimentation

La figure 10 traduit les conditions de températures moyennes rencontrées sur les sites d'expérimentation choisis en début de projet. La variabilité rencontrée sur ces sites permettait de reconstituer une gamme de supports d'étude nécessaire à l'évaluation variétale, à la

caractérisation des contraintes et aux premières approches agronomiques. Cette gamme s'étendait de 786 à 1 510 m d'altitude pour la riziculture pluviale, et de 786 à 1 875 m pour la riziculture aquatique.

Il fut ensuite décidé d'intensifier les efforts de recherche sur les zones où les problèmes rencontrés sont directement en relation avec les conditions spécifiques d'altitude. Deux sites principaux ont fait l'objet d'étude : la région d'Antsirabe (1 400 à 1 600 m) pour la riziculture pluviale, et la plaine de Vinaninony (1 875 m) pour la riziculture aquatique. Les figures 11 et 12 traduisent les conditions climatiques de ces régions en relation avec les calendriers culturaux et les cycles de développement. Pour les deux types de riziculture, ces conditions peuvent être considérées comme extrêmes. Elles se traduiront par des difficultés de calage de cycle avec l'obligation de semis les plus précoces possibles afin d'éviter le froid durant les phases de reproduction et de maturation.

Conclusion

La climatologie d'altitude à Madagascar est le principal facteur limitant au développement de la riziculture pluviale et aquatique. Les actions dépressives des températures sont soit directes (problèmes de croissance et de développement, stérilité des épillets, remplissage des grains), soit indirectes par l'intermédiaire des relations entre la plante et son milieu (sensibilité accrue aux

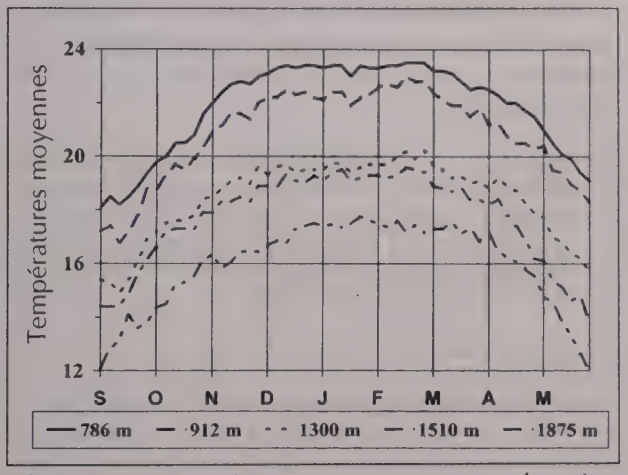


Figure 10. *Températures moyennes sur les sites d'essai.*

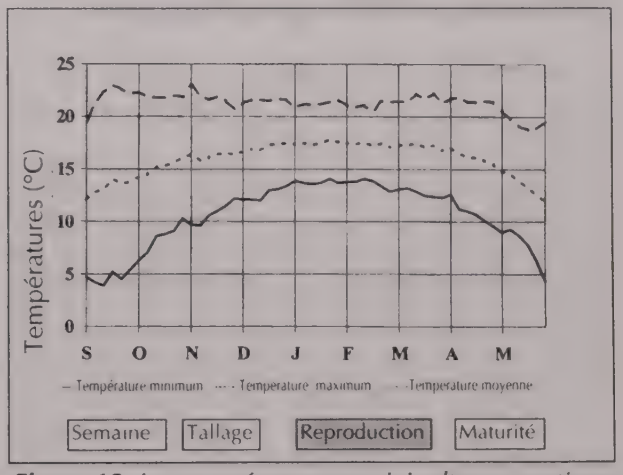


Figure 12. *Les températures en riziculture aquatique d'altitude à Vinaninony (1 875 m).*

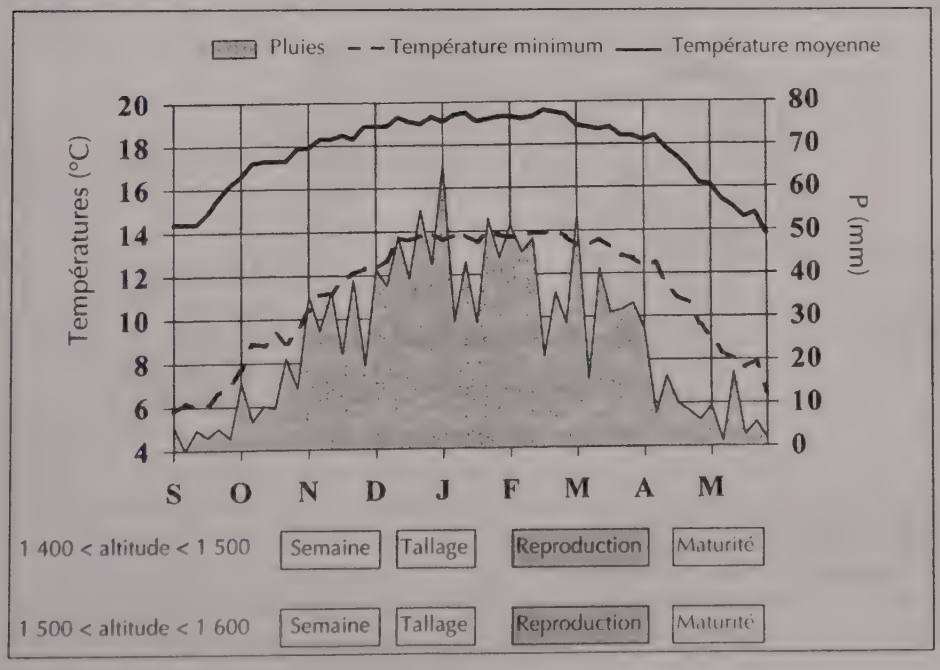


Figure 11. *Les conditions climatiques en riziculture pluviale.*

maladies, nutrition minérale déficiente). Le choix des sites d'expérimentation laisse apparaître une large représentativité des résultats obtenus sur le plan national d'une part, et international, d'autre part. Les innovations variétales et techniques peuvent intéresser (figure 13) :

– les régions de riziculture tropicale d'altitude essentiellement aquatique (Chine, Népal, Afrique centrale) ;

– les régions de riziculture tropicale d'altitude pluviale et irriguée (Asie, cordillère des Andes, Afrique de l'Est, Amérique centrale) ;

– les régions de riziculture subtropicale ou tempérée (froid dû à la latitude élevée), pluviale et irriguée (sud de l'Europe, Europe centrale, Asie, sud de l'Amérique du Sud).

Références bibliographiques

CHABANNE A., rapports de campagnes de 1985 à 1995, rapports semestriels, analytiques et finaux destinés à la CEE. FOFIFA/CIRAD.

CHABANNE A., ROLLIN D., 1990. L'environnement et la riziculture d'altitude à Madagascar. *In* Comptes rendus du séminaire sur les contraintes liées à la riziculture d'altitude et l'amélioration variétale. Bujumbura, Burundi, 18-23 avril 1990. J. Bouharmont et J.-P. Tilquin (éditeurs), Louvain-la-Neuve, Belgique, université catholique de Louvain, p. 29-44.

DE GIUDICI P., 1991. Facteurs limitants de la fertilité des sols malgaches d'altitude, laboratoire des radio-isotopes, université de Madagascar, avril 1991.

DE GIUDICI P., 1991. Physico-chimie et fertilité des sols rizicultivés malgaches d'altitude, communication présentée au séminaire sur les contraintes liées à la riziculture d'altitude. Antananarivo, Madagascar, avril 1991.

International Rice Research Institute, 1979. Report of a rice cold tolerance workshop, IRRI, 1979, 139 p.

RAUNET M., 1981. Le milieu physique de la région volcanique Ankatra-Vakinankaratra-Itasy, aptitudes à la culture du blé pluvial. République démocratique malgache, ministère du développement rural et de la réforme agraire. IRAT pédologie, 64 p.

Service de la météorologique agricole et de l'hydrologie, 1988. Etude climatique des régions d'altitude à Madagascar. Ministère des transports, de la météorologie et du tourisme, direction de la météorologie nationale, 202 p.

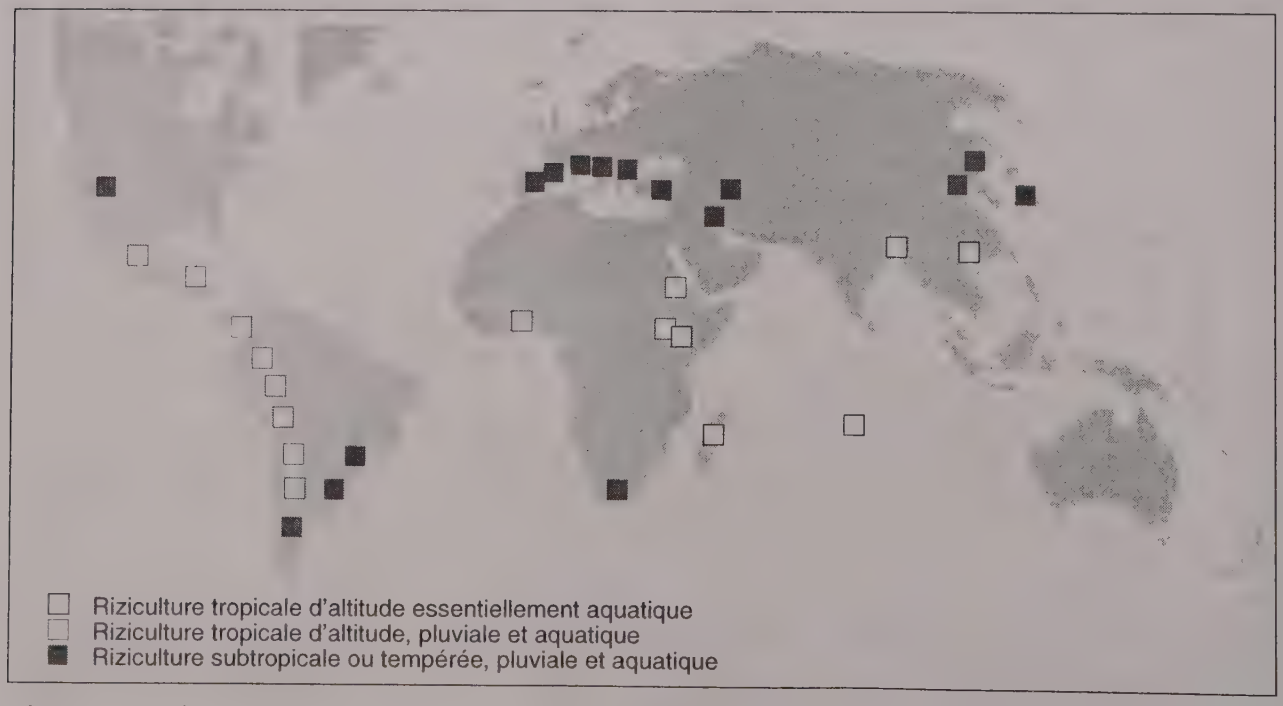


Figure 13. *Exploitation possible des résultats obtenus à Madagascar.*

POISSON C., RAKOTOARISOA J., (édit.), 1997
Riziculture d'altitude
Actes du séminaire riziculture d'altitude,
29 mars-5 avril 1996, Antananarivo, Madagascar.
Colloques, CIRAD-CA, Montpellier, France, 272 p.

Comportement multilocal et pluriannuel des nouvelles variétés de riz pluvial d'altitude à Madagascar

A. CHABANNE[1], M. RAZAKAMIARAMANANA[2]
1. CIRAD-CA, BP 853, Antananarivo, Madagascar
2. FOFIFA/DRR, BP 1690, Antananarivo, Madagascar

Résumé — Depuis quatre campagnes, un réseau d'essais multilocaux a été installé afin de confirmer le bon comportement de nouvelles variétés pluviales et d'en vérifier la plasticité. Cinq sites d'expérimentation ont été retenus en fonction de leur altitude, des caractéristiques physico-chimiques des sols et de la fertilité. Une population locale, deux variétés diffusées en 1991, deux autres diffusées en 1994 et quatre autres proposées en 1996 ont été testées. Les résultats obtenus montrent la validité des sites retenus, les limitations de la population locale et des premières variétés diffusées. Parmi les nouvelles proposées, deux variétés sont fortement intéressantes, FOFIFA 133 et 152, dont les potentialités sont supérieures à 5 t/ha. Deux autres pourraient aussi répondre à des demandes spécifiques en ce qui concerne les types de grain et de hauteur de paille. Une amélioration variétale est encore nécessaire pour la précocité, les formats de grains et la résistance à la pyriculariose.
Mots-clés : Madagascar, riz pluvial, froid, essai variétal multilocal.

Objectifs

Il s'agit d'apprécier le comportement des nouvelles variétés criblées et créées dans le cadre du programme. Pour cela, un dispositif multilocal et pluriannuel a été mis en place. Le descriptif des sites et des variétés retenus est présenté. Il s'agira d'apprécier, d'une part, la validité et la représentativité des supports agronomiques choisis (types de sol, altitudes et traitements agronomiques) et l'intérêt des variétés sélectionnées en fonction de leur comportement multilocal et pluriannuel comparativement aux variétés locales et aux premières variétés diffusées. Il conviendra de vérifier leur meilleur niveau de productivité ainsi que leur plasticité. Les variétés diffusées devront répondre favorablement à l'ensemble des contraintes rencontrées en zone d'altitude (1 400 à 1 600 m).

Il faut souligner que c'est la première fois dans le monde que la riziculture pluviale est pratiquée à ces altitudes. L'enjeu est important puisque cette pratique concerne une large gamme de régions tropicales d'altitude et subtropicales, ou tempérées de latitude élevée.

Matériel et méthodes

Nous décrirons ici les expérimentations et les résultats obtenus durant la campagne 1994-1995 (CHABANNE, 1995).

Le dispositif expérimental

Cinq sites ont été retenus et seront décrits par la suite. Sur chacun de ces sites, un essai de type Split-plot à 4, 5 ou 6 répétitions a été installé. En sous-blocs, des traitements portant sur la fertilisation minérale (doses et formes) ont été réalisés. Les parcelles élémentaires correspondant aux variétés représentent 10 m^2. Les rendements sont évalués par les pesées parcellaires alors que les facteurs du rendement sont estimés par l'intermédiaire de prélèvements de 1 m^2 (25 touffes), au sein de chaque parcelle.

Sur chacun des sites, un certain nombre de techniques culturales communes ont été conduites :
– précédent cultural légumineuses, soja récolté ou en engrais vert et haricot ;
– labour de fin de cycle (juin 1994) ;
– apport de fumier à la reprise de labour (septembre 1994), de 5 à 10 t/ha ;
– apport au semis de la fertilisation minérale de façon généralisée ;
– traitement insecticide généralisé au semis à base de Lindane (4 kg de /ha de matière active) ;
– semis aux poquets 0,20 x 0,20 m à raison de 4-5 graines par poquet ;
– traitement herbicide de pré-émergence à l'Oxadiazon à raison de 750-100 g/ha ;
– desherbages manuels à la demande ;
– apports de 30 unités d'azote en couverture sur les traitements le nécessitant ;
– traitements insecticides préventifs en couverture à base de Diazinon ou de Carbofuran.
Les traitements de fertilisation minérale ont été les suivants :
– F0, aucun apport ;
– F1, 60 (30+30)-60-60 unités de N-P-K sous formes d'urée, KCl et Hyper Réno ;
– F2, 30-30-30 unités de N-P-K sous formes d'urée, KCl et Hyper Réno ;
– F3, 60 (30+30)-60-60 unités de N-P-K sous formes de phosphate d'ammoniaque, urée et KCl.

Les sites d'expérimentation

Les 5 sites retenus ont été choisis en fonction des critères suivants. Il s'agit de reconstituer une gamme de supports agronomiques reposant sur la variabilité naturelle des hauts plateaux à partir des éléments suivants :
– l'altitude ;
– les caractéristiques physico-chimiques des sols ;
– leur fertilité culturale en fonction de l'historique des parcelles.

Le tableau I traduit cette variabilité des supports.

Ces sites ont été choisis à partir des résultats antérieurs et des discussions avec nos partenaires du développement.

Les variétés

Dix variétés ont été choisies. Le tableau II traduit leurs caractéristiques.

La population locale, Botramaitso, est représentative des variétés et des populations traditionnellement cultivées dans la région au début du projet. Son comportement se traduit par une grande tardiveté pour accomplir son cycle de développement, une sensibilité au froid (stérilité des épillets) de fin de cycle, auquel sa tardiveté la soumet, sa sensibilité

Tableau II. Caractéristiques des variétés testées au sein du réseau multilocal. Les variétés témoins des essais sont en caractères gras.

Variétés	Parents	FOFIFA
Botramaitso	Locale	
3406	**IAC 25 Daniela**	**62**
3460	**IAC 25 RST25T**	**116**
C8-F46/9/8	Latsidahy Fofifa 62	133
C8-F109/2/9	Latsidahy Fofifa 62	134
C2-F99-Bulk/2	Lasidahy Shin Eï	151
C8-F180/9/4/5	Latsidahy Fofifa 62	152
C29-F189/3/1/3	Latsibavy Daniela	153
C30-F149/9/3/5	Latsibavy Fofifa 62	154

Tableau I. Caractéristiques des sites d'expérimentation.

Sites	Altitude	Sols	Fertilité
Betafo	1 400 m	Andosols-lithosols sur coulées volcaniques récentes	++
Talata	1 500 m	Ferrallitiques fortement désaturés sur volcanisme ancien	+++
Ibity	1 600 m	Ferrallitiques fortement désaturés sur migmatite avec érosion et remaniement	0
Fifamanor et Kobama	1 600 m	Alluvions volcano-lacustres	++ +

aux maladies rencontrées et son très fort développement végétatif, au détriment de la fertilité des épillets, sur les bons supports agronomiques. Les rendements maxima obtenus en essais sont de 2 t/ha. Au moindre problème (sécheresse, froid, maladies), ses niveaux de production sont inférieurs à 500 kg/ha.

FOFIFA 62 et 116 n'ont pas été créées dans le cadre du projet. Elles sont issues d'un programme antérieur. Cependant, la première phase de criblage du projet a révélé leur intérêt pour la zone d'altitude. Elles font donc partie d'un lot de 3 variétés diffusées en 1991. Elles correspondent à un premier palier d'amélioration variétale et leurs potentialités de production s'élèvent à plus de 3 t/ha. Elles constituent en fait les deux témoins de cycle différent des essais.

FOFIFA 133 et 134 sont les deux lignées fixées et créées par le projet. Elles constituent le deuxième niveau de productivité qui dépasse les 5 t/ha.
FOFIFA 151, 152, 153 et 154 viennent compléter la variabilité phénotypique assurant des niveaux de productivité élevés. Cette variabilité repose sur les éléments suivants :
– les longueurs des cycles de développement ;
– le type de plante (hauteur des plantes et tallage fertile) ;
– le type de grains (de rond à demi-long) ;
– le nombre de grains par unité de surface (tallage fertile et nombre de grains par panicule).

La durée des cycles de développement est représentée par le tableau III.

Tableau III. Durées (en jours) des cycles semis-maturité des variétés sur deux sites (Talata, 1 500 m et Kobama, 1 600 m). Les variétés témoins des essais sont en caractères gras.

Variétés	Talata	Kobama
62	**145**	**146**
116	**166**	**174**
133	150	158
134	162	166
151	158	175
152	148	152
153	162	175
154	154	165

On remarquera que le matériel créé n'est pas plus précoce que FOFIFA 62. Ce point est déterminant et montre la difficulté à créer du matériel précoce pour ces écologies. Cependant, les nouvelles introductions (au Népal), récemment réalisées, laissent espérer une amélioration de la précocité du nouveau matériel en voie de création.

Le comportement moyen des variétés au cours de leur production et les facteurs de rendement sont présentés au tableau IV, réalisé à partir des résultats des 4 dernières campagnes (CHABANNE, 1992, 1993, 1994, 1995). Ce tableau montre aussi les coefficients de variation obtenus. Ceux-ci représentent les niveaux de plasticité du matériel diffusé ou en voie de l'être, objectif prioritaire de la recherche.

Tableau IV. Comportement moyen pluriannuel des variétés (moyennes et coefficients de variation). Les variétés témoins des essais sont en caractères gras.

Variétés	Rendements (kg/ha)		Panicules par plante	Poids de 100 grains (g)	Nombre de grains	Fertilité (%)	Grains par panicule
62	**Moyenne**	**2 381**	**7,0**	**3,41**	**9 773**	**63**	**59**
	CV	**45**	**42**	**8,4**	**41**	**32**	**30**
116	**Moyenne**	**2 232**	**8,1**	**3,14**	**13 424**	**54**	**65**
	CV	**61**	**28**	**7,3**	**29**	**46**	**28**
133	Moyenne	3 397	10,2	2,98	18 808	74	75
	CV	37	26	6,1	29	11	22
134	Moyenne	3 158	10,2	3,53	16 774	67	66
	CV	46	26	9,6	34	21	26
151	Moyenne	3 013	9,9	2,39	19 555	81	78
	CV	45	28	6,3	37	9	22
152	Moyenne	3 236	12,0	2,89	20 280	67	69
	CV	43	30	6,2	31	16	25
153	Moyenne	2 421	10,7	2,83	15 676	71	59
	CV	36	33	7,9	37	12	24
154	Moyenne	3 146	11,5	3,12	20 814	60	73
	CV	49	26	10,5	31	23	26

CV : coefficient de variation

La variabilité phénotypique recherchée est bien acquise. FOFIFA 62 et 116 voient leurs rendements limités du fait d'un faible nombre de grains par m^2 et d'une plus faible fertilité des épillets. Celle-ci accuse un important coefficient de variation. Ces mêmes composantes sont meilleures pour toutes les nouvelles variétés. On notera les différences de format des grains, allant des grains ronds, avec FOFIFA 151 (2,34 g), aux grains demi-longs de FOFIFA 134 (3,53 g).

Les résultats obtenus durant la campagne 1994-1995 précisent le comportement multilocal du matériel végétal.

Résultats et discussion

Remarques

La climatologie durant la campagne 1994-1995 s'est caractérisée par deux périodes de sécheresse, en début de cycle et en cours de phase de reproduction (20 février-20 mars). Les conditions limitantes en début de cycle ont eu pour conséquences de mauvaises conditions de germination et de levée. De ce fait, les hétérogénéités entre les sous-blocs et la limitation de la croissance en tallage n'ont pas permis de mettre en évidence des différences significatives entre les niveaux de fertilisation minérale. Nous nous attacherons donc à étudier le comportement moyen des variétés par site.

Enfin, la sélectivité de la campagne a fortement limité les niveaux de production de la population locale, Botramaitso. Elle n'a été récoltée que sur deux sites, Talata et Betafo, les deux sites de moyenne altitude. Les rendements obtenus ont été respectivement de 1,7 t/ha et 2,2 t/ha. A plus haute altitude, la stérilité très forte des épillets a interdit toute production.

Les sites d'expérimentation

Le tableau V traduit le comportement moyen observé sur chaque site. On remarquera que le site de Talata constitue le meilleur support agronomique. Malgré la sélectivité de la campagne, les rendements moyens obtenus sont de 4,5 t/ha. Comparativement à ce site témoin, on pourra distinguer 3 situations :
– le site d'Ibity, où les conditions de croissance ont été fortement limitantes (nombre de grains par m^2) ;
– le site de Kobama, où la croissance a été moins fortement limitée mais où l'altitude et le froid ont induit une plus forte stérilité des épillets ;
– enfin, les sites de Betafo et Fifamanor, de comportement moyen et limité dans les nombres de grains par m^2.

Malgré les difficultés de mise en place de la campagne, le dispositif multilocal a permis de reconstituer la gamme de supports recherchée.

Le comportement des témoins

Les deux témoins sont équivalents à Talata et Ibity (tableau VI). Sur le premier site, les conditions pédologiques et climatiques ont été favorables et les deux variétés ont exprimé leur potentiel (> 3 t/ha). A Ibity, les conditions de croissance ont été déficientes et les rendements peu élevés.

A Fifamanor et à Betafo, FOFIFA 116 a été nettement supérieure à FOFIFA 62 grâce à un plus grand nombre de grains par m^2 et à une meilleure

Tableau VI. Les rendements de FOFIFA 62 et 116 sur chacun des sites (kg/ha).

Sites	FOFIFA 62	FOFIFA 116	Meilleur
Talata	3 346	3 202	62
Betafo	1 836	2 815	116
Ibity	1 630	1 555	62
Kobama	1 775	745	62
Fifamanor	1 240	2 101	116

Tableau V. Les rendements et les facteurs du rendement moyen observés sur chaque site.

Sites	Rendements (kg/ha)	Panicules par plante	Poids de 100 grains (g)	Nombre de grains par m^2	Fertilité (%)	Grains par panicule
Ibity	1 519	5,9	2,73	7 943*	80	56
Fifamanor	2 032	9,5	2,97	17 077*	68	73
Kobama	2 410	11,7	2,97	17 439*	56*	61
Betafo	2 473	9,0	2,90	15 843*	72	71
Talata	4 528	12,5	3,08	23 592	70	76

* : principales différences par rapport au site de Talata

fertilité des épillets sur Fifamanor. FOFIFA 62 a présenté sa période de reproduction en pleine sécheresse.

Sur la ferme Kobama, la tardiveté de FOFIFA 116 a situé la période de reproduction en pleine sécheresse avec des températures froides. La fertilité des épillets en a beaucoup souffert.

Ces différentes remarques traduisent les difficultés de choix de la variété témoin. Pour la suite, les nouvelles variétés seront comparées au meilleur témoin. Ces difficultés se rencontrent dans le développement. Malgré le comportement globalement meilleur des variétés diffusées, en 1991, par rapport aux variétés locales, il est difficile, *a priori*, de conseiller l'une ou l'autre du fait de leur variabilité de comportement.

Les variétés

Le site d'Ibity

Le comportement des variétés est d'abord étudié sur chaque site et dans l'ordre croissant des rendements moyens observés.

Dans les conditions de mauvaise croissance traduites par un faible tallage fertile, les variétés ne présentent pas de différences significatives par rapport aux témoins (tableau VII). Tous les comportements ont été fortement limités par les contraintes pluviométriques.

Seule la variété FOFIFA 152 est significativement supérieure à la variété FOFIFA 153.

Le site de Fifamanor

Dans ces conditions de mauvaise croissance (tableau VIII), deux variétés sont supérieures au meilleur témoin, FOFIFA 133 et 152. Toutes sont supérieures à FOFIFA 62.

Tableau VII. Classement des variétés sur le site d'Ibity. Test de Newman-Keuls au seuil de 5 %. Les variétés témoins des essais sont en caractères gras.

Site d'Ibity Variétés	Moyennes	Groupes homogènes
152	1 802	A
151	1 652	AB
62	**1 630**	**AB**
116	**1 555**	**AB**
154	1 473	AB
133	1 428	AB
134	1 338	B
153	1 271	B

Le site de Kobama

Dans les conditions d'altitude où la stérilité des épillets due au froid a limité les rendements (tableau IX), toutes les variétés — sauf FOFIFA 154 — ont montré un comportement supérieur aux témoins. FOFIFA 152, variété seule en tête, présente des niveaux de production voisins de 3,5 t/ha.

Le site de Betafo

FOFIFA 151, 154, 133 et 152 sont équivalentes au meilleur témoin, FOFIFA 116 (tableau X). Les niveaux de rendement sont intéressants. FOFIFA 151 avoisine les 3 t/ha.

Le site de Talata

Les témoins FOFIFA 62 et 116 sont pratiquement à leur maximum productif (tableau XI). Ce site reproduit bien les potentialités des variétés. Dans ces conditions, l'ensemble du matériel créé, sauf FOFIFA 153, se révèle nettement supérieur aux témoins. Les niveaux de production obtenus sont hautement intéressants puisque 4 variétés dépassent les 5 t/ha.

Tableau VIII. Classement des variétés sur le site de FIFAMANOR. Test de Newman-Keuls au seuil de 5 %. Les variétés témoins des essais sont en caractères gras.

Site de FIFAMANOR Variétés	Moyennes	Groupes homogènes
133	2 541	A
152	2 524	A
154	2 252	B
116	**2 102**	**B C**
134	1 971	C D
153	1 816	D
151	1 805	D
62	**1 240**	**E**

Tableau IX. Classement des variétés sur le site de Kobama. Test de Newman-Keuls au seuil de 5 %. Les variétés témoins des essais sont en caractères gras.

Site de Kobama Variétés	Moyennes	Groupes homogènes
152	3 499	A
133	3 120	B
151	3 012	B
153	2 696	C
134	2 412	C
154	2 022	D
62	**1 775**	**D**
116	**745**	**E**

Tableau X. Classement des variétés sur le site de Betafo. Test de Newman-Keuls au seuil de 5 %. Les variétés témoins des essais sont en caractères gras.

Site de Bafato		
Variétés	Moyennes	Groupes homogènes
151	2 951	A
154	2 863	AB
116*	**2 814**	**AB**
133	2 577	ABC
152	2 524	ABC
BOT	2 267	BCD
134	2 170	CD
153	2 049	CD
62*	**1 836**	**D**

Tableau XI. Classement des variétés sur le site de Talata. Test de Newman-Keuls au seuil de 5 %. Les variétés témoins des essais sont en caractères gras.

Site de Talata		
Variétés	Moyennes	Groupes homogènes
152	5 515	A
133	5 397	A
154	5 353	A
151	5 000	A
134	4 808	A
153	3 604	B
62	**3 346**	**B**
116	**3 202**	**B**
BOT	1 702	C

FOFIFA 151, 154, 133 et 152 sont équivalentes au meilleur témoin, FOFIFA 116 (tableau XI). Les niveaux de rendement sont satisfaisants. FOFIFA 151 avoisine les 3 t/ha.

Interprétation multilocale

Le tableau XII traduit le comportement moyen des variétés.

Les rendements moyens des nouvelles variétés sont tous supérieurs à ceux des témoins. Ils s'expliquent par un plus grand nombre de grains par m² (sauf FOFIFA 153) et, pour FOFIFA 133, 151 et 152, par une meilleure fertilité des épillets.

Nous avons réalisé des régressions linéaires entre les rendements de chaque variété sur chaque parcelle élémentaire et les rendements de FOFIFA 62, cela, afin d'en apprécier la validité multilocale (tableau XIII).

Ces résultats traduisent bien les comportements moyens que l'on peut classer en 5 types :
– FOFIFA 133 et 152 présentent dès les faibles supports de meilleurs rendements que FOFIFA 62 (constante) et cette différence augmente fortement (coefficient) avec l'amélioration des conditions de croissance (figure 1) ;
– FOFIFA 134 présente des rendements supérieurs, mais de façon moins spectaculaire sur les faibles supports, et une courbe de croissance selon la qualité des supports parallèle à celle de FOFIFA 62 (figure 2) ;
– FOFIFA 151 valorise moins bien les mauvais supports mais valorise au mieux toute amélioration (figure 2) ;
– FOFIFA 153, très intéressante sur les faibles niveaux de production, mais supporte mal toute amélioration du support où elle sera limitée par le nombre de grains par m² (figure 3) ;
– FOFIFA 154 ne valorise que les bons supports agronomiques du fait des problèmes de fertilité des épillets (figure 3).

Tableau XIII. Régressions linéaires entre les rendements présentés par les variétés et ceux de FOFIFA 62.

Variétés	R^2	Constante	Coefficient
133	0,60	800	1,18
134	0,57	585	1,03
151	0,66	472	1,27
152	0,63	787	1,26
153	0,51	945	0,73
154	0,63	41	1,41

Tableau XII. Rendements et facteurs du rendement moyen observé durant la campagne 1994-1995. Les variétés témoins des essais sont en caractères gras.

Variétés	Rendements (kg/ha)	Panicules par plante	Poids de 100 grains (g)	Nombre de par m²	Fertilité (%)	Grains par panicule
62	**1 965**	**7,4**	**3,2**	**11 711**	**63**	**65**
116	**2 084**	**8,7**	**3,07**	**13 269**	**61**	**62**
133	3 013	9,9	2,91	17 495	74	70
134	2 540	10,0	3,24	15 748	67	63
151	2 884	9,6	2,37	18 578	83	77
152	3 173	11,6	2,81	19 915	71	71
153	2 288	10,0	2,80	14 684	73	58
154	2 793	10,7	2,98	19 630	62	74

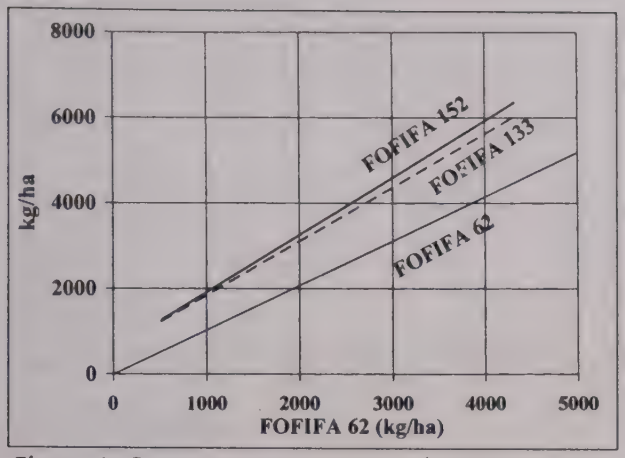


***Figure 1**. Comportements moyens de FOFIFA 133 et 152 comparés à FOFIFA 62.*

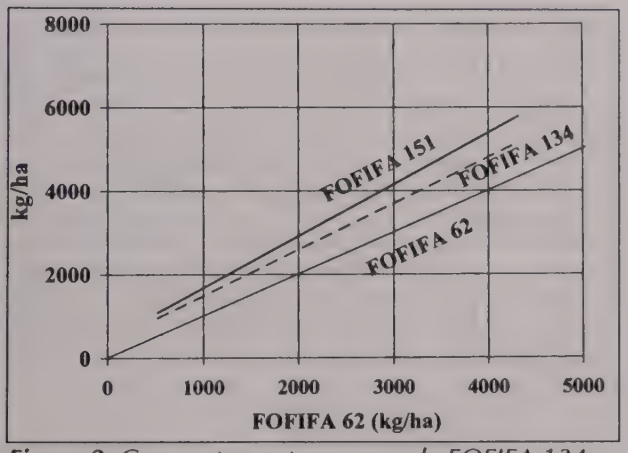


***Figure 2**. Comportements moyens de FOFIFA 134 et 151 comparés à FOFIFA 62.*

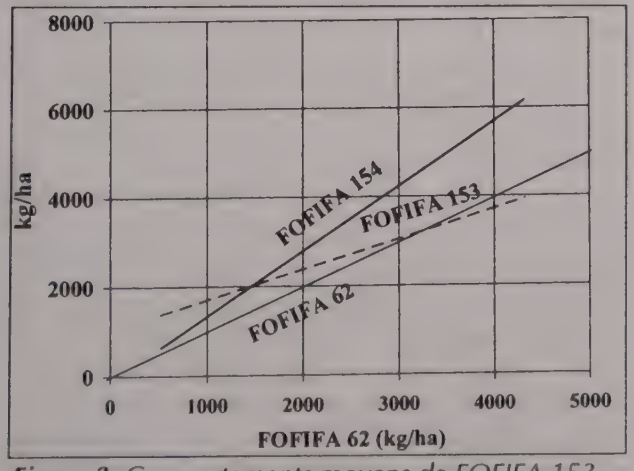


***Figure 3**. Comportements moyens de FOFIFA 153 et 154 comparés à FOFIFA 62.*

Nous ne retiendrons que 4 variétés, FOFIFA 133, 134, 151 et 152 répondent aux objectifs fixés. Quels que soient les supports, elles sont équivalentes ou supérieures aux témoins. FOFIFA 152 et 133 sont les plus intéressantes. Cependant, FOFIFA 134 est à conserver et à proposer à la vulgarisation du fait de son format de grain. Quant à FOFIFA 151, elle semble bien valoriser les hauts niveaux de productivité. Malgré son grain de format petit-rond, elle peut être proposée dans le cadre d'une intensification et une mécanisation de la culture (paille courte).

FOFIFA 153 et 154 présentent une moins bonne plasticité. Il convient d'être prudent dans leur diffusion.

Conclusion

Parmi les nouvelles variétés créées et évaluées en situation multilocale, nous proposons pour la vulgarisation d'insister principalement sur FOFIFA 152 et 133. Cependant, on prendra soin d'assurer une multiplication de FOFIFA 151 et 134 afin de répondre à des besoins spécifiques.

Ces premières variétés — bien qu'elles montrent un comportement très intéressant — présentent des faiblesses pour ce qui est des éléments suivants :
– longueur de cycle de développement ;
– format des grains ;
– résistance à la pyriculariose.

De nouveaux croisements ont été réalisés à partir de matériel nouvellement introduit. Ils devraient permettre la création d'un nouveau matériel plus satisfaisant. Un nouveau palier sera alors franchi et les objectifs seront pleinement atteints.

Références bibliographiques

CHABANNE A., 1992. rapport de campagne 1991-1992, volet agronomie, FOFIFA/CIRAD, 169 p.

CHABANNE A., 1993. Rapport de campagne 1992-1993, volet agronomie, FOFIFA/CIRAD, 186 p.

CHABANNE A., 1994. Rapport de campagne 1993-1994, volet agronomie, FOFIFA/CIRAD, 168 p.

CHABANNE A., 1995. Rapport de campagne 1994-1995, volet agronomie, FOFIFA/CIRAD, 182 p.

POISSON C., RAKOTOARISOA J., (édit.), 1997.
Riziculture d'altitude
Actes du séminaire riziculture d'altitude.
29 mars-5 avril 1996, Antananarivo, Madagascar.
Colloques, CIRAD-CA, Montpellier, France, 272 p.

Bilan des programmes européens sur la riziculture d'altitude

J. BOUHARMONT
Université catholique de Louvain, laboratoire de cytogénétique, Louvain-la-Neuve, Belgique

Résumé — Cette communication donne un aperçu des objectifs des programmes européens concernant la riziculture d'altitude et des résultats obtenus. Les travaux entrepris dans les différents pays participant aux projets ont conduit à des résultats significatifs, autant pour leur contribution à la recherche fondamentale que pour leurs applications concrètes à la riziculture sur le terrain. Toutes les voies tracées dans les programmes ont été abordées et approfondies. Après la clôture de ces programmes, la collaboration devrait se poursuivre sur la base d'une meilleure répartition des activités et des responsabilités.
Mots-clés : agrophysiologie, amélioration génétique, coopération, formation, phytopathologie, variation somaclonale.

Les premiers programmes STD concernant cette riziculture ont débuté en 1984 par des projets introduits en ordre dispersé ; ils intéressaient quatre pays : la Belgique, la France, le Burundi et Madagascar. Au cours de cette première période, des contacts et un début de coopération se sont établis spontanément entre les participants. Ces contacts ont été fructueux, surtout parce qu'ils ont permis l'élaboration de projets communs et une participation importante aux deuxième et troisième programmes européens. C'est essentiellement le bilan de ces huit dernières années que je voudrais maintenant esquisser.

Le programme prévu pour STD3 était fondé sur les résultats déjà acquis en 1992 ; il peut donc servir de référence pour évaluer l'ensemble des programmes. Les différentes voies abordées ont conduit à des recherches plus ou moins approfondies, mais aucune proposition initiale n'a été négligée ou abandonnée. Les investigations les plus poussées sont celles qui étaient destinées à l'élaboration de thèses et qui ont effectivement abouti à des doctorats. Les communications présentées pendant ce séminaire décrivent de façon plus détaillée les résultats des recherches entreprises par chaque partenaire. Mon but ici est donc d'essayer d'en faire une synthèse rapide et un premier bilan, qui sera développé prochainement dans un rapport final.

Le premier point du programme concernait l'induction et la sélection de mutants tolérants aux basses températures par l'utilisation des cultures *in vitro,* ainsi que la caractérisation de cette tolérance. La variation induite par la culture *in vitro* et la sélection appliquée au niveau des cellules ont effectivement abouti à l'isolement de nombreuses lignées améliorées de façon stable pour la tolérance au froid. Cultivées en phytotron et dans les marais d'altitude au Burundi, ces lignées sont caractérisées par une meilleure fertilité et une production supérieure à celle des variétés d'origine soumises aux mêmes contraintes. Des modifications se manifestent au niveau de l'appareil photosynthétique, de la résistance et de la composition en acides gras des membranes cellulaires. La conclusion la plus originale de ce travail est sans doute la diversité des modifications induites dans la physiologie de ces lignées sélectionnées : la tolérance au froid est un caractère quantitatif et de nombreuses mutations peuvent intervenir dans son expression.

Par ailleurs — à la suite de séjours à haute altitude de plantes de riz d'âges divers —, on a vu que des stades spécifiques du développement sont plus ou moins sensibles suivant les variétés. Cette sensibilité se manifeste par une réduction de la croissance et de la photosynthèse, des malformations florales et une stérilité plus ou moins fréquente des épillets. Chez

certaines variétés, la stérilité pollinique est surtout la conséquence d'une exposition au froid pendant la microsporogenèse, tandis que le stade plus tardif de la sporogenèse est plus sensible chez d'autres.

Le volet phytopathologique est important. Les maladies réduisent les rendements, parfois de façon spectaculaire, et il est matériellement impossible d'envisager l'application de traitements phytosanitaires efficaces, surtout à cause de leur coût. L'incidence des différentes maladies et des parasites a été suivie au Burundi et à Madagascar. Elles sont également étudiées au Népal et au Yunnan. Les deux maladies principales sont la pyriculariose *(Pyricularia oryzae)* et la pourriture bactérienne de la gaine *(Pseudomonas fuscovaginae).* La première sévit surtout à moyenne altitude, où le climat est relativement chaud, tandis que la bactériose prédomine à plus haute altitude. La répartition de ces deux maladies est cependant influencée aussi par les microclimats locaux et par les fluctuations annuelles.

Le mode d'infection des feuilles par *P. oryzae* est influencé par la nature de la souche du parasite et le type de résistance éventuellement présente dans la variété de riz. Après pénétration des hyphes dans les cellules foliaires, une coloration par le bleu d'aniline permet de distinguer les variétés qui possèdent une résistance quantitative et stable des génotypes susceptibles ou porteurs de gènes de résistance spécifique. Chez les variétés à résistance quantitative, la réaction de coloration est plus tardive et moins généralisée, les cellules se nécrosent ensuite rapidement. Cette coloration histologique pourrait devenir un test simple utilisable pour le criblage de la résistance dans les descendances de croisements.

Selon des expériences réalisées en laboratoire et au champ, l'action pathogène de *Pseudomonas fuscovaginae* est moindre à basse température mais, dans ces conditions, la croissance du riz est ralentie et la période de réceptivité est allongée. La bactérie reste dans le sol après la culture, elle existe chez d'autres espèces cultivées et adventices ; il est donc illusoire de vouloir l'éliminer par des traitements, par exemple par la désinfection des semences. Il faut plutôt rechercher une amélioration de la résistance des plantes et les méthodes culturales les plus adéquates.

Les bactéries en culture produisent plusieurs molécules phytotoxiques, dont certaines ont été purifiées et analysées. Ces extraits de culture induisent, sur les plantes, des symptômes semblables à ceux qui résultent de l'infection par la bactérie ; ils peuvent donc être utilisés pour l'identification des génotypes de riz résistants, ainsi qu'à la sélection de lignées cellulaires modifiées par la culture *in vitro.* Certaines molécules isolées agissent au niveau des membranes plasmiques des cellules végétales.

Bien que les pertes en rendement soient moins graves, d'autres maladies surviennent également, au moins dans certaines des régions surveillées, à des stades particuliers de la culture et en relation avec les techniques culturales appliquées. On a ainsi identifié la rhynchosporiose et la pourriture des gaines due à *Sarocladium oryzae.* Plusieurs insectes nuisibles (diopsis et locris) sont aussi présents et sont capables de proliférer lorsque les cultures s'intensifient.

Etant donné l'impossibilité d'utiliser des intrants sur une grande échelle, une amélioration génétique est essentielle pour adapter les variétés aux conditions d'altitude. Ses principaux objectifs sont la tolérance du riz aux basses températures et sa résistance aux maladies les plus graves, sans négliger les autres parasites, le rendement et la qualité du produit.

Au Burundi, la riziculture a débuté, dans les marais d'altitude, peu après 1980, grâce à l'introduction d'une variété chinoise (Yunnan 3). Cette variété est productive, tolérante au froid, mais elle est sensible à la bactériose et elle a été fortement attaquée par la pyriculariose dès que les surfaces cultivées se sont étendues. La poursuite de la culture du riz dans cette région nécessitait impérativement le remplacement de la seule variété disponible. Les premières variétés Facagro ont été créées à partir de géniteurs introduits : elles sont résistantes aux souches de *Pyricularia* actuellement présentes au Burundi, mais la nature spécifique de cette résistance les rend vulnérables — dans un avenir plus ou moins proche —, à des souches nouvelles ou introduites. C'est pourquoi une résistance polygénique est recherchée dans les descendants des croisements réalisés plus récemment. Afin d'éviter la perte de caractères quantitatifs (tolérance au froid et résistance stable aux maladies) pendant les premières générations, une sélection est d'abord effectuée dans les populations *(bulk selection).* La sélection généalogique est ensuite utilisée pour l'isolement de lignées plus uniformes. En outre, la diversité des conditions de culture implique nécessairement des tests multilocaux et l'identification de nouvelles variétés adaptées aux différentes altitudes. Les derniers essais ont été réalisés surtout à des altitudes comprises entre 1 300 et 1 500 m, pour répondre à un besoin de développement de la riziculture dans de nouvelles zones.

La riziculture aquatique existe depuis longtemps sur les hauts plateaux de Madagascar ; le programme

actuel, pour ce type de culture, est une continuation de recherches déjà anciennes. La culture pluviale est, en revanche, très récente dans cette région et la création de variétés adaptées était donc indispensable. Pour les deux types de riziculture, l'application des méthodes traditionnelles, impliquant des croisements entre variétés locales et introduites, des sélections massale et généalogique, a produit de nouveaux génotypes précoces, productifs, fertiles et résistants aux maladies. Pour la culture irriguée, les fortes variations de l'environnement et l'hétérosis, qui se marque surtout pendant les premières générations, demandent l'application d'une sélection massale, au moins pendant les premières années.

Pour les cultures irriguées et pluviales, des schémas de sélection récurrente ont, par ailleurs, été mis en œuvre. Il s'agit d'une méthode plus complexe et plus aléatoire, mais susceptible de réunir de nombreux gènes correspondant à des caractères quantitatifs, grâce à des brassages répétés de gènes provenant d'une douzaine de génotypes. Ces brassages sont facilités par la stérilité pollinique de certains génotypes et ils sont effectués en l'absence de sélection. L'évolution des populations récurrentes n'a pas été entièrement conforme à ce qu'on en attendait, mais des lignées intéressantes pour la création de nouvelles variétés en sont néanmoins sorties. L'expérience acquise pourra sans doute être poursuivie dans l'avenir.

Bien que de nouveaux croisements soient effectués, en particulier avec des génotypes tolérants au froid, ou précoces, introduits du Népal, une importance de plus en plus grande est accordée aux tests de terrain, à la vulgarisation, à la multiplication et à la diffusion des nouvelles variétés. En culture irriguée, plusieurs lignées ont un rendement nettement supérieur à celui du témoin local à 1 875 m ; à plus basse altitude (1 600 m), les rendements n'ont pas été améliorés, mais la précocité de certaines lignées pourrait être avantageuse. Plusieurs variétés pluviales améliorées sont proposées. Certaines, comme la Fofifa 154, produisent nettement plus que les génotypes anciens.

Une solution intégrée, telle que celle qui a été proposée, implique enfin une étude des aspects agrophysiologiques : gestion de l'eau, fumure minérale, date des semis et repiquages, préparation du sol, rotations, compostage, écobuage. Ces facteurs ont un impact plus ou moins direct sur les rendements, l'incidence des maladies, le maintien de la fertilité des sols et l'érosion. Lors de l'établissement du calendrier cultural, il est utile d'éviter une coïncidence des stades où la plante est vulnérable et les conditions climatiques favorables aux maladies. Mais l'extension des maladies semble surtout conditionnée par le chevauchement de cultures d'âges différents : il faut donc veiller à synchroniser les dates de semis. Les enseignements tirés de ces expériences sont importants pour la stabilité des cultures à longue échéance.

La comparaison des résultats obtenus aux programmes proposés montre que les différents objectifs initialement identifiés ont bien été atteints ; les recherches ont conduit à une meilleure connaissance des contraintes auxquelles est confronté le riz à moyenne et à haute altitude, en culture pluviale, irriguée ou de marais. Ces recherches ont aussi permis la publication d'articles de haut niveau scientifique et de vulgarisation. Des solutions ont été trouvées pour répondre à nombre de ces problèmes, en particulier, par la création de variétés mieux adaptées. Mais il est évident aussi que notre projet n'a pas tout expliqué ni résolu. Il restera toujours des problèmes à élucider, des études à raffiner ; des parasites nouveaux se manifesteront, il faudra créer et tester d'autres variétés pour répondre à de nouveaux défis.

Bien qu'il ne soit pas explicite dans les propositions initiales, un objectif des programmes européens est la promotion des échanges et de la coopération entre institutions scientifiques de différents pays. Les relations privilégiées qui préexistaient entre certains partenaires ont persisté, mais de nouveaux liens se sont établis à la faveur de visites, stages, échanges d'informations et de matériel végétal et grâce à l'organisation de séminaires comme celui-ci et ceux qui l'ont précédé. La participation du Népal et du Yunnan a été plus tardive, mais elle est importante, en raison des similitudes évidentes avec l'Afrique, mais aussi de différences et de complémentarités entre les régions montagneuses d'Asie du Sud-Est et d'Afrique. L'étude comparative de ces similitudes et différences devrait donner une vision plus générale des problèmes rencontrés.

La formation est aussi devenue un volet important des programmes européens. Cet objectif est double : formation de jeunes chercheurs africains dans les laboratoires européens et sensibilisation de scientifiques européens aux problèmes de développement par leur participation aux projets, en laboratoire et dans les champs. Plusieurs doctorats se sont déroulés dans ce cadre et les thèses sont généralement le résultat de recherches effectuées en partie dans des laboratoires d'Europe et, pour le reste, sur le terrain.

Les responsables des programmes de coopération de l'Union européenne ont manifesté à maintes reprises leur volonté de voir des laboratoires performants et autonomes s'épanouir dans les pays du Sud et un véritable partenariat s'établir entre les

institutions du Nord et du Sud. Dans ce domaine, les progrès ne sont guère apparents. Il y a sans doute à cela plusieurs causes. La première est la difficulté, pour un centre de recherche, de prétendre à l'autonomie sans disposer de moyens suffisants.

Des publications scientifiques sont parues ou paraîtront prochainement, à la suite des travaux effectués au cours des dernières années, en particulier à partir des thèses. La majorité de ces publications sont signées par des auteurs européens ; en revanche, les contributions des chercheurs africains sont peu nombreuses et sont rarement diffusées dans le monde scientifique international. La notoriété scientifique et l'accès aux sources de financement repose cependant pour une large part sur l'existence de publications de bon niveau. Il est donc indispensable qu'un effort soit fait dans ce domaine.

Les collaborateurs européens se chargent le plus souvent de la préparation des projets, du déroulement des activités et de la rédaction des rapports. Ils possèdent une compétence et disposent d'appuis qui garantissent le succès des recherches et expliquent sans doute en partie le bilan des programmes STD, qui me paraît très positif. Je pense cependant qu'une participation plus active et plus directe des chercheurs des pays en développement serait souhaitable dans l'avenir, même si cela doit entraîner des erreurs et des retards dans la réalisation des programmes. Cette évolution ne dépend pas seulement d'un détachement relatif de notre part, mais aussi d'un effort des responsables et chercheurs des pays du Sud. Ce souhait d'une plus grande autonomie se heurte évidemment à des déficiences graves qui ne peuvent être imputées aux chercheurs eux-mêmes. Les gouvernements disposent de moyens réduits et la recherche agronomique ne paraît pas jouir toujours des priorités que devrait lui valoir son importance pour le futur. Une agriculture performante est indispensable pour l'économie et l'équilibre social des pays, mais la recherche, dans ce domaine, ne porte ses fruits qu'à longue échéance. Elle demande donc une continuité des efforts et elle est trop souvent interrompue par des accidents politiques qui réduisent à néant les résultats qui ont demandé de nombreuses années d'efforts.

POISSON C., RAKOTOARISOA J. (edit.). 1997
Riziculture d'altitude
Actes du séminaire riziculture d'altitude,
29 mars-5 avril 1996, Tananarive, Madagascar.
Colloques, CIRAD-CA, Montpellier, France, 272 p.

Prospect and priorities for upland rice in Thailand

V. KAMBOONRUANG[1], P. SITTISUANG[2], V. PETPISIT[1], W. CHAITEP[3]
1. Rice Research Institute, Department of Agriculture, Bangkok 10900, Thailand
2. Department of Agriculture, Bangkok 10900, Thailand
3. Sanpatong Rice Experiment Station, Chiang Mai 50120, Thailand

Abstract — Rice in Thailand's most important crop, economically and politically. This means that a majority of farmers still depend on rice production and, furthermore, that large amount of the country's resource, particularly land and labor, are allocated to that crop. In Thailand, the upland rice area is approximately 38.542 ha (about 3% of total rice area). The average yield of upland rice varies from 1,4 to 2,4 t/ha under highland condition. Upland rice production is crucial to the agricultural economy, particularly in the northern region of Thailand. It is the most important food crop grown by hill tribe farmers that rice is part of the rites and culture of hill tribe people. They said that production failed to meet demand. The major production constrains are the limited areas available for the crop and the low field per unit area. In recent years, environmental deterioration and the decreasing availability of natural resources especially the forest, in northern Thailand, have become a national concern and have attracted substantial investment of public resources. Direct protection of the forests is one of the major objectives of environmental conservation. Permanent highland agriculture plays an important role in development projects that aim to project the environment. In 1991, the URRC (Upland Rice Research Consortium) has been established. The project focused on the important of the production of upland rice and the sustainability of the fragile in South and Southeast Asia. In Thailand, the URRC project (1991-1993) was implemented by Rice Research Institute of the department of agriculture. The results indicated that varieties would enhance upland rice production in the highlands. The project is continuing on phase II and III (1997-1999).
Keywords: uplands rice, area, production.

Introduction

In Thailand, rice is a traditional staple food crop. But in the recent years, there has been an indication that rice production is now in transition. The rapid increase in rice production investment, world rice price declines, as well as the emergence of new competitors and shortage of water, have raised one important concern, ISVILANONDA and POAPONYSAKORN (1995) reported that the rural consumption of rice by communities for the year 1991 to 2020 will rise from 9.35 m tons of paddy in 1995 to 9.93 m tons. Hence, the total consumption of rice will increases from 11.98 m tons in 1995 to 13.30 m tons in 2020. The demand for rice will increase about 11%. Recognizing the urgency of this situation, there is an enormous need for internally increasing food production. The concern for agricultural sustainability is frequently with the need for increasing rice production.

Upland rice grows on about 18 million hectares or 13% of the world rice area which contributes about 21 million tons or 5% of the world rice production. Average yield of upland rice is low about 1 t/ha as a result of many serious biotic, abiotic and socioeconomic constraints. The upland rice production is crucial to the agricultural economy, particularly in the Northern region of Thailand.

The uplands support million of people, most of them at the subsistence level. The traditional practice of rotational shifting or slash and burn agriculture open the way for serious soil erosion and degradation that impacts the lowland watershed. Improve technology is needed in which will help rehabilitate degraded upland and transform them into sustainable agro-ecosystems.

Area, Production and yield

The upland rice area attributed through out Thailand is approximately 38523.8 hectares which is about 3% of total rice area (Table I). The average yield of upland rice varies from 1.4 to 2.4 tons per hectare under the highland condition. The upland rice area in the northern Thailand occupies more than 90% of the wet season cultivated land. The average yield on Northern region is about 1.6 ton per hectare. In the South where farmers grow upland rice either as monocrop or intercropped with rubber plantations, the average yield is 1.4 ton per hectare.

Table I. Upland rice, planted area, production and yield by region 1991/1992.

Region	Planted area	Production	yield	
	(*rai*)	(ton)	kg/rai	(ton)
North-East	36.773	10.156	276	1.7
Northern	58.153	14.848	255	1.6
Central plain	20151	7895	392	2.5
Southern	125.694	28.458	226	1.4
Whole Kingdom	240.774	61.357	255	1.6

1 *rai* = 0.16 ha
Source: Thailand, Office of Agricultural Economics (1994)

Importance of upland rice in the national economy

Rice is Thailand's important economic and political crop. This means that a majority of farmers is still dependent on rice production and, furthermore, a large number of the country's resources, particularly land and labor are allocated for this commodity production. For upland rice, it is the most important food crop grown by hill tribe farmers (MANN, 1981; HOARE, 1984). SOMRITH and BROMMANI (1986) reported that rice is the important stable food crop to the hill tribe people and pointed that production failed to meet the mand. The limitation of cultivated land and low yield per unit area were the major production constraints. Although the hill tribe farmer attempt to produce sufficient rice, the production is insufficient and unstable. HOARE (1984) revealed that limitation of cultivated land and low yield per unit area were the major constraints. SUDTHI (1982) and HOARE (1984) also indicated that rice and poped-rice are concerning rites and culture of hill tribe people.

In recent years, national concern over environmental deterioration and diminishing natural resources especially the forest in northern Thailand has attracted substantial investment of public resources. The forest area is decreasing from year to year. An average reduction is 0.4 million ha each year (SOMRIT and BROMMANI, 1986). Since the traditional practice of rotational shifting cultivation with both slash and burn resulted in a sharp decline in productivity, income and degradation of forests, soil and the environment. The direct protection of forests is one of the major issues of environmental conservation. Then, permanent highland agriculture has played a role in highland development projects to overcome narcotics, trade and environmental protection.

Rice, regarded by the hill tribe people as the crop of greatest nutritional, cultural and economic importance receives the highest priority in allocation of land, labor and capital resources. Many cropping systems appear to be sustainable in the sense that their productivity has been maintained for 10 years or more. Those systems include upland-rice cabbage rotation, maize/upland rice-bean inter-cropping. Within this reason rice will be the crop that permanently existed in highland agriculture.

Upland rice research, policy implication and recommendation

The Royal Project has long been the major publicly supported source of agricultural technology for the highlands. For increasing rice production, one of the King's projects was initiated in 1978 to improve highland rice production for first few year. Then the project has been carried on by Rice Research Institute, Department of Agriculture. SOMRIT and BROMANI 1986 reviewed the detailed research activities of Rice Research Institute. Besides, several organizations with the financial assistance from foreign government supported the highland development projects (RERKASEM *et al.*, 1995).

Recently, the Upland Rice Research Consortium has been established in 1991 with initial financial assistance from the Asian Development Bangkok phase I, 1991-1993. The project focused on the productivity of Upland rice and sustainability in the fragile uplands of South and Southeast Asia.

The project was implemented by Rice Research Institute Department of Agriculture. During those three-year (1991-1993) different techniques were validated. The results indicated inter cropping, nutrient management and drought tolerant variety would be the techniques for enhancing upland rice production under the highland conditions. Phase II with the financial support from German and Japanese governments, the continuation of the research activities has been started in 1994 and would be ended in 1996

Generally, forest protection and conservation is the main thrust of the Thai government's land use policy in the highlands, the permanent agriculture with rice as a traditional subsistence crop will be involved in community development activities. In the highland, RERKASEM *et al.*, 1995 pointed that the most important cropping system is rice plus commercial crop. The long, agricultural research, jointed projects with effective collaboration between organizations should be continued.

ISVILANONDA and POAPONGSAKORN (1995) indicated that research on rainfed rice production which constitute more than 75% of total cultivated area is extremely limited. Upland rice as a rainfed rice should be considered. They also recommended that the government should choose to enhance the productivity of rice production for maintaining the standard living of Thai farmers. For the rice sector, a research should be directed toward the promotion of rice quality improvement in the rainfed areas.

Rice Research Institute, Department of Agriculture has continuously performed an impressive rice production research and development over the past few decades and will further investigate for better technology including the promotion on sustainable highland agriculture. This would lead to the technology development for improving agricultural productivity with emphasizing on natural resources conservation.

References

Center for Agricultural Statistics Office of Agricultural Economics, 1994. Agricultural statistics of Thailand, crop year 1993/1994. Agricultural Statistics No. 16/1994. Bangkok, Thailand, Ministry of Agriculture and Cooperatives.

HOARE P.W.C., 1984. The declining productivity of rice-based highland farming systems and the impact of irrigated terrace development in increasing rice production. Paper presented at the Highland Rice Development Workshop, 13-14 September 1994, Northern Region Agricultural Development Center, Chiang Mai, Thailand.

ISVILANONDA, S., POAPONGSAKORN, N., 1995. Rice supply and demand in Thailand: the future outlook, Sectoral Economic Program, Thailand Development Research Institute, Bangkok, Thailand.

MANN, R.S., 1981. Some socio-economic and other considerations in the growing of upland rice in the highlands of northern Thailand. Lecture given at the Regional Training Course on Improved Cultural practices for Upland Rice, 5-23 October 1981, Northern Region Agricultural Development Center, Chiang Mai, Thailand.

SOMRITH B., BROMMANI B., 1986. Upland rice in highland areas of Thailand. *In* Progress in Upland Rice Research IRRI, Laguna, Philippines, p. 177-185.

SUDTHI C., 1982. Rice in swidden agriculture (in thai). Technical report presented at the National Upland Rice Project Meeting, 21 December 1982, Doi Muster Horticulture Experiment Station, Thailand.

Session 2

Acquis de la recherche dans les domaines scientifiques se rapportant à la riziculture d'altitude

Résistance aux maladies

POISSON C., RAKOTOARISOA J., (édit.), 1997
Riziculture d'altitude
Actes du séminaire riziculture d'altitude,
29 mars-5 avril 1996, Antananarivo, Madagascar.
Colloques, CIRAD-CA, Montpellier, France, 272 p.

Etude histologique des interactions riz-*Pyricularia oryzae*

J.B. BAHAMA
Université catholique de Louvain, place croix du Sud, 1348 Louvain-la-Neuve, Belgique

Résumé — Au Burundi, le programme de sélection du riz est focalisé sur l'étude de l'agent pathogène de la pyriculariose et sur la recherche de cultivars résistants — résistance de type spécifique dans un premier temps puis, actuellement, résistance de type quantitatif. Le principal obstacle est l'identification des cultivars ayant une grande résistance quantitative. L'étude a porté sur l'observation des interactions entre l'agent pathogène et plusieurs cultivars dont le degré et le type de résistance sont divers : Yunnan 3, Rojomena et Telorirana, cultivars sensibles ; Facagro 57 qui a une résistance verticale réelle aux isolats burundais ; IRAT 13, IR 36 et Tetep dont le niveau de résistance quantitative est bon. Une suspension de spores a été pulvérisée sur les plantules. Les 3 groupes de cultivars ont été identifiés par la chronologie de l'apparition des réactions cellulaires définies par PENG *et al.* (1986), en particulier la réaction de type B. Celle-ci a ensuite évolué vers le type C après le troisième jour pour Facagro 57 et après 48 heures en type D pour IRAT 13, IR 36 et Tetep. Ces résultats suggèrent que l'observation de la réaction permet la reconnaissance des cultivars à forte résistance quantitative. Cela est d'autant plus intéressant que la technique est applicable avec le matériel classique de tout laboratoire de phytopathologie.
Mots-clés : riz, variété, *Pyricularia oryzae*, résistance quantitative, inoculation, cytoplasme, Burundi.

Introduction

La pyriculariose est la maladie du riz la plus répandue et la plus dommageable. Elle est causée par un champignon, *Pyricularia oryzae* Cavara, également appelé *Pyricularia grisea* — forme sexuée *Magnaporthe grisea* Hebert-Barr. Il attaque le riz à tous les stades de développement mais les stades les plus sensibles sont le tallage et l'épiaison. Deux formes de pyriculariose sont ainsi distinguées : la pyriculariose foliaire et la pyriculariose paniculaire. Sur feuille, le symptôme typique est une lésion allongée, plus ou moins elliptique avec un centre gris blanc et une marge brune. La taille et la couleur des lésions varient en fonction des conditions d'environnement et de la résistance du cultivar. On pourra ainsi observer des lésions brunes sans centre différencié, ou encore des lésions sans marge brune, etc. Un autre symptôme caractéristique est le brunissement pouvant se produire sur n'importe quelle partie de la panicule mais le plus souvent sur le cou de la panicule. La panicule devient cassante et le remplissage des grains est bloqué. Les pertes de rendement et de qualité sont essentiellement dues à la pyriculariose du cou, surtout lorsque l'infection surgit tôt à l'épiaison.

Au Burundi, la maladie revêt une importance différente selon le type de riziculture. Trois grands types de riziculture y sont pratiqués :
– la riziculture irriguée : plaine côtière du lac Tanganyika (jusqu'à 800 m d'altitude);
– la riziculture pluviale, la plus ancienne, pratiquée également dans la région côtière du lac Tanganyika, les piémonts du Mumirwa et l'est du pays, région de Moso (jusqu'à 1 300 m d'altitude) ;
– la riziculture des marais de moyenne altitude (jusqu'à 1 700 m d'altitude) introduite dans les années 80 en pleine extension.

En rizicultures irriguée et pluviale, les attaques de pyriculariose surviennent sporadiquement, souvent

liées à un déficit passager dans l'approvisionnement en eau, ou à un surdosage de l'urée en pépinières.

En revanche, en riziculture de moyenne altitude, la pyriculariose revêt une nature épidémique et entraîne des pertes importantes de rendement. Pour faire face à cette maladie, des recherches ont été entreprises dès 1986 et ont porté sur la variabilité du pathogène et la sélection de cultivars résistants. L'étude de la variabilité a été réalisée par inoculation des variétés différentielles à partir de 1988. Une grande variabilité fut découverte dans la population de *Pyricularia oryzae* du Burundi. Les tests des cultivars essayés en altitude ont par ailleurs révélé une grande sensibilité à la maladie chez les cultivars d'origine malgache et Yunnan 3 diffusé depuis 1982. Les cultivars Facagro sélectionnés à la faculté des sciences agronomiques du Burundi ont montré une résistance complète vis-à-vis des souches présentes jusqu'en 1990, mais leur susceptibilité aux souches d'autres pays — notamment CM28 et PH11 — originaires respectivement du Cameroun et des Philippines, atteste qu'il s'agit d'une résistance de type spécifique qui sera à plus ou moins brève échéance surmontée par l'agent pathogène. Face à cette variabilité qui rend la résistance qualitative éphémère, et dans le contexte du Burundi où la riziculture est inclue dans une agriculture de subsistance, il fallait changer de stratégie. Les recherches ont ainsi été orientées vers la sélection d'une résistance durable de type quantitatif. C'est dans le souci de mettre au point des méthodologies applicables dans l'identification et l'évaluation de la résistance quantitative à la pyriculariose que cette étude a été réalisée. Nous avons observé les interactions riz-*P. oryzae* afin de pouvoir détecter des signes précoces permettant de caractériser le comportement des cultivars à niveau élevé de résistance quantitative au cours de la pathogenèse.

Matériel et méthode

Matériel végétal

Les cultivars de riz utilisés dans cette étude ont été choisis sur la base des résultats de tests de résistance à la pyriculariose en milieu contrôlé et au champ (BAHAMA et NOTTEGHEM, 1990 ; ROUMEN, 1993). Huit cultivars ont été testés :

– Yunnan 3, un cultivar d'origine chinoise, le premier à avoir été diffusé en altitude au Burundi et très sensible à la pyriculariose ;

– Rojomena et Telorirana, des cultivars malgaches introduits en altitude pour leur tolérance aux basses températures, également sensibles ;

– IRAT 13, cultivar pluvial à niveau élevé de résistance quantitative (NOTTEGHEM, 1981), actuellement utilisé au Burundi dans les croisements pour l'obtention de la résistance quantitative ;

– Tetep, cultivar à niveau de résistance quantitative, utilisé comme parent dans la plupart des programmes d'amélioration du riz ; ce cultivar possède également des gènes de résistance qualitative notamment le gène Pi-k^h (OU, 1987) ;

– IR 36 et IR 64, cultivars avec un niveau élevé de résistance partielle (ROUMEN, 1993) ;

– Facagro 57, cultivar sélectionné au Burundi pour sa résistance à la pyriculariose ; sa résistance complète vis-à-vis des souches du Burundi est surmontée par des souches d'autres pays telles que la souche CM28 d'origine camerounaise et PH11 des Philippines.

Production d'inoculum, inoculation et incubation

Les souches de *P. oryzae* BD42, BD51, BD60, originaires du Burundi, capables d'infecter tous les cultivars testés à l'exception de Facagro 57 ainsi que les souches CM28 et PH11, du Cameroun et des Philippines, virulentes sur ce cultivar, ont été utilisées. Elles ont été mises en culture sur le milieu flocon d'avoine (30 g de flocons d'avoine, 15 g d'agar, 2,5 g d'extrait de levure, 1 l d'eau distillée) pendant 7 j, à 26 °C. Les cultures ont ensuite été raclées et exposées à des UV proches pendant 3 j pour stimuler la sporulation. Les spores ont été mises en suspension dans de l'eau distillée et la concentration ajustée à 10^5 spores/ml après comptage à la cellule Thoma. Une solution de gélatine à 2 % était ajoutée en quantité équivalente à la suspension pour augmenter l'adhérence des conidies sur la feuille. Cette suspension a été pulvérisée sur des plantules au stade 5^e feuille entièrement dégainée (40 ml de suspension pour 120 plantules). Les plantules étaient ensuite gardées pendant 48 h à l'obscurité à une humidité relative de 100 %, entre 70 et 80 % environ par la suite. L'humidité saturante est obtenue à l'aide de nébulisateurs à ultrasons placés aux deux extrémités de la chambre d'inoculation constituée d'une enceinte recouverte avec une tente en plastique. La température variait entre 22 + 1 °C, la nuit et 27 + 1 °C, le jour.

Evaluation de la maladie

Pour le comptage du taux de germination des conidies et du taux de formation d'appressoria

(mesurés uniquement pour la souche BD60), la partie centrale de la 5e feuille était récoltée 6 h, 14 h et 24 h après l'inoculation. Elle était fixée à l'éthanol 70 % pendant 2 h, éclaircie pendant 3 h à température ambiante dans une solution de phénol-acide lactique (4/1 v/v) ; colorée par le lactophénol au bleu coton et montée pour observation microscopique en fond clair entre lame et lamelle. Cent conidies ont été observées pour chaque répétition (1 pot) et quatre répétitions ont été réalisées pour chaque cultivar. Pour la fréquence de pénétration et les réactions cellulaires, la méthode de coloration de PENG *et al.* (1986) a été appliquée :

– récolte de la 5e feuille à intervalle de 24 h ; fixation et décoloration dans le lactophénol-traitement par le mélange NaCl 0,75 % /acide acétique 15 % (20/1, v/v) pendant 2 h à 95 °C ;

– déshydratation dans une série éthanol 50, 70 et 95 % pendant 5 min, puis 10 min dans de l'éthanol absolu ;

– coloration par autoclavage des morceaux de feuilles immergés dans une solution composée d'éthanol absolu, d'acide lactique et de phénol (1/1/1, v/v) contenant 0,05 % (p/v) de bleu d'aniline (à 121 °C, 1 atmosphère, 15 min) ;

– éclaircissement pendant 15 min dans un mélange phénol-acide lactique (4/1, v/v) ;

– montage dans du lactophénol et observation sous microscope optique.

Les types de réactions cellulaires ont été classées dans les cinq catégories définies par PENG *et al.* (1986) :

– A : pas de réaction visible au site d'infection ;

– B : brunissement et coloration au bleu d'aniline des parois des cellules épidermiques ;

– C : fine granulation du cytoplasme au site d'infection ;

– D : nécrose de la cellule envahie ;

– E : forte granulation du cytoplasme.

La différence entre C et E repose sur l'aspect du cytoplasme. Dans le premier cas, la granulation est diffuse et le cytoplasme prend une coloration bleu clair, tandis que dans le dernier cas, des granules sont bien individualisés et le cytoplasme prend une coloration plus foncée. Quarante sites d'infection ont été observés par pot (répétition), soit 160 sites au total par cultivar, par date d'observation et par souche. Le pourcentage de conidies réussissant la pénétration a été calculé.

Résultats

La mesure du taux de germination des spores a permis de constater qu'après 6 h, et chez tous les cultivars, plus de 89 % des conidies en moyenne ont déjà germé. Après 14 h, ce taux avait atteint son maximum (> 91 %). Ce taux de germination était très élevé chez tous les cultivars. Il n'existait pas de différence significative entre les cultivars pour ce critère.

La formation d'appressoria atteignait déjà 70 % après 6 h, et augmentait encore par la suite, atteignant sa valeur maximale (environ 90 %) 14 h après l'inoculation. Après 24 h, les taux observés différaient très peu de ceux obtenus après 14 h. Comme pour le taux de germination, les cultivars ne se distinguaient pas les uns des autres pour ce paramètre.

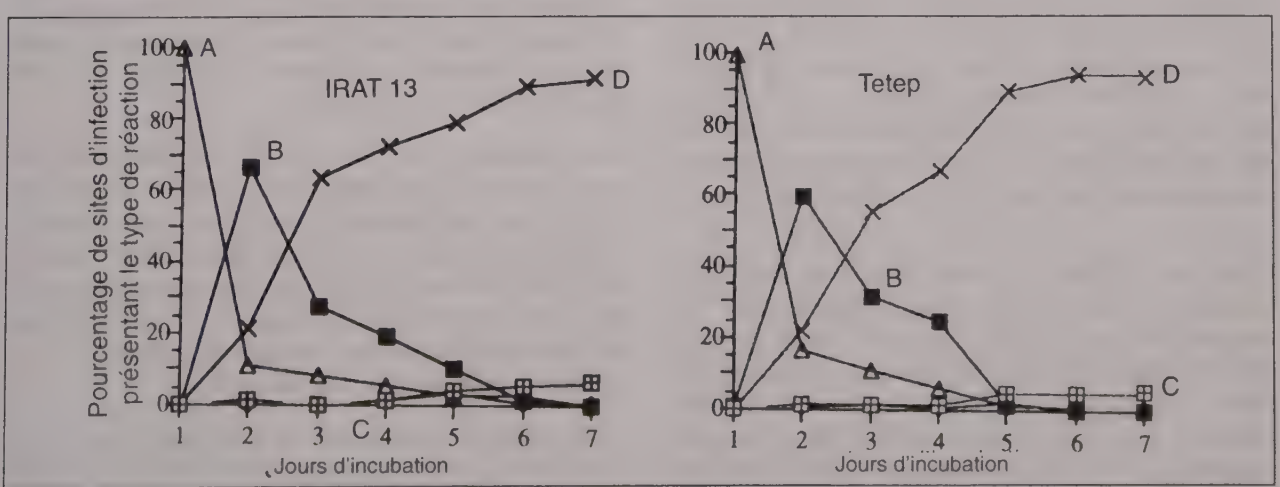


Figure 1. *Evolution des réactions cellulaires au site d'infection chez les cultivars Facagro 57 à résistance qualitative, Yunnan 3 susceptible et IRAT 13 et Tetep à bon niveau de résistance quantitative, inoculés avec la souche BD 60 de* P. oryzae. *A : pas de réaction détectable ; B : brunissement et affinité des parois des cellules infectées pour le bleu d'aniline ; C : fine granulation cytoplasmique ; D : nécrose de la cellule infectée ; E : forte granulation cytoplasmique (d'après PENG* et al., *1986).*

Pour les différentes combinaisons souches-cultivars, il est apparu que le taux de pénétration était relativement faible. En effet, après 24 h d'incubation et quelle que soit la combinaison, ce taux avoisinait 20 %, il s'accroissait légèrement par la suite pour atteindre environ 25 % chez la plupart des souches après 3 j d'incubation. Il est resté inférieur à 32 % dans tous les cas alors que plus de 90 % des conidies avaient germé et formé des appressoria. Il n'existait pas non plus de différence significative entre les cultivars résistants, susceptibles et à bon niveau de résistance quantitative.

Les résultats obtenus ont montré qu'après la pénétration, l'observation des réactions aux sites d'infection permettait de distinguer les cultivars selon leur type de résistance : chez Facagro 57 à résistance complète vis-à-vis des souches du Burundi, la réaction de type B était observée un jour d'incubation à plus de 90 % des sites d'infection. La proportion de sites d'infection présentant ce type de réaction diminuait rapidement pour devenir nulle après 7 j d'incubation. Après 2 j d'incubation, une fine granulation du cytoplasme (réaction C) était apparue à environ 40 % des sites d'infection. Sa proportion augmentait parallèlement à la diminution de B et atteignait environ 95 % après 7 j d'incubation. Les autres types de réaction étaient faiblement représentés.

A l'opposé, chez le cultivar sensible Yunnan 3, aucune réaction n'était observée après 1 j d'incubation, environ 50 % des sites d'infection n'ont pas réagi à la présence du champignon jusqu'au 7^{e} jour après l'inoculation. La réaction de type B s'est exprimée seulement après 2 j d'incubation et à une proportion de sites d'infection très faible comparativement à Facagro 57. Une nécrose des cellules attaquées (réaction de type D) était également observée après 2 j d'incubation alors qu'un nombre important de cellules avait déjà été colonisées. Après 7 j d'incubation, cette réaction était apparue à environ 50 % des sites d'infection.

Chez les cultivars à niveau élevé de résistance quantitative, représentés ici par le cultivar IRAT 13, aucune réaction n'était observée après un jour d'incubation comme pour Yunnan 3 sensible. De même, la réaction de type B n'a été observée qu'après 2 j d'incubation mais à une plus forte proportion de sites d'infection. Cette réaction évoluait rapidement en nécrose cellulaire (D) : après 3 j d'incubation, la proportion de sites d'infection présentant la nécrose cellulaire était d'environ 60 % des sites d'infection et atteignait même plus de 90 % après 7 j d'incubation.

Conclusion

La recherche de la résistance quantitative constitue une priorité dans les régions où l'objectif premier du riziculteur est la stabilité du rendement. Tel est le cas en riziculture d'altitude du Burundi où cette culture est intégrée dans une agriculture de subsistance. Plusieurs stratégies de sélection de ce type de résistance ont été mises en œuvre mais les résultats obtenus jusqu'à ce jour sont peu nombreux. Le problème majeur rencontré dans la recherche de la résistance quantitative est la reconnaissance de cultivars qui en sont pourvus afin de pouvoir les intégrer dans le schéma de sélection. Ce travail a permis de constater qu'une identification de la résistance quantitative est possible par l'observation des réactions au site d'infection après la pénétration. La réaction se manifestant au niveau des parois par une forte affinité pour le bleu d'aniline (type B) majoritaires après 24 h d'incubation et évoluant en fine granulation (type C) est caractéristique de la résistance qualitative. En revanche, l'apparition des réactions de type B après 48 h d'incubation et leur évolution nécrose de la cellule envahie (type D) caractérisent la résistance quantitative. Ce travail constitue ainsi une solution au problème souvent posée par la sélection pour un niveau élevé de résistance quantitative, c'est-à-dire la reconnaissance de ce type de résistance dans une large gamme d'introductions variétales. La technique permettra d'optimiser le choix des parents au début d'un programme de sélection de la résistance quantitative.

En outre, la technique fait appel à un équipement et à un matériel accessibles à tous les laboratoires de phytopathologie ; des zones rizicoles où la sélection pour la résistance quantitative est la plus sollicitée pourront donc en bénéficier.

Par ailleurs, du fait de la répétabilité des observations, la technique pourrait être appliquée même avec un matériel végétal relativement réduit. Elle pourra donc être d'une grande utilité dans la sélection précoce de la résistance quantitative parmi les descendances des croisements. Les possibilités de son application au niveau du champ et sa stabilité seront étudiées au Burundi.

Il convient de noter que le problème résolu par cette étude a été l'identification de la résistance quantitative par comparaison avec la résistance qualitative et la susceptibilité. Pour la suite, la technique sera appliquée pour comparer les comportements des lignées différant uniquement par le degré de résistance quantitative.

Références bibliographiques

BAHAMA J.B., NOTTEGHEM J.-L. 1990. Analyse de la virulence des souches de *Pyricularia oryzae* du Burundi et de la résistance des variétés de riz expérimentées dans ce pays. Rapport de stage, CIRAD, Montpellier, France, 17 p.

NOTTEGHEM J.-L. 1981. Analyse des résultats d'inoculation de 67 variétés de riz par 15 souches de *Pyricularia oryzae*. *In* comptes rendus du symposium sur la résistance du riz à la pyriculariose. Montpellier, France, 75-102.

OU S.H., 1987. Rice diseases, 2nd Edition. CAB International Mycological Institute, Kew, Surrey, Grande-Bretagne, 380 p.

PENG L.Y. , SHISHIYAMA, J., YAMAMOTO M. 1986. A whole leaf staining and clearing procedure for analysing cytological aspects of interaction between rice plant and rice blast fungus. Ann. Phytopath. Soc. Japan 52 : 801-808.

ROUMEN E.C., 1993. Partial resistance in rice to blast and how to select for it. Proefschrift Wageningen Nederlands, Pays-Bas, 108 p.

POISSON C., RAKOTOARISOA J., (édit.) 1997
Riziculture d'altitude
Actes du séminaire riziculture d'altitude
29 mars-5 avril 1996, Antananarivo, Madagascar.
Colloques, CIRAD-CA, Montpellier, France, 272 p.

Influence de la température sur la production des lipopeptides phytotoxiques par *Pseudomonas fuscovaginae*

G. K. BIRINGANINE, H. MARAITE
Université catholique de Louvain, unité de phytopathologie, place croix du sud 2, boîte 3,
1348 Louvain-la-Neuve, Belgique

Résumé — La bactérie *Pseudomonas fuscovaginae* est un agent responsable de la pourriture brune de la gaine foliaire du riz. La maladie sévit au Japon dans les conditions fraîches entre 13 et 18° et sous l'équateur en altitude. *Pseudomonas fuscovaginae* excrète *in vitro* des lipopeptides phytotoxiques reproduisant des symptômes similaires à ceux produits par la bactérie sur plants. De même, des extraits de culture de *Pseudomonas fuscovaginae* testés sur le champignon *Geotrichum candidum* provoquent une inhibition de la croissance de ce champignon. Des tests de pouvoir pathogène sur plants de riz et de blé révèlent que les longueurs moyennes des lésions observées augmentent en fonction de la température pour certaines souches, diminuent ou sont peu affectées par la température pour d'autres. L'analyse par HPLC (Chromatographie liquide à haute pression) du spectre de production des lipopeptides phytotoxiques de dix souches de *P. fuscovaginae* en fonction de la température révèle que la production varie selon la souche et la température. Une corrélation entre la sévérité des symptômes et la production des lipopeptides *in vitro* n'est pas statistiquement expliquée en général. Par ailleurs, le test d'activité antifongique des extraits de culture de *P. fuscovaginae* a montré qu'il existe une variation selon la souche et la température et qu'il n'existe pas de linéarité stricte entre le diamètre d'inhibition et la concentration en lipopeptides phytotoxiques.
Mots-clés : *Pseudomonas fuscovaginae*, pourriture brune de la gaine, lipopeptide phytotoxique, syringotoxine, fuscopeptine A (FPA), fuscopeptine B (FPB), antifongique, *Geotrichum candidum*.

Introduction

Pseudomonas fuscovaginae a été identifié pour la première fois, au Japon, comme agent de la pourriture brune de la gaine foliaire du riz, à la limite nord de la zone de culture de riz dans des conditions fraîches entres 13 et 18 °C (TANII *et al.*, 1976 ; MIYAJIMA, 1983), mais aussi sous l'équateur en altitude comme au Burundi. Des symptômes similaires ont été trouvés sur le riz à Madagascar (DUVEILLER, 1986), sur le blé au Mexique (DUVEILLER, 1987), dans les hautes terres au Burundi, sur le sorgho, le maïs et le riz (AUTRIQUE et MARAITE, 1983 ; DUVEILLER *et al.*, 1989), sur le riz en Amérique latine (ZEIGLER et ALVAREZ, 1987) et sur le riz au Népal (SHAKYA et MANANDHAR, 1992).

Les symptômes typiques de la maladie sont une nécrose des gaines foliaires, particulièrement celle de la gaine paniculaire et une réduction de l'allongement de l'entre-nœud paniculaire au stade de gonflement. Cette réduction induit un blocage de la sortie de la panicule et de là une stérilité totale ou partielle de celle-ci (MIYAJIMA, 1983 ; AUTRIQUE et MARAITE, 1983 ; ZEIGLER, 1987 ; DUVEILLER *et al.*, 1983 ; BATOKO *et al.*, 1994). Il s'ensuit une perte de rendement pouvant aller jusqu'à 58 % en cas d'infection sévère (MIYAJIMA, 1983). Au Burundi, cette bactérie est répandue dans les marais de haute altitude situés entre 1 500 et 1 800 m où la culture du riz est pratiquée pendant la saison des pluies (de novembre à juin) sous des températures variant entre 18 et 20 °C (DETRY, 1994). C'est pourquoi quatre souches du Burundi — sur un total de dix souches analysées — ont attiré notre attention dans cette étude. *Pseudomonas fuscovaginae* se développe aux divers stades phénologiques du riz (germination, tallage, épiaison) et ses différents

stades en sont sensibles (DUVEILLER, 1987 ; MARAITE, 1983). Par ailleurs, il a été observé un développement de symptômes de la maladie antérieur à une colonisation intense de la plante suggérant l'existence d'une toxine excrétée par la bactérie lors de la parthenogenèse (FLAMAND *et al.*, 1994) MARAITE et PELSER, à l'université catholique de Louvain, ont débuté, en 1988, des travaux de recherche sur ces substances produites par *Pseudomonas fuscovaginae* et celui-ci est une continuation des travaux existants.

Les objectifs de notre étude sont les suivants :

– réaliser des essais de pouvoir pathogène de la bactérie de dix souches de *P. fuscovaginae* sur plants à différentes températures (15-20 °C, 20-25 °C et 25-30 °C) ;

– analyser le spectre de production des lipopeptides phytotoxiques produits par ces souches ;

– étudier l'effet antifongique de ces lipopeptides sur la croissance du champignon *Geotrichum candidum*.

Matériel et méthodes

Essai de pouvoir pathogène

Dix souches de *P. fuscovaginae* de la collection de l'unité de phytopathologie de l'université catholique de Louvain, isolées sur du matériel de provenance différente, ont servi pour nos analyses. L'inoculum est préparé en ensemençant les souches revivifiées sur le milieu King B (KING *et al.*, 1954). Le cultivar du riz Yunnan 3 a été cultivé en conditions contrôlées en serres, inoculé au stade trois-quatre feuilles et incubé sous trois régimes de température à raison de 3 pots de 5 plants chacun par souche par température. Les plants après inoculation sont répartis dans 3 logettes où les températures de nuit et de jour sont réglées respectivement à 15-20 °C, 20-25 °C et 25-30 °C (tableau I).

Essai de production de lipopeptides phytotoxiques

Les buts poursuivis étaient de mettre en évidence le spectre de variation quantitative et/ou quantitative des lipopeptides phytotoxiques sécrétés par *P. fuscovaginae in vitro* à des températures correspondantes à celles des essais de pouvoir pathogène effectués préalablement. L'extraction du filtrat brut a été réalisée en se servant d'un protocole d'utilisation des cartouches sep pak plus C18 (cartrides, Acell CM et Acell QMA). Ces cartouches sont d'usage pour la préparation d'échantillons peptidiques. Le protocole opératoire a été adapté et modifié dans notre laboratoire.

L'analyse des échantillons a été effectuée par chromatographie liquide à haute pression (HPLC). La séparation était faite sur une colonne Aquapore RP-300 7 microns (250 x 4,6 mm de diamètre interne) de Brownlee. L'élution était effectuée selon un gradient à 1 ml/min en mélangeant 60 % de solvant A (0,09 % de l'acide trifluoracétique, TFA, dans l'eau) avec 40 % de solvant B 0,04 % de TFA dans un mélange acétonitrile : isopropanol 4 : 1, (v/v). La durée d'élution est de 40 minutes.

Tableau I. Données en rapport avec les dix souches de *P. fuscovaginae*.

	Origine			
N° de collection	Plante	Pays	Symptômes	Auteurs
UPB 264	*Oryza sativa*	Burundi	Gaine pourrie	MARAITE (1982)
UPB 266	*Oryza sativa*	Burundi	Gaine pourrie	MARAITE (1982)
UPB 304	*Oryza sativa*	Japon	Gaine pourrie	MIYAJIMA (1976)
UPB 305	*Oryza sativa*	Japon	Gaine pourrie	MIYAJIMA (1976)
UPB 407	*Leersia hexandra*	Burundi	Gaine pourrie	MARAITE (1988)
UPB 590	*Triticum aestivum*	Mexique	Feuille pourrie	DUVEILLER (1987)
UPB 735	*Oryza sativa*	Philippines	Semi-tries brunes	DUVEILLER (1984)
UPB 736	*Oryza sativa*	Madagascar	Gaine pourrie	DUVEILLER (1986)
UPB 737	*Sorghum*	Burundi	Gaine pourrie	DUVEILLER (1986)
UPB 738	*Zea mays*	Burundi	Gaine pourrie	DUVEILLER (1986)

Activité antifongique des extraits de culture de *P. fuscovaginae* sur *Geotricum candidum*

De nombreux tests antifongiques ont été réalisés avec les extraits de culture de *Pseudomonas syringae* sur le champignon *Geotricum candidum*. *P. fuscovaginae* étant du même genre que *P. syringae*, des tests de son activité fongitoxique ont été affectés. Le but est de mettre en évidence l'inhibition de la croissance de ce champignon et de vérifier s'il existait une corrélation entre la sécrétion des toxines et l'arrêt de la croissance de *G. candidum* aux quatre conditions de température. Des extraits bruts de culture de *P. fuscovaginae* dans ARJ étaient déshydratés dans une centrifugeuse sous vide (Savant, Spreed Vac plus SC 110 A). Des dilutions sériées 40X, 20X, 10X, 2,5X et 1,25X sont préparées à partir de ces extraits concentrés ; 10 ml de chaque dilution est déposé sur une boîte de Pétri contenant du PDA sur laquelle une solution de conidies de *Geotricum candidum* est pulvérisée. Des halos d'inhibition sont mesurés après 24 h de culture à 20 °C.

Résultats et discussion

Pour le pouvoir pathogène

Le pouvoir pathogène sur plants varie selon les souches aux différentes températures testées. Pour certaines souches, les longueurs moyennes des lésions observées augmentent avec la température ; pour d'autres, elles diminuent ou sont peu affectées par l'élévation de la température (figure 1). La sévérité des symptômes provoqués par certaines souches s'expliqueraient par une multiplication intense des bactéries à certaines températures. MIYAJIMA *et al.*, 1975, cité par DELBEKE, 1986 ont constaté que la multiplication bactérienne dans la gaine est plus intense à 11-17 °C qu'à 23-29 °C.

D'autres travaux montrent de façon concordante que les lésions dues à *P. fuscovaginae* sont plus importantes aux basses températures (MIYAJIMA, 1985 ; NTIBISHIMIRWA, 1991 ; DUVEILLER, 1988 ; DETRY, 1994 ; DETRY *et al.*, 1991). En revanche, JAUNET (1995) a trouvé que les basses températures diminuent la probabilité de *P. fuscovaginae* de se multiplier. Cependant, il y a lieu de se demander s'il n'y aurait pas d'autres facteurs que le nombre des bactéries qui influencent la gravité des symptômes chez certaines souches. La production des lipopeptides toxiques par ces souches pourrait augmenter la gravité de ces symptômes (FLAMAND, 1994).

Pour la production de lipopeptides bioactifs

L'analyse des extraits de culture de *P. fuscovaginae* révèle la production d'un spectre de lipopeptides phytotoxiques identifiés comme syringotoxine ST, fuscopeptine FPA et fuscopeptine FPB. L'importance relative de la production de ces lipopeptides et la production totale varient selon la souche et la température de culture de la bactérie. La méthode statistique de moindres carrés a révélé une relation linéaire positive entre la sévérité des symptômes après l'inoculation et la quantité des lipopeptides produits *in vitro*. Toutefois, la corrélation varie selon la température et la nature du lipopeptide. En effet, elle est statistiquement expliquée à 81 % pour ST

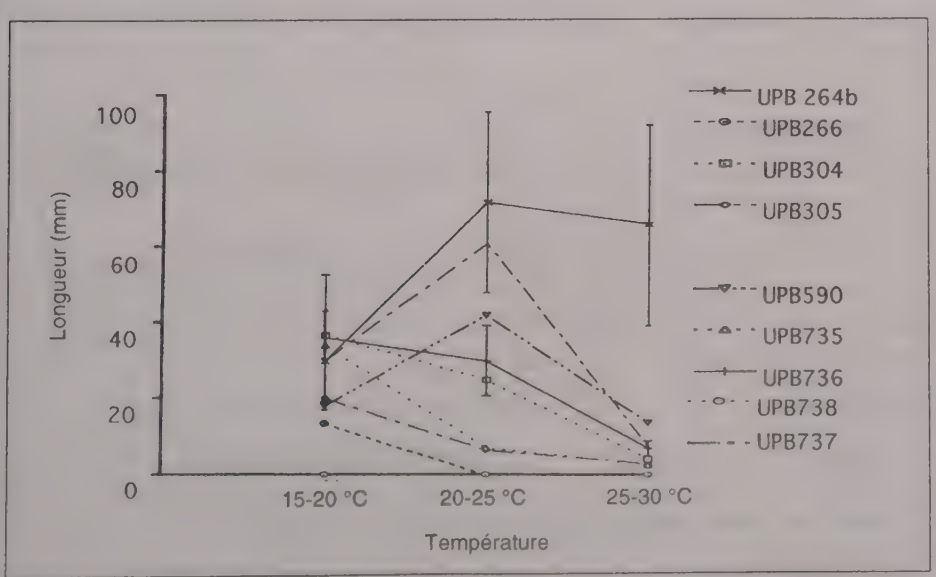


Figure 1. *Longueur des lésions sur riz au 3e jour après inoculation des 10 souches de* P. fuscovaginae *à 3 niveaux de température.*

à 25-30 °C ; 71 % pour FPB à 15-20 °C. En revanche, elle n'est pas expliquée avec 51 % pour FPA à 15-20 °C, 30% à 2O-25 % et 29 % à 25-30 %.

Pour l'activité antifongique des extraits

Les différentes souches de *P. fuscovaginae* ont inhibé différemment *G. candidum* aux températures testées sauf UPB738 pour qui il n'y avait pas de zone d'inhibition. Pourtant, cette souche s'était révélé pathogène lors des essais antérieurs. A 30 °C, seuls les extraits de toxine correspondant aux dilutions 40X et 20X ont montré des zones d'inhibition pour 4 souches sur 10 (UPB264b, UPB407, UPB736 et UPB737). Les plus grandes aires d'inhibition ont été obtenues à 15 °C pour la souche UPB264b du Burundi pour laquelle l'aire d'inhibition augmente avec l'augmentation de ST mais l'inhibition diminue avec l'augmentation de la température (figure 2a, b, c, d).

L'observation de différentes aires d'inhibition obtenues montre qu'il n'existe pas de linéarité stricte entre le diamètre d'inhibition et la concentration en lipopeptides toxiques. La méthode de régression linéaire des moindres carrés révèle l'existence d'une relation linéaire positive, expliquée à 76 %, entre l'aire d'inhibition de *G. candidum* et la quantité de syringotoxine produite par les différentes souches à 25 °C pour la dilution 40X. Cette relation apparaît moins nettement expliquée pour les températures 15 °C et 30 °C respectivement avec 68 % et 61 % et n'est pas du tout expliquée avec 32 % à 20 °C. Les autres lipopeptides FPA et FPB sont prouvés sans effet sur *G. candidum,* mais sont phytotoxiques sur plants (FLAMAND, 1994 ; IACOBELLIS *et al.,* 1992 ; BATOKO *et al.,* 1994). Toutefois, il est à noter que l'absence de zone d'inhibition ne signifie pas nécessairement absence de toxine. Il existe une concentration minimale en toxine nécessaire pour qu'il n'y ait pas croissance de *G. candidum* (FLAMAND *et al.,* 1993).

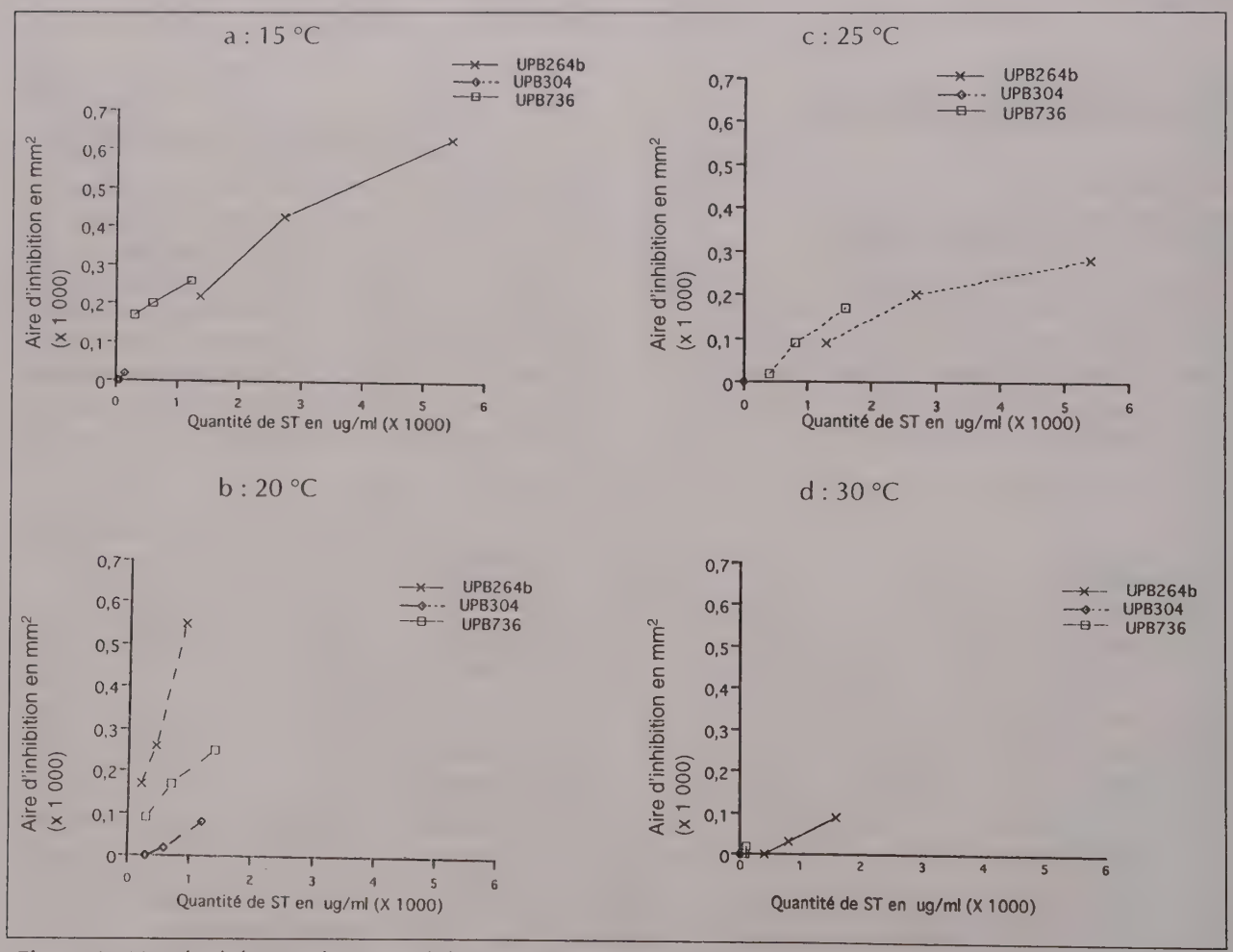


Figure 2. *Aire d'inhibition de* G. candidum *pour 3 souches de* P. fuscovaginae *en fonction de la quantité de ST à différentes températures.*

Conclusion

Ce travail montre que des dix souches de *P. fuscovaginae* utilisées, neuf ont produit des lésions sur plants de riz aux différentes températures testées. La souche UPB738 isolée sur le maïs au Burundi a perdu sa virulence et n'a causé ni lésions sur plants, ni produit des lipopeptide, ni montré d'inhibition sur *G. candidum*. Pour certaines d'entre elles, la longueur des lésions étaient plus importantes à certaines températures, tandis que pour d'autres, elles l'étaient moins. Par ailleurs, la sécrétion des lipopeptides phytotoxiques a été aussi influencée par la température pour les différentes souches. La production relative est variable selon le type de lipopeptides aux différentes températures. Dans certains cas, une corrélation positive est expliquée entre la quantité des lipopeptides produits et la longueur des lésions à des températures données. Dans d'autres cas, la relation n'est pas expliquée. Il faudrait alors examiner l'effet d'autres facteurs en plus de la température. Quant à l'inhibition sur *G. candidum,* les basses températures,15-20 °C, ont révélé de grandes zones d'inhibition. A la température de 30 °C, l'inhibition n'était plus visible sauf pour une seule souche (UPB264b) et une corrélation positive est expliquée entre la quantité de ST et l'aire d'inhibition sur *G. candidum*. Les différences constatées quant aux souches d'une même région géographique peuvent être imputables à des variations de leur base génétique.

Une étude du métabolisme de chacun de ces lipopeptides au sein de la bactérie permettrait de mieux apprécier l'effet de la température sur leur production. Ainsi, la compréhension de tous les facteurs impliqués et les mécanismes de production de différents lipopeptides phytotoxiques permettrait d'accroître la connaissance de l'épidémiologie de la bactérie.

Références bibliographiques

AUTRIQUE A., MARAITE H., 1994. La pourriture brune de la gaine foliaire du riz causée par *P. fuscovaginae*. Bulletin phytosanitaire de la FAO, 31-94.

BATOKO H., BOUHARMONT J., MARAITE H., 1994. Inhibition of rice (*Oryza-sativa* L.), seedling elongation by a *Pseudomonas* pv. *syringae* in Euphytia 76: 139-143.

DELBEKE A., 1986. Etude de l'influence de la température sur la multiplication de *Pseudomonas fuscovaginae* Tanii, Miyajima et Akita, agent de la pourriture brune de la gaine foliaire du riz. Mémoire UCL, Agro, 51 p.

DETRY J.-F., 1994. Protection intégrée contre la pyriculariose et la pourriture brune des gaines foliaires du riz en moyenne altitude au Burundi. Thèse de doctorat, 212 p.

DETRY J.-F., DUVEILLER E., MARAITE H., 1991. Mise au point d'une méthode d'évaluation de la résistance de cultivars de riz à *Pseudomonas fuscovaginae* in Parasitica 47 (4) : 151-163.

FLAMAND M.-C., MARAITE H., 1994. Etude des toxines produites par *P. fuscovaginae*. Séminaire interdépartemental UCL, 6 p.

GUIGLEY N.B., GROSS D.C., 1993. Syringotoxine production among strains of *Pseudomonas fuscovaginae:* conservation of the syr B and syr D genes and activation of phytotoxin production by plant signal molecules in the American Phytopathology Society 7, n° 1, p. 78-90.

JAUNET T., 1995. Caractérisation, pathogénie et épidémiologie de *Pseudomonas fuscovaginae,* agent de la pourriture brune des gaines foliaires du riz *(Oryza sativa).* Thèse de doctorat, 67 p.

MIYAJIMA K., 1983. Studies on bacterial sheath brown rot of rice plant caused by *P. fuscovaginae* Tanii, Miyajima et Akita. Report of Hokkaido Prefectural Agricultural Experiment Station. Exp. Stn Asakikawa Hokkaido, Japon, p. 57-65.

MIYAJIMA K., TANII A., AKITA T., 1983. *P. fuscovaginae* sp. nov. rev. Int. Syst. Bacteriol. 33, 656-657.

NTIBISHIMIRWA M., 1991. Epidémiologie de la pourriture brune de la gaine foliaire du riz causée par *Pseudomonas fuscovaginae* au Burundi. Thèse de doctorat UCL, Agro, 119 p.

ZEIGLER R. S., ALVAREZ E., 1987. Bacterial sheath brown rot of rice caused by *P. fuscovaginae* in Latin American, Plant Disease 71- 592-597.

POISSON C., RAKOTOARISOA J., (édit.), 1997.
Riziculture d'altitude
Actes du séminaire riziculture d'altitude,
29 mars-5 avril 1996, Antananarivo, Madagascar.
Colloques, CIRAD-CA, Montpellier, France, 272 p.

Caractérisation de *Pseudomonas fuscovaginae* et de son interaction avec le riz

T. JAUNET, J.-L. NOTTEGHEM
CIRAD-CA, unité de recherche phyma, BP 5035, 34032 Montpellier Cedex 1, France

Résumé — La pourriture brune des gaines du riz causée par *Pseudomonas fuscovaginae* est la principale contrainte pathologique de la riziculture des zones tropicales d'altitude en Afrique, en Asie et en Amérique du Sud. L'apparition de la maladie au champ est associée aux basses températures durant les stades gonflement et épiaison. Dans les différentes régions où le pathogène a été décrit, d'autres espèces bactériennes pouvant induire des pourritures de gaines ont été mises en évidence. L'étude de 72 échantillons de pourritures de gaine collectées à Madagascar et au Népal, en 1991 et 1992, a permis d'isoler 162 isolats bactériens dont 65 % induisent une pourriture de gaine après inoculation sur riz au stade plantule. La caractérisation physiologique fondée sur 8 tests biochimiques permet de regrouper les 106 isolats pathogènes sur riz au stade plantule en 11 groupes biochimiques. Le groupe 1 caractéristique de *P. fuscovaginae* représente 79 % des isolats. Nous avons approfondi les relations génétiques entre ces différents groupes et les espèces de référence des *Pseudomonas* spp. fluorescents par l'analyse PCR/RFLP du gène codant pour l'ARN16S. *P. fuscovaginae* constitue un groupe phylogénétique polymorphe distinct des autres isolats de pourriture des gaines et des différents biovars de *P. fluorescens* et *P. putida* et de *P. syringae* pv. *syringae*. Les autres isolats de pourritures des gaines se distribuent dans tout le phylum des *Pseudomonas* spp. fluorescents. La comparaison de la pathogénie des différents isolats sur riz au stade gonflement permet de mettre en évidence que seuls les isolats présentant les génotypes ADNr 16S 9 (*P. syringae* pv. *syringae*), 7, 17 et les 4 génotypes 12, 13, 14 et 15 de *P. fuscovaginae* sont pathogènes à faible concentration d'inoculum. Les isolats appartenant aux autres génotypes sont non pathogènes ou faiblement pathogènes à forte dose d'inoculum sur riz au stade gonflement. Ces isolats peuvent être considérés comme des espèces opportunistes. L'expression du pouvoir pathogène de *Pseudomonas fuscovaginae* sur riz au stade gonflement a été analysée aux températures de 13 °C, 18 °C et 23 °C. A chaque température, la virulence du pathogène est expliquée par le modèle général de l'action indépendante. Mais la dose efficace pour obtenir 50 % de gaines malades augmente avec la diminution de la température. L'analyse de l'évolution des populations du pathogène *in planta* met en évidence que les basses températures affectent la multiplication du pathogène dans l'hôte durant la période d'incubation et de la croissance des symptômes. Nos résultats permettent donc de conclure que les basses températures agissent négativement sur les différents processus de pathogénie de *Pseudomonas fuscovaginae*. La distribution de *P. fuscovaginae* dans les zones où les basses températures sont limitantes pour la riziculture ne peut donc pas être expliquée par une action directe des températures sur le pathogène. L'épidémiologie de la pourriture des gaines a été étudiée dans différentes localités de Madagascar en 1991, 1992 et 1993. L'incidence de la maladie augmente avec l'altitude de 0,1 % à 1 250 m à 12 % à 1 875 m, en 1992. L'analyse de l'évolution au cours du temps de la maladie et du développement de l'hôte met en évidence que la dynamique de l'épidémie de pourriture de gaine est directement liée à la dynamique d'apparition du stade épiaison, le stade réceptif de l'hôte. Aucune contamination secondaire n'est mise en évidence. L'épidémie de pourriture de gaine dépend donc de l'inoculum primaire et de la durée du stade réceptif de l'hôte. La croissance du riz étant dépendante de la température, l'augmentation de l'incidence avec l'altitude peut être expliquée par une augmentation de la durée du stade réceptif due à la diminution des températures. Des bactéries pathogènes sur riz au stade gonflement sont isolées de la terre de rizière et de l'eau d'irrigation à 1 650 m d'altitude. Ce résultat confirme l'ubiquité de *Pseudomonas fuscovaginae*. Mais la distribution du pathogène dans le milieu à différentes altitudes reste à déterminer.

Mots-clés : pourriture des gaines du riz, *Pseudomonas fuscovaginae*, *Pseudomonas* spp. fluorescents, *Oryza sativa*, caractérisation, pathogénie, épidémiologie.

Introduction

Les travaux de recherches menés de 1989 à 1995 ont eu pour sujet la pourriture brune des gaines du riz causée par *Pseudomonas fuscovaginae*. Les principaux axes de recherche ont été, d'une part, la détermination et l'étude des contraintes écologiques (climatiques, édaphiques et phytopathologiques) liées aux conditions d'altitude et, d'autre part, la création de variétés adaptées à ces

contraintes. Des études menées dans le cadre de ce projet ont montré qu'à Madagascar, la pourriture brune de la gaine est la contrainte phytopathologique majeure de la riziculture irriguée au-delà de 1 500 m d'altitude. *P. fuscovaginae* a été décrit pour la première fois en 1976 dans l'île d'Hokkaïdo, au Japon (TANII *et al.*, 1976). Depuis cette date, l'agent pathogène a été identifié sur les hautes terres de Madagascar, de Colombie, du Burundi et du Népal (DUVEILLER *et al.*, 1988 ; ROTT *et al.*, 1989 ; SHAKYA et MANANDHAR, 1994 ; ZEIGLER et ALVAREZ, 1987). Par ailleurs, MIYAJIMA (1983) a montré que la distribution géographique de la pourriture brune des gaines causée par *P. fuscovaginae* est fortement dépendante des basses températures durant les stades reproductifs du riz. Des études menées au Burundi (DUVEILLER *et al.*, 1988), à Madagascar (ROTT *et al.*, 1991) et en Colombie (ZEIGLER et ALVAREZ, 1990) ont permis de mettre en évidence d'autres bactéries pathogènes isolées de façon concomitante à *P. fuscovaginae*. A partir de 1989, une analyse détaillée du pathosytème *P. fuscovaginae*/riz a été entreprise en étudiant, d'une part, les attributs de l'agent pathogène et de l'hôte et, d'autre part, leurs relations à différents niveaux hiérarchiques environnementaux. Cette analyse a été articulée autour de trois axes principaux : l'agent pathogène et sa diversité, les conditions d'expression du pouvoir pathogène en relation avec les basses températures et les relations entre l'environnement et l'épidémiologie de la maladie. Dans ce but, des travaux de recherche ont été réalisés à Madagascar ainsi qu'au laboratoire de phytopathologie du CIRAD-CA.

Caractérisation des populations d'agents responsables des pourritures de gaines du riz

La description de différentes espèces de *Pseudomonas* fluorescents capables de provoquer des symptômes identiques à ceux causés par *P. fuscovaginae* (DUVEILLER *et al.*, 1988 ; ROTT *et al.*, 1991 ; ZEIGLER et ALVAREZ, 1990), nous a conduits à évaluer la diversité des populations d'agents responsables des pourritures des gaines présentes dans les régions d'altitude de Madagascar. Des gaines paniculaires et des grains présentant une pourriture brune ont été collectés en 1991 et 1992 dans 4 localités de 1 650 à 1 900 m d'altitude. Après isolement des *Pseudomonas* fluorescents, présents dans les échantillons, un premier test de pathogénie par inoculation à la seringue sur plantules de riz a permis d'identifier les isolats capables de provoquer une pourriture de la gaine après blessure. Ces isolats pathogènes sur plantules ont été caractérisés pour différents traits de leur phénotype (métabolisme, sérologie, pouvoir pathogène). De plus, nous avons étudié les relations phylogénétiques de ces isolats en caractérisant leur génotype ARNr16S.

Caractérisation phénotypique

Les isolats ont été analysés pour trois caractères phénotypiques : leur métabolisme à l'aide de 8 tests biochimiques (ROTT *et al.*, 1991), leur propriété sérologique vis-à-vis de deux antisérums fabriqués contre deux souches de *P. fuscovaginae* et leur pouvoir pathogène sur riz adulte avant floraison. Les 106 isolats analysés avec les 8 tests biochimiques mis au point par ROTT *et al.* (1990) se distribuent en 11 profils différents. Le profil correspondant aux souches de référence de *P. fuscovaginae* regroupe 47 % des isolats. Cette analyse confirme donc que malgré la prévalence de *P. fuscovaginae*, les populations d'agents associés aux pourritures de gaines sont diversifiées, ce qui est révélé par leurs différences de métabolisme.

Les propriétés sérologiques d'un échantillon des différents groupes biochimiques ont été analysées par un test DDAS-ELISA mis au point pour cette étude en 1989 (JAUNET, 1990). Deux antisérums fabriqués contre deux souches de *P. fuscovaginae* de Madagascar et du Japon ont été utilisés. Parmi les isolats présentant le profil biochimique de *P. fuscovaginae*, 92 % se distribuent en deux sérogroupes en fonction de leur affinité vis-à-vis de chacun des deux antisérums. Les 8 % d'isolats restant ainsi que les isolats des autres groupes biochimiques ne présentent aucune affinité avec les deux antisérums. L'espèce *P. fuscovaginae* apparaît donc variable pour ses propriétés antigéniques.

La variabilité de *P. fuscovaginae* a été confirmée par l'analyse du pouvoir pathogène sur des plants de riz au stade gonflement. Afin de se rapprocher des conditions naturelles, nous avons mis au point une méthode d'inoculation sans blessure par dépôt d'une suspension bactérienne sur la face interne de la gaine paniculaire, suivi d'une incubation à 18 °C et à 90 % HR dans une cellule climatique. L'analyse du pouvoir pathogène a été fondée sur la méthode de titration de l'infectivité (ERCOLANI, 1984) qui permet d'estimer la probabilité de multiplication de l'agent pathogène dans l'hôte. Cinq isolats de *P. fuscovaginae* et cinq isolats de *Pseudomonas*

fluorescents pathogènes sur plantules ont été inoculés sur 2 variétés. Sur la variété Latsidahy, la dose nécessaire pour avoir 50 % de plants malades (DE50) des isolats de *P. fuscovaginae* est comprise entre 10^3 et 10^6 bactéries par gaine (figure 1). Malgré cette variabilité, les isolats de *P. fuscovaginae* sont plus pathogènes que les 5 isolats de *Pseudomonas* fluorescents testés, ces derniers présentant une DE50 100 fois supérieure à l'isolat le moins pathogène de *P. fuscovaginae*.

Ces différentes caractérisations phénotypiques ont donc permis de mettre en évidence une diversité au sein des populations de *Pseudomonas* agents de la pourriture des gaines. Néanmoins, il nous est apparu indispensable de préciser les relations phylogénétiques entre ces *Pseudomonas* sp.

Analyse phylogénétique

Nous avons étudié la séquence codant pour l'ARN ribosomique 16S qui, en raison de sa forte conservation, permet de déterminer les relations phylogénétiques interespèces. Nous avons analysé le polymorphisme de cette séquence après amplification (PCR) et digestion du fragment d'ADN correspondant par différentes enzymes de restriction (RFLP). Cette analyse PCR/RFLP a été réalisée sur 34 isolats de pourritures de gaines et 22 souches de référence du groupe I d'homologie d'ARNr des *Pseudomonas* (LAGUERRE *et al.*, 1994).

Les souches de référence de *P. fuscovaginae* ainsi que les isolats de pourritures de gaines présentant le profil biochimique de cette espèce, forment une branche phylogénétique distincte des autres souches de référence et des autres isolats de pourritures de gaines (figure 2). La présence de quatre haplotypes ARNr-16S différents au sein de cette branche démontre l'existence d'un polymorphisme au sein de l'espèce *P. fuscovaginae*.

Il n'existe cependant pas de relations entre les haplotypes, l'origine géographique, les groupes sérologiques et le pouvoir pathogène des isolats de *P. fuscovaginae*. Il serait nécessaire d'étudier des séquences moins conservées que l'ADNr-16S pour permettre une analyse plus approfondie du polymorphisme génétique au sein de cette espèce.

Les autres isolats capables de provoquer des pourritures de gaines se distribuent dans 6 haplotypes ARNr-16S dispersés sur tout l'arbre phylogénétique des *Pseudomonas* du groupe I d'homologie de l'ARNr. Parmi les isolats, 69 % correspondent à des souches de référence alors que les 31 % restant ne se rattachent à aucune espèce décrite. A la différence des isolats de *P. fuscovaginae*, il n'y a pas de concordance entre haplotype et profil biochimique pour ces isolats. Ce résultat peut être expliqué par le faible nombre de tests biochimiques utilisés et par la spécificité de ces tests choisis pour définir l'espèce *P. fuscovaginae*.

Ces analyses phénotypiques et phylogénétiques nous ont permis de caractériser les populations de *Pseudomonas* causant la pourriture des gaines du riz dans les régions d'altitude de Madagascar. Nous avons montré que ces populations sont très diverses aussi bien par leurs caractéristiques métaboliques que par les espèces qu'elles représentent. *P. fuscovaginae* apparaît comme l'espèce majoritaire dans ces régions. Il existe une diversité phénotypique mais aussi phylogénétique au sein de cette espèce. Il serait maintenant nécessaire d'entreprendre une analyse à une échelle plus fine afin de déterminer la structure de cette diversité. Par ailleurs, *P. fuscovaginae* est la plus pathogène des espèces présentes dans les régions d'altitude de Madagascar. On peut donc émettre l'hypothèse que cette espèce est le principal agent primaire des pourritures de gaine, les autres espèces pouvant être considérées comme opportunistes.

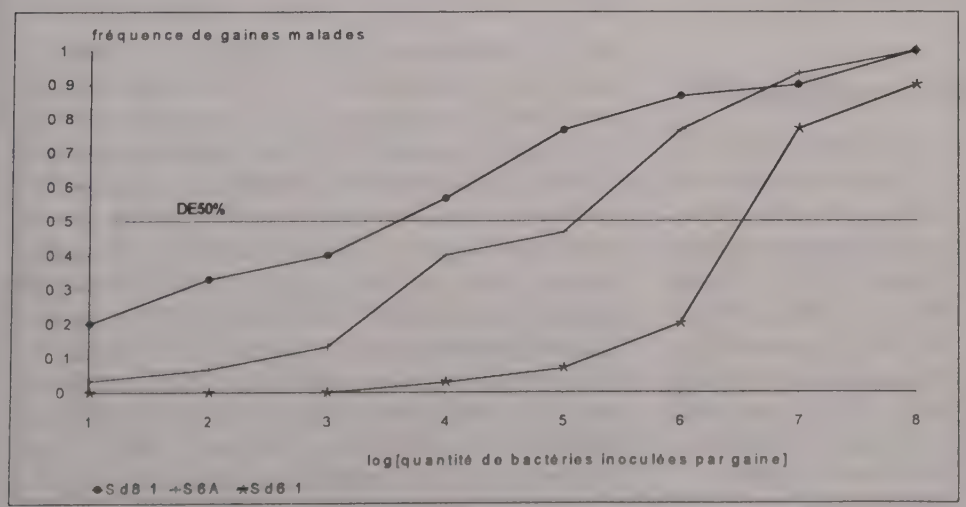


Figure 1. *Titration de l'infectivité à 18 °C de deux souches de* P. fuscovaginae *(Sd8.1 et S6A) et d'une souche de* Pseudomonas *fluorescent (Sd6.1) inoculées sur la variété Dourado précoce.*

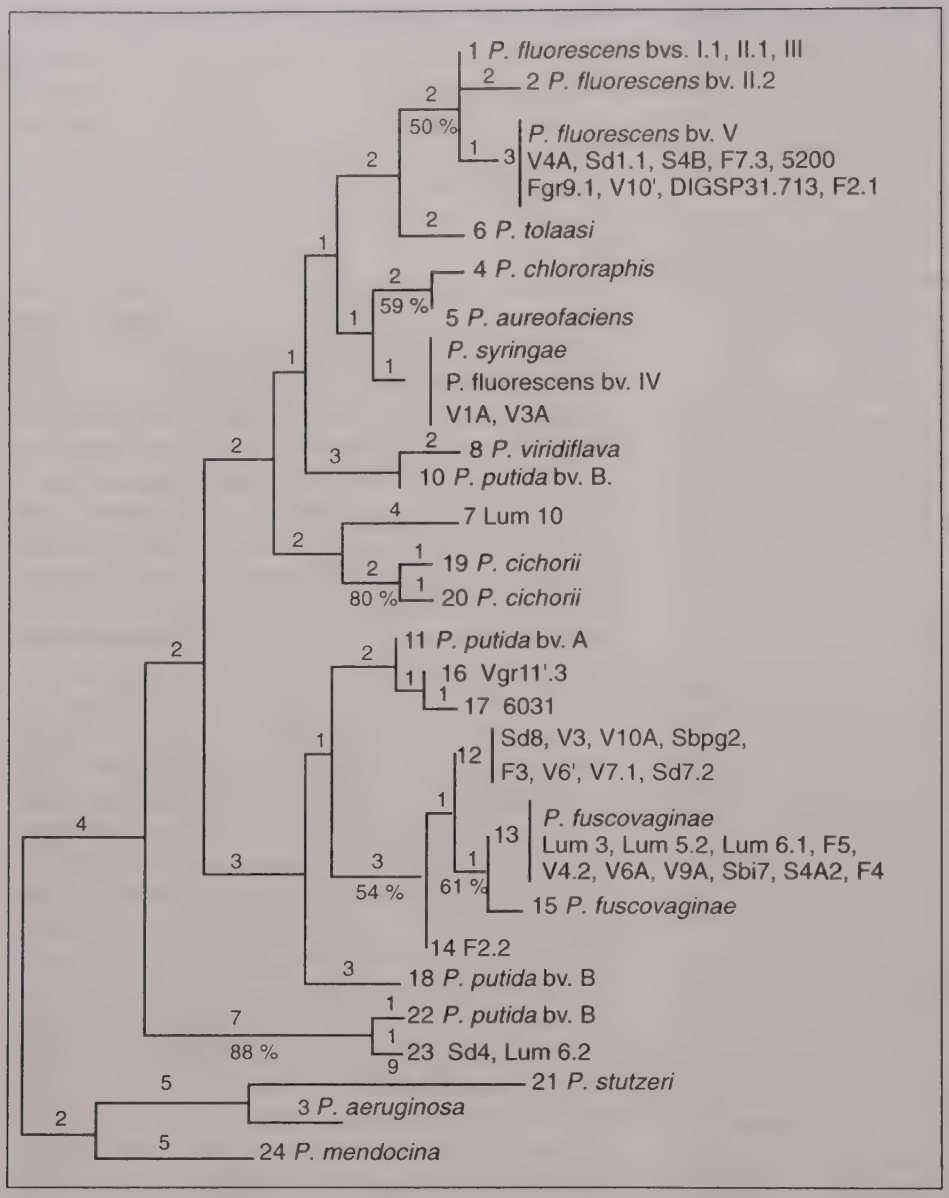


Figure 2. *Arbre phylogénétique construit à partir de l'analyse PCR/RFLP de la séquence codant pour l'ARN ribosomique 16S et montrant les relations entre les* Pseudomonas *fluorescents isolés de pourriture de gaine et les souches de référence du groupe I d'homologie de l'ARNr. Les haplotypes 12, 13, 14 et 15 correspondent aux isolats présentant le profil biochimique de* P. fuscovaginae.

Analyse du cycle de base de l'interaction *Pseudomonas fuscovaginae*/riz

Nous avons analysé en conditions contrôlées le cycle de base de l'interaction *P. fuscovaginae*/riz en liaison avec les observations faites au champ. Nous avons, tout d'abord, déterminé si l'apparition de la maladie au champ durant les stades gonflement/épiaison était liée à la sensibilité de l'hôte. Dans une seconde partie, nous avons analysé les relations entre la température et différentes composantes de l'interaction (dynamique des populations bactériennes *in planta*, incubation, évolution des symptômes) (JAUNET *et al.*, 1996).

Sensibilité de l'hôte

Afin de déterminer avec précision le stade de sensibilité maximale du riz à *P. fuscovaginae*, nous avons étudié la réponse à une inoculation à 18 °C de la gaine paniculaire et des 2 gaines inférieures sur des plants aux stades phénologiques montaison, gonflement, épiaison et exertion totale de la panicule. L'analyse de la fréquence de gaines malades ainsi que de la taille des symptômes de pourriture nous a permis de mettre en évidence que la gaine paniculaire est la gaine la plus sensible à *P. fuscovaginae*, cette sensibilité étant maximum durant le stade gonflement. Cette étude faite en conditions contrôlées confirme donc que l'apparition de la maladie au champ sur la gaine

paniculaire, durant les stades reproductifs du riz, peut être expliquée essentiellement par la sensibilité du riz à *P. fuscovaginae*.

Effet de la température sur l'expression du pouvoir pathogène

Nous avons entrepris une analyse de différentes composantes primaires de la maladie à 3 températures : le zéro de croissance du riz (13 °C), une température froide (18 °C) et une température moyenne (23 °C). Deux variétés ont été étudiées : la variété Latsidahy cultivée en haute altitude à Madagascar et considérée comme tolérante à l'agent pathogène (DECHANET *et al.*, 1990) et la variété Dourado précoce de basse altitude. Les résultats obtenus sont en contradiction apparente avec les observations faites au champ. En effet, nous avons montré au cours de cette étude que la probabilité d'infection diminue avec la diminution de la température. La dose nécessaire pour obtenir 50 % de gaines malades est de 1,3 x 10^1 bactéries par gaine à 23 °C, 1,4 x 10^3 à 18 °C et 2,5 x 10^4 à 13 °C. L'effet négatif des basses températures sur la dynamique des populations bactériennes *in planta* permet d'expliquer cette diminution de la probabilité d'infection (figure 3).

Afin d'approfondir l'analyse de l'action de la température sur l'interaction *P. fuscovaginae*/riz, nous avons étudié 2 étapes du cycle de base : l'incubation et l'expression des symptômes. Nous avons montré qu'au cours de la phase d'incubation, les populations bactériennes sont en croissance exponentielle avec un taux de croissance positivement corrélé à la température (figure 4). La durée de l'incubation augmente donc avec la diminution de la température. A l'issue de la phase d'incubation, l'apparition du symptôme de pourriture est conditionnée par la présence d'une population bactérienne seuil. L'analyse du développement des symptômes montre que leur vitesse de croissance diminue avec la diminution de la température. La comparaison des deux variétés étudiées n'a pas permis de montrer de différence dans les différentes étapes du cycle de base. La résistance de la variété Latsidahy observée au champ ne semble donc pas liée à une limitation du développement de l'agent pathogène durant l'interaction. Ces différents résultats permettent donc de dresser un schéma de l'interaction *P. fuscovaginae*/riz durant le cycle de base intégrant l'effet de la température sur les différentes étapes de ce cycle (figure 5). Il apparaît clairement que les basses températures agissent négativement sur le développement des populations bactériennes *in planta*, de la phase d'incubation à l'expression des symptômes. La distribution géographique de la pourriture des gaines causée par *P. fuscovaginae* dans les régions où les températures fraîches sont une contrainte pour la riziculture ne peut donc pas s'expliquer par un effet positif des basses températures sur le pouvoir pathogène de la bactérie. Au cours des études épidémiologiques entreprises à Madagascar, nous avons donc recherché les autres facteurs permettant de comprendre la relation qui existe entre l'apparition de la maladie et les basses températures.

Epidémiologie de la pourriture des gaines à Madagascar et méthode de lutte

Les travaux entrepris dans les régions d'altitude de Madagascar se sont articulés autour de 2 axes principaux, d'une part, l'analyse épidémiologique

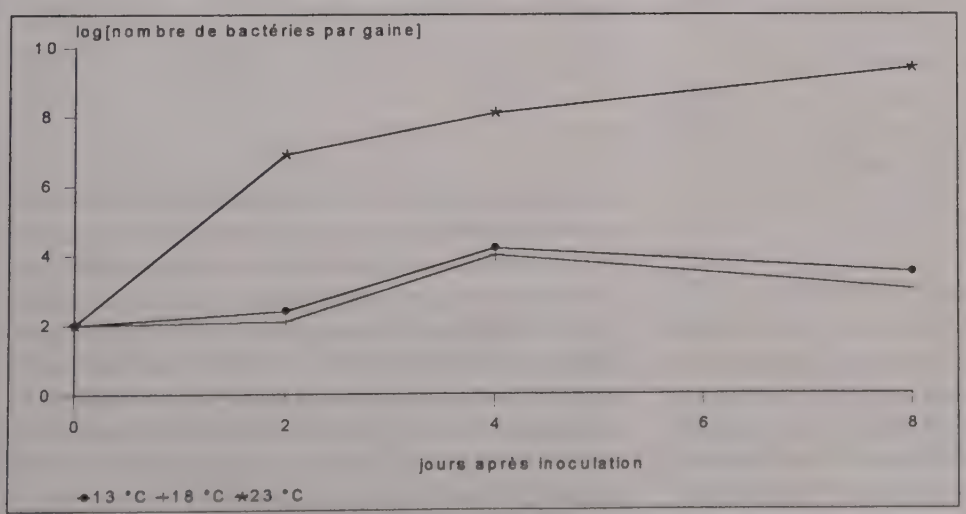


Figure 3. *Evolution* in planta *au cours du temps de la population de la souche Sd8.1 de* P. fuscovaginae *inoculée à 100 bactéries/gaine à trois températures sur la variété Dourado précoce.*

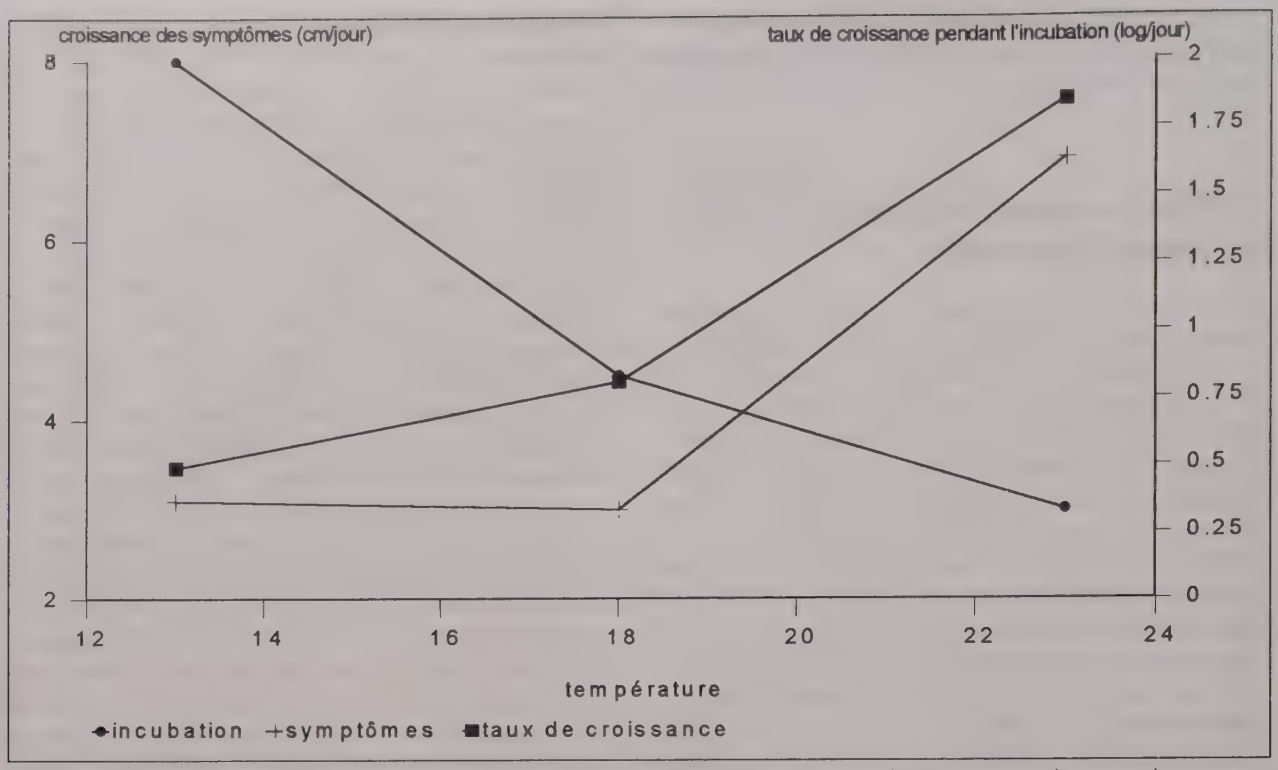


Figure 4. *Temps d'incubation, vitesse de croissance des symptômes et taux de croissance des populations bactériennes durant l'incubation en fonction de la température, de la souche Sd8.1 de* P. fuscovaginae *inoculée à 100 bactéries/gaine sur la variété Dourado précoce.*

de la pourriture des gaines et, d'autre part, l'étude de différentes méthodes de lutte. Ces études intégrées dans le cadre d'un projet pluridisciplinaire ont été réalisées en étroite collaboration avec les programmes d'agronomie et d'amélioration variétale.

Epidémiologie de la pourriture des gaines

Au cours des différentes études épidémiologiques entreprises à Madagascar, la présence de *P. fuscovaginae* a été contrôlée par un test sérologique. Des gaines paniculaires présentant des symptômes de pourriture ont été prélevées au hasard dans les parcelles d'essais et analysées par un test DDAS-ELISA sur membrane avec l'antisérum fabriqué contre une souche de Madagascar.

Relation maladie-altitude

Une première prospection menée durant la campagne rizicole 1990/1991 — sur un rayon de 50 km autour de la ville d'Antsirabe (de 1 650 à 1 900 m d'altitude) — a permis de mettre en évidence que la pourriture des gaines est imputable à *P. fuscovaginae* dans cette région. L'incidence de la pourriture des gaines a été mesurée durant les campagnes rizicoles 1991/1992 et 1992/1993 à différentes altitudes. En 1991/1992, la population issue du programme de sélection récurrente a été testée à 1 650 et 1 800 m d'altitude (JAUNET *et al.*, 1994). Deux variétés ont été testées en 1992/1993, la variété tolérante Latsidahy et la variété Rojofotsy 1285 cultivée en moyenne altitude et utilisée par le programme de sélection comme témoin sensible à la maladie. Durant les deux campagnes, une augmentation de l'incidence avec l'altitude a été mise en évidence (figure 6). L'augmentation d'altitude se caractérise aussi par une diminution des températures moyennes. Ces résultats confirment donc à l'échelle régionale, la relation démontrée à l'échelle mondiale entre la pourriture des gaines causée par *P. fuscovaginae* et les basses températures.

Cependant, les basses températures ne favorisant pas l'expression du pouvoir pathogène, nous avons étudié l'action du froid sur l'hôte. En effet, le riz, plante d'origine tropicale, est fortement affecté dans son développement par les basses températures (BARBIER, 1994). Nous avons tenté de définir la relation entre la dynamique de la maladie et le développement de l'hôte afin de déterminer si ce dernier n'est pas le facteur permettant d'expliquer le gradient de maladie avec l'altitude.

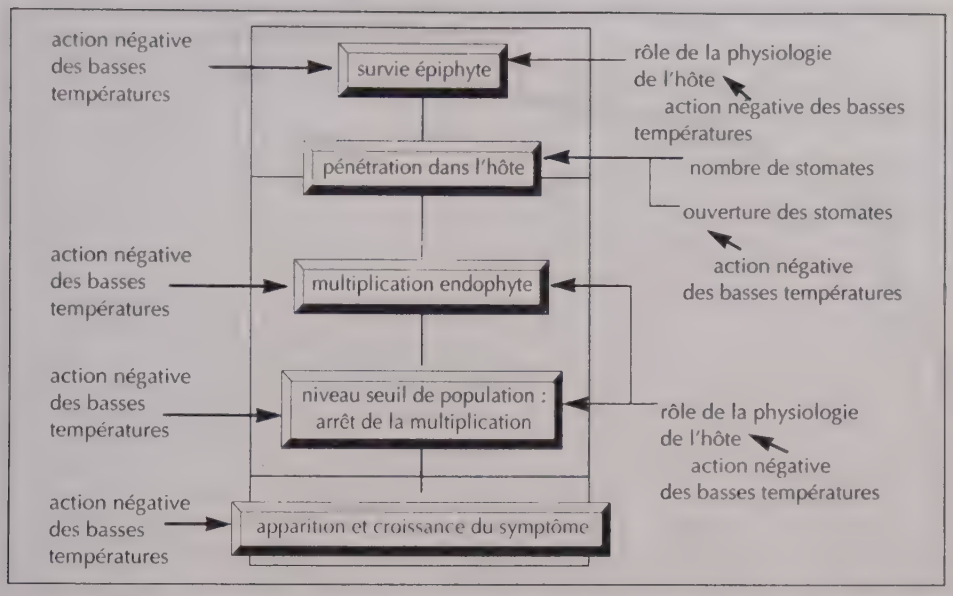


Figure 5. *Schéma récapitulatif des processus d'expression du pouvoir pathogène de* P. fuscovaginae *et des effets de l'hôte et des basses températures sur cette expression.*

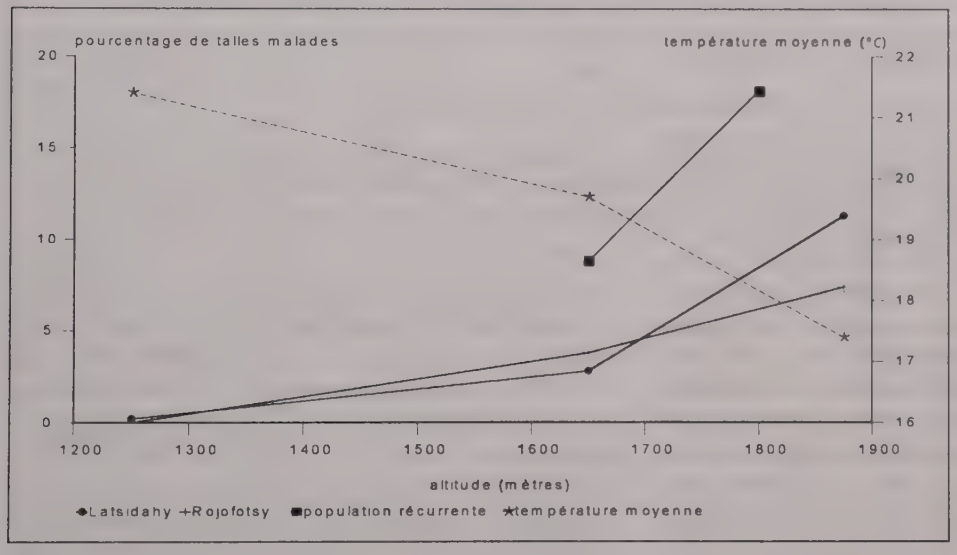


Figure 6. *Incidence de pourriture des gaines en fonction de l'altitude sur les variétés Latsidahy et Rojofotsy 1285 en 1992-1993 et sur la population récurrente en 1991-1992 et température moyenne durant le cycle cultural du riz.*

Relation entre la dynamique de la maladie et le développement de l'hôte

Cette étude a été entreprise durant la campagne rizicole 1993/1994 à 1 650 m d'altitude, le site initial de haute altitude ayant été rendu inaccessible par les intempéries. Différents essais ont été mis en place afin de faire varier la date d'apparition des stades reproductifs du riz ainsi que leur durée. Pour cela, 3 dates de repiquage ainsi que 3 densités de plants ont été choisies. L'incidence de la maladie et l'apparition de 4 stades phénologiques du riz ont été mesurées de février à mai 1994 sur deux variétés de haute altitude (Latsidahy et Tokambana) et une de moyenne altitude (ROJOFOTSY, 1285). L'évolution de l'incidence et des différents stades du riz a été rapportée en fonction de la somme des degrés.jours après le repiquage avec un zéro de croissance de 13 °C. Enfin, la distribution spatiale de la maladie a été analysée par la méthode des quadrats (DELP *et al.*, 1986).

A l'issue des observations, nous avons comparé la vitesse d'apparition des symptômes avec la vitesse d'apparition des différents stades phénologiques et la somme de degrés.jour pour 50 % de l'incidence maximum avec la somme de degrés.jour pour 50 % des talles à chacun des stades (figure 7). Ces analyses mettent en évidence que l'évolution de l'incidence est identique à celle de l'exertion paniculaire (figure 7). La maladie ne semble donc pas avoir de dynamique propre mais une dynamique dépendante de l'hôte.

Afin d'estimer le stade de contamination au champ, nous avons comparé la somme des degrés.jour séparant le stade exertion des autres stades avec les temps d'incubation mesurés en conditions contrôlées à différentes températures. Nous avons déterminé que la contamination se produit durant le

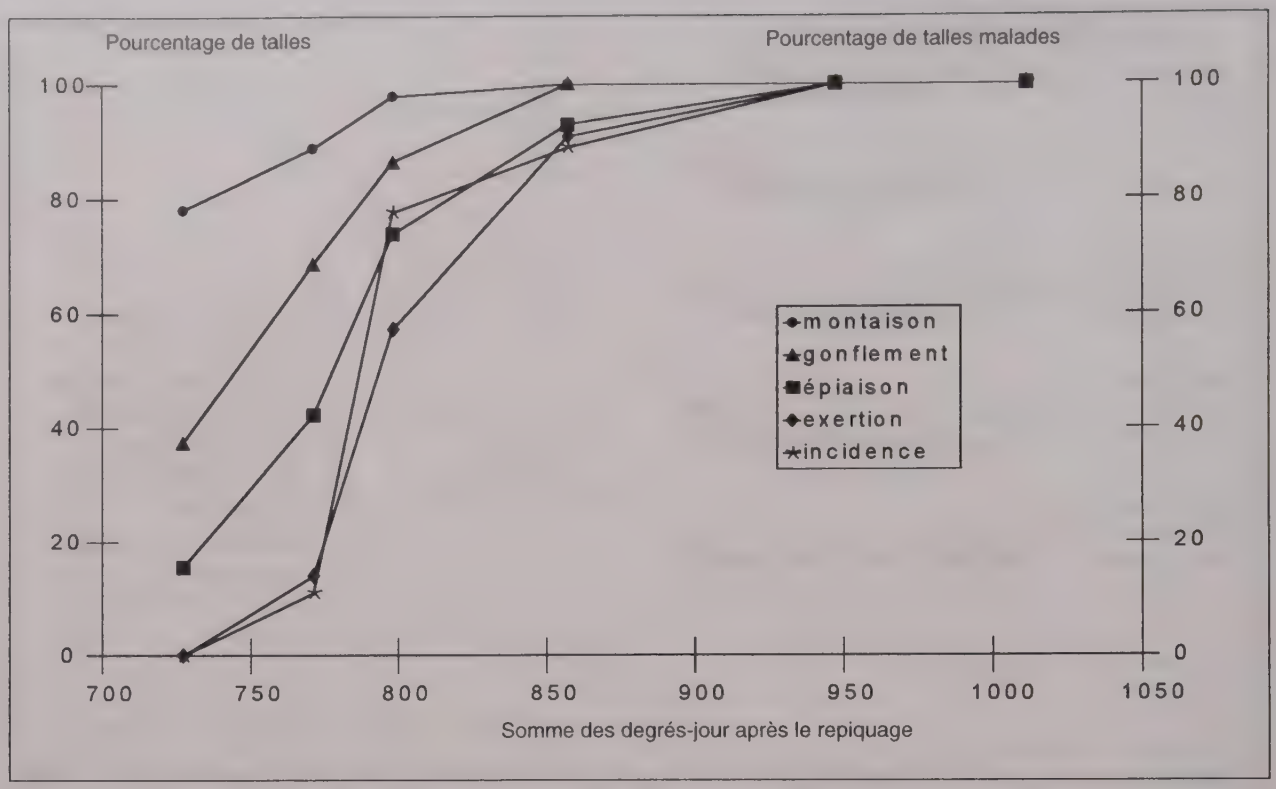


Figure 7. *Evolution de 4 stades de développement du riz et de l'incidence (pourcentage du maximum d'incidence) en fonction de la somme de degrés.jour après le repiquage pour la variété Latsidahy repiquée à la densité de 10 x 20 cm le 15/11/1993.*

stade épiaison. Le stade réceptif au champ ne correspond donc pas au stade de sensibilité maximale mis en évidence en conditions contrôlées (stade gonflement). Nous avons émis l'hypothèse d'une contamination par un exo-inoculum lors du stade épiaison. Ce stade est en effet le seul durant lequel le site de pénétration de la bactérie (face interne de la gaine) est accessible à un inoculum extérieur (MIYAJIMA, 1983). Cette hypothèse est renforcée par le fait qu'aucune bactérie pathogène n'a pu être isolée à partir de gaines paniculaires saines au stade gonflement.

L'hôte apparaît donc comme un facteur essentiel dans l'épidémiologie de la pourriture des gaines. L'unicité du stade réceptif durant un cycle de culture permet de rapprocher cette épidémie des épidémies monocycliques des charbons des céréales (RAPILLY, 1991). Le caractère monocyclique de l'épidémie de pourriture de gaines a pu être confirmé, d'une part, par l'absence de foyer de maladie au sein des parcelles et, d'autre part, par l'absence d'effet significatif du nombre de talles par plants sur la dynamique de la maladie dans le temps. Ces deux résultats montrent donc qu'il n'existe ni transmission inter-plant, ni transmission intra-plant, de la maladie au champ.

Le développement du riz étant dépendant de la somme des degrés.jour, la durée des différents stades de son cycle augmente avec la diminution de la température. A partir des résultats obtenus sur le cycle du riz durant la campagne rizicole 1993/1994, nous avons estimé la durée théorique de la réceptivité (stade épiaison) en fonction de la température (figure 8). Cette durée théorique du stade épiaison permet d'expliquer la distribution de la maladie en altitude par une augmentation de la durée de la réceptivité avec la diminution de la température. La comparaison entre cette durée théorique et le temps d'incubation mesuré en conditions contrôlées met en évidence qu'aux températures inférieures à 17 °C la période d'incubation est plus courte que la durée du stade réceptif. En deçà de 17 °C, les symptômes apparaîtraient, donc, durant le stade épiaison. Cette hypothèse permettrait d'expliquer la forte fréquence de blocages paniculaires dus à *P. fuscovaginae* en haute altitude à Madagascar et au Burundi (DECHANET *et al.*, 1990 ; DETRY, 1994).

Les méthodes de lutte

Les méthodes de lutte envisageables face à une épidémie monocyclique sont basées sur une réduction de l'inoculum primaire ou sur une résistance variétale (RAPILLY, 1991). La transmission de *P. fuscovaginae* par les semences a

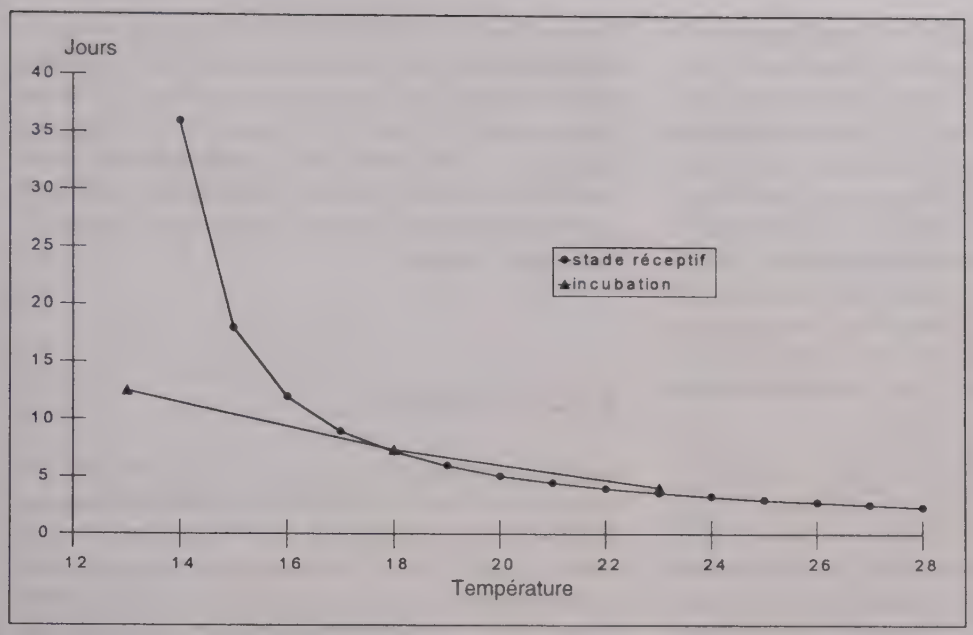


Figure 8. *Durée théorique du stade réceptif estimée à partir des résultats obtenus à Madagascar et temps d'incubation mesuré en conditions contrôlées en fonction de la température.*

été mise en évidence (GOTO *et al.*, 1988). Un traitement de semences a donc été étudié à Madagascar dans le but de tester son efficacité. Dans le cadre du programme d'amélioration variétale pour la riziculture d'altitude, la résistance à la pourriture des gaines était un des objectifs majeurs pour la riziculture aquatique. Une partie du matériel mis à disposition par les sélectionneurs a donc pu être évaluée pour la résistance à la pourriture des gaines.

Traitement de semences

P. fuscovaginae présent sur les grains issus de talles malades représente une source d'inoculum primaire potentiel dont nous avons voulu évaluer le rôle effectif à Madagascar. Un traitement de semences par 24 h de trempage dans une solution aqueuse à 1 % d'hypochlorite de calcium permet d'éliminer *P. fuscovaginae* des grains. Afin de tester l'efficacité de ce traitement au champ, un essai a été réalisé en 1991/1992 à 1 650 et 1 850 m d'altitude sur des semences infectées de la variété Latsika. A ces deux altitudes, aucune différence significative n'a été mise en évidence pour l'incidence de la maladie entre les parcelles de semences traitées et les parcelles témoins non traitées. Les bactéries présentes sur les semences ne sont donc pas, à Madagascar, un facteur déterminant l'apparition de la pourriture des gaines. Ce résultat a été confirmé en 1993 par l'isolement à partir de l'eau d'irrigation et de la terre de rizière de *Pseudomonas* fluorescents pathogènes. L'ubiquité de l'agent pathogène dans le milieu ne permet donc pas d'envisager une stratégie de lutte fondée sur la réduction de l'inoculum primaire.

Evaluation de la résistance

Une prospection dans les régions d'altitude de Madagascar a permis d'identifier plusieurs variétés-populations locales. Les variétés montrant une tolérance au froid et à la pourriture des gaines ont été utilisées comme principaux géniteurs. La sélection a été réalisée par les méthodes massale, généalogique et ultérieurement récurrente. La population récurrente a été créée à partir de 11 géniteurs d'origine malgache. Pour la commodité du brassage génétique, l'allogamisation du riz a été obtenue par introduction du gène de stérilité mâle originaire d'une population japonica sélectionnée au Brésil.

Une première étude a été entreprise en 1990/1991 afin d'analyser l'impact de la pourriture des gaines sur 2 des principaux géniteurs de résistance, Latsidahy et Latsibavy, ainsi que sur la variété sensible Rojofotsy (variété d'origine locale de Vinaninony). Différentes composantes du rendement (stérilité, poids de 1 000 grains et nombre de grains par panicule) ont été mesurées. L'attaque de la panicule par *P. fuscovaginae* a été estimée par la fréquence de grains présentant une pourriture par panicule. Les pertes de rendement paniculaire sont imputables pour les 3 variétés à l'augmentation du pourcentage de stérilité et la diminution du poids de 1 000 grains avec l'augmentation de l'attaque de la panicule. Cependant, les variétés Latsidahy et Latsibavy présentent, pour tous les niveaux d'attaque, une perte de rendement paniculaire inférieure à celle de la variété Rojofotsy. Au degré d'attaque de 100 %, la perte est de 46 % et 55 %, respectivement pour les variétés Latsidahy et Latsibavy, alors qu'elle atteint 91 % pour la variété Rojofotsy. Ce résultat a

été conforté par l'analyse de l'incidence de la maladie sur gaines et des composantes du rendement des variétés Latsidahy et Rojofotsy 1285 cultivées à 1 250, 1 650 et 1 875 m d'altitude en 1992/1993 (figure 9). Ces études menées au champ confirment l'analyse réalisée en conditions contrôlées sur la variété Latsidahy montrant une absence de limitation du développement de l'agent pathogène dans la gaine paniculaire. Le comportement de la variété Latsidahy vis-à-vis de la pourriture des gaines peut donc être assimilé à une tolérance à la maladie plutôt qu'à une résistance à *P. fuscovaginae* (SCHAFER, 1971).

L'analyse de la population récurrente a permis de mettre en évidence la faible héritabilité de la tolérance à la pourriture des gaines. L'absence d'un progrès génétique notable de la population récurrente par rapport à la variété de référence Latsidahy pourrait avoir comme origine, la base génétique restreinte des 11 géniteurs utilisés. Pour palier cette faible diversité, il a été proposé d'introduire de nouveaux géniteurs dans les prochains cycles de brassage. Les résultats obtenus sur l'héritabilité de la tolérance à la pourriture des gaines et ceux obtenus à l'issue des travaux réalisés en 1993/1994 sur la relation entre la dynamique de la pourriture des gaines et le développement du riz, nous ont conduits à proposer d'intégrer aux différents paramètres mesurés, le suivi du développement de l'hôte. De plus, ces études épidémiologiques ont ouvert de nouvelles voies pour l'élaboration de méthodes de lutte. L'importance de la réceptivité du riz dans le développement des épidémies de la pourriture des gaines permettrait d'envisager une résistance par esquive de l'hôte. Cette stratégie pourrait avoir pour base soit une réduction de la réceptivité des tissus limitant la pénétration du pathogène, soit une augmentation de la vitesse d'épiaison réduisant la durée de la réceptivité.

Conclusion

La pourriture brune des gaines du riz est une maladie connue depuis 1970 dans les régions d'altitude de Madagascar (NOTTEGHEM, comm. pers.). Mais l'agent causal de cette maladie, *P. fuscovaginae,* ne fut déterminé qu'en 1989, 13 ans après sa première description au Japon. Les études récentes menées en Asie, en Afrique et en Amérique du Sud ont montré que la distribution géographique de la pourriture brune des gaines est associée aux basses températures en fin de cycle de culture du riz. La faiblesse relative des surfaces concernées par la maladie et la récente détermination de l'agent pathogène furent des facteurs qui limitèrent le nombre des recherches entreprises sur la pourriture brune des gaines. Dans le cadre d'un projet financé par la Communauté européenne sur la riziculture d'altitude, un programme de création variétale a été lancé à Madagascar en 1983. Un des principaux aspects de

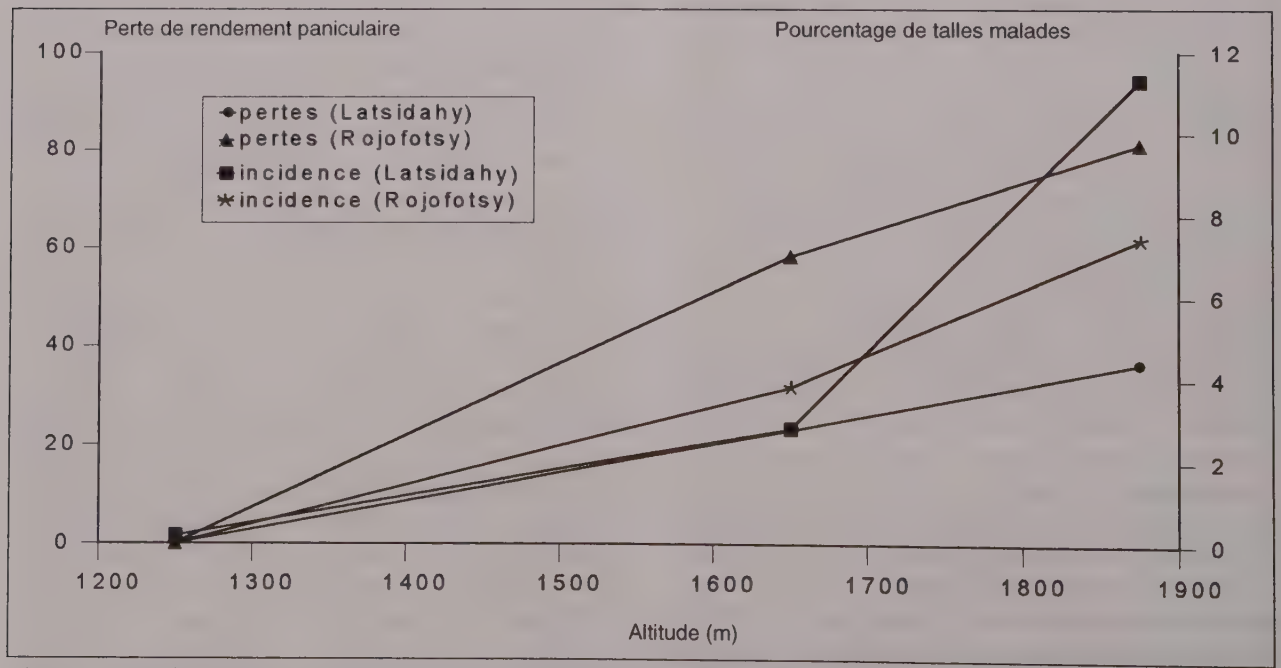


Figure 9. *Incidence de la maladie et perte de rendement paniculaire par rapport au rendement de 1 250 m en fonction de l'altitude sur les variétés Latsidahy et Rojofotsy 1285 en 1992/1993.*

ce programme est l'élaboration de variétés résistantes à la pourriture brune des gaines. Mais les connaissances sur la maladie n'ont pas permis de créer des variétés améliorées pour la résistance par rapport aux variétés locales. Il est donc apparu nécessaire d'approfondir les connaissances sur *P. fuscovaginae* et sur ses relations avec le riz afin d'orienter les programmes d'amélioration variétale.

Les études précédentes menées sur la caractérisation de *P. fuscovaginae* faisaient état de la présence d'autres espèces bactériennes isolées de pourriture de gaines et proches physiologiquement de *P. fuscovaginae*. Il semblait donc essentiel de déterminer la diversité phénotypique et génétique des espèces présentes afin d'évaluer la singularité de *P. fuscovaginae*. Une analyse phylogénétique de ces espèces fondée sur l'ADNr 16S nous a permis de montrer que l'agent pathogène constitue un groupe phylogénétique différencié des autres espèces opportunistes ou pathogènes isolées de pourriture de gaines du riz de hautes et basses altitudes. Cette différenciation est confirmée par les caractérisations sérologique et pathogénique de *P. fuscovaginae*. Nous avons aussi pu mettre en évidence, par ces méthodes, une variabilité au sein de cette espèce. Mais cette première étude ne permet pas de relier la diversité génétique à l'origine géographique des isolats ou à leur variabilité sérologique ou pathologique. Il apparaît nécessaire d'approfondir l'étude de la structure génétique des populations de *P. fuscovaginae* à l'aide de marqueurs moléculaires plus adaptés à l'analyse de la diversité intra-spécifique. L'agent pathogène a été décrit dans des régions de riziculture traditionnelle — Madagascar, Népal, Japon — mais aussi dans des zones géographiques où l'implantation de la riziculture est récente (Afrique centrale, Amérique du Sud). L'analyse de la structure des populations de *P. fuscovaginae* pourrait permettre d'émettre des hypothèses sur l'origine et l'évolution des populations présentes dans ces différentes régions.

Dans le cadre d'une étude des relations entre *P. fuscovaginae* et le riz, il apparaissait fondamental de comprendre l'influence de la température sur les processus d'expression du pouvoir pathogène. Notre étude sur les conditions d'expression du pouvoir pathogène de *P. fuscovaginae* montre que les basses températures agissent négativement sur les différents paramètres du processus de pathogénie : pénétration dans les tissus de l'hôte, taux de multiplication *in planta* et croissance des symptômes. Au contraire, l'analyse épidémiologique, réalisée à Madagascar, met en évidence une augmentation de l'incidence de la pourriture des gaines avec l'altitude. Afin de comprendre la distribution de la maladie en haute altitude, nous avons étudié, à 1 650 m d'altitude, la dynamique au cours du temps de la pourriture des gaines au sein de la population hôte. Cette étude permet de conclure que l'épidémie de pourriture de gaine est monocyclique et dépendante de l'évolution du stade réceptif de l'hôte. La durée du stade réceptif étant négativement corrélée à la température, nous pouvons donc émettre l'hypothèse que la distribution de la pourriture des gaines s'explique par l'augmentation de la durée du stade réceptif de l'hôte. Bien que cette hypothèse suffise à expliquer la relation entre la maladie et l'altitude, il apparaît nécessaire de déterminer si la quantité d'inoculum primaire peut aussi être un facteur limitant de l'épidémie.

Les conclusions de notre étude sur la pourriture brune des gaines du riz permettent d'envisager une orientation générale pour l'amélioration du riz d'altitude pour la lutte contre la pourriture des gaines. De part la nature des épidémies de cette maladie, le contrôle de la maladie pourrait être fondé sur une réduction de la durée de la période réceptive de l'hôte ; néanmoins, à plus long terme, la recherche de sources de résistance devrait être envisagée. Notre étude devra aussi être élargie aux autres pourritures de gaines bactériennes mises en évidence en basse altitude. Il sera tout d'abord nécessaire d'approfondir la caractérisation des différentes espèces mises en jeu. L'étude de l'évolution de la maladie provoquée par ces espèces et du développement de l'hôte dans ces régions permettrait de comparer les paramètres épidémiologiques à ceux mis en évidence en haute altitude dans cette étude.

Références bibliographiques

BARBIER J.M., 1994. Elaboration du rendement chez le riz. *In* Elaboration du rendement des principales cultures annuelles, Combe et Picard (éditeurs), INRA, Paris, France, p. 53-72.

DECHANET R., RAVATOMANGA J., RAKOTONIRAINY, 1990. L'amélioration variétale du riz d'altitude à Madagascar. *In* Contraintes liées à la riziculture d'altitude et amélioration variétale, Bouharmont et Tilquin (éditeurs), CTA, Bujumbura, Burundi, p. 49-53.

DELP B.R., STOWELL L.J., MAROIS J.J., 1986. Evaluation of field sampling techniques for estimation of disease incidence. Phytopathology 76 : 1299-1305.

DETRY J.F., 1994. Protection intégrée contre la pyriculariose et la pourriture brune des gaines foliaires du riz en moyenne altitude au Burundi. Doctorat en sciences agronomiques, université catholique de Louvain, Belgique, 212 p.

DUVEILLER E., MIYAJIMA K., SNACKEN F., AUTRIQUE A., MARAITE H., 1988. Characterization of *Pseudomonas fuscovaginae* and differenciation from other fluorescent *Pseudomonas* occuring on rice in Burundi. J. Phytopathol. 122: 42-45.

ERCOLANI G.L., 1984. Infectivity titration with bacterial plant pathogens. Annu. Rev. Phytopathol. 22: 35-52.

GOTO M., ZEIGLER R.S., JOHN V.T., 1988. Progress in seed health research on seedborn and contaminant bacteria, viruses, and nematodes. *In* Proceedings of the International Workshop on Rice Seed Health, IRRI (Ed.), IRRI, Manila, Philippines, 16-20 March 1987, p. 131-142.

JAUNET T., 1990. Diagnostic et résistance variétale du riz *(Oryza sativa)* à *Pseudomonas fuscovaginae,* agent de la pourriture brune de la gaine. Rapport de recherche, CIRAD, Montpellier, France.

JAUNET T., LAGUERRE G., LEMANCEAU P., FRUTOS R., NOTTEGHEM J.-L., 1995. Diversity of *Pseudomonas fuscovaginae* and other fluorescent *Pseudomonas* isolated from diseased rice. Phytopathology 85: 1534-1541.

JAUNET T., NOTTEGHEM J.-L., DECHANET R., RAZAFINRAKOTO J., 1994. Disease assessment of the sheath brown rot of rice in Madagascar, caused by *Pseudomonas fuscovaginae. In* Proceedings of the 8th International Conference on Plant Pathogenic Bacteria, 9-12 juin 1992. M. Lemattre, S. Freigoun, K. Rudolph, and J.G. Swings (Eds), INRA Editions, Paris, France, p. 59-64.

JAUNET T., NOTTEGHEM J.L., RAPILLY F., 1996. Pathogenicity process of *Pseudomonas fuscovaginae,* the causal agent of sheath brown rot of rice. J. Phytopathology 144: 425-430.

LAGUERRE G., RIGGOTIER-GOIS L., LEMANCEAU P., 1994. Fluorescent *Pseudomonas* species categorized by using polymerase chain reaction (PCR)/restriction fragment analysis of 16S rDNA. Molec. Ecol. 3: 479-487.

MIYAJIMA K., 1983. Studies on the sheath brown rot of rice caused by *Pseudomonas fuscovaginae.* Activity Report, Hokkaïdo Prefectural Agricultural Experimental Station, p. 76.

RAPILLY F., 1991. L'épidémiologie en pathologie végétale : mycoses aériennes. INRA, Paris, France, 317 p.

ROTT P., HONNEGER J., NOTTEGHEM J.-L., RANOMENJANAHARY, S., 1991. Identification of *Pseudomonas fuscovaginae* with biochemical, serological and pathogenicity tests. Plant Dis. 75: 843-846.

ROTT P., NOTTEGHEM J.-L., FROSSARD P., 1989. Identification and characterization of *Pseudomonas fuscovaginae,* the causal agent of bacterial sheath brown rot of rice, from Madagascar and other countries. Plant Dis. 73: 133-137.

SCHAFER J., 1971. Tolerance to plant disease. Annu. Rev. Phytopathology 9: 235-252.

SHAKYA D.D., MANANDHAR H.S., 1994. Bacterial sheath brown rot of rice caused by *Pseudomonas fuscovaginae* in Nepal. *In* Proceedings of the 8th International Conference on Plant Pathogenic Bacteria, M. Lemattre, S. Freigoun, K. Rudolph, and J.G. Swings (Eds), INRA Editions, Paris, France, p. 73-79.

TANII A., MIYAJIMA K., AKITA T., 1976. The sheath brown rot disease of rice and its causal bacterium *Pseudomonas fuscovaginae* sp. nov. Annals of the phytopathological society of Japan 42: 540-548.

ZEIGLER R.S., ALVAREZ E., 1990. Characteristics of *Pseudomonas* spp causing grain discoloration and sheath rot of rice, and associated Pseudomonad epiphytes. Plant Dis. 74: 917-922.

ZEIGLER R.S., ALVAREZ E., 1987. Bacterial sheath brown rot of rice caused by *Pseudomonas fuscovaginae. In* Latin America. Plant Dis. 71: 592-597.

POISSON C., RAKOTOARISOA J., (édit.), 1997
Riziculture d'altitude
Actes du séminaire riziculture d'altitude,
29 mars-5 avril 1996, Antananarivo, Madagascar.
Colloques, CIRAD-CA, Montpellier, France, 272 p.

Rice diseases at high altitude

D.D. SHAKYA
Tribhuvan University, Kirtipur, Kathmandu, Nepal

Abstract — The major rice diseases in Nepal are rice blast *(Pyricularia oryzae)*, brown leaf spot *(Helminthsporium oryzae)*, sheath blight *(Rhizoctonia solani)* and bacterial leaf blight *(Xanthomonas oryzae)*. Sheat rot is probably due to *Pseudomonas fuscovaginae*. The recent field and laboratory studies are also described : diseases incidence, fungal flora, sheat rot, germplasm.
Keywords: rice, cold climatic condition, disease, Nepal.

Rice is the staple food of Nepalese people. Nepal is known to cultivate rice at highest altitude in the world. Of the total rice cultivated land 21% of which in hills (1000 to 2600 m). The country was rice exporter for long time. However, since 1987, the production of rice is not sufficient to meet the growing population at growth rate of 2% reaching the population more than 18 million (1991 census). The estimated population is more than 20 million in 1996. The agriculture land is decreasing due to urbanization of the country. Development and intensification of upland rice growing may help as a possible alternative for increasing rice production. On the other hand, constrainst in rice production is due to various rice diseases.

The major rice diseases in hilly regions are rice blast caused by *Pyricularia oryzae,* brown leaf spot caused by *Helminthosporium oryzae (Drechslera oryzae),* sheath blight caused by *Rhizoctonia solani* and bacterial leaf blight caused by *Xanthomonas oryzae* (previously only known to lower altitude but now prevailing hilly regions).

Sheath rot even in high altitude and cold climatic condition was considered due to *Sarocladium oryzae* (MANANDHAR, 1987). However, constant isolation of florescent *Pseudomonas* from rice plant parts affected with sheath rot symptoms, it was suspected that the disease might be of bacterial cause rather than fungal (SHAKYA, 1986, unpublished). This disease is known to cause by *Pseudomonas fuscovaginae* and is considered as a serious and widespread occurring at high altitude in Japan and also in Latin America countries (TANII *et al.*, 1976; MIYAZIMA, 1983; DUVEILLER *et al.*, 1988; ZIEGLER and ALVAREZ 1987; ROTT and NOTTEGHEM, 1987).

D. D. SHAKYA (1991, 1992), reported for the first time that sheath rot in high altitude rice of Nepal was caused by *P. fuscovaginae* rather than *S. oryzae*. This investigation had been undertaken under the collaborative project between Tribhuvan University (TU) and IRAT/CIRAD within the frame of EEC/TS 2-0045-B (GDE) contract research 1990. The cultures of *P. fuscovaginae* have been deposited in phytopathology laboratory CIRAD, Department of Plant Pathology University of Hawaii, ICMP New Zealand.

High land rice research has been extended in Nepal under agreement between CIRAD and ECARD within the framework of an EEC STD3 project.

Field and Laboratory Studies

Year 1992-1994

In 1992 September, field visit was made to Lumle Regional Agricultural Research Centre (LRARC) with French team led by Mr. T. JUNNET. Incidence of sheath rot, blast and sheath blight were observed, diseased sheaths and seed samples affected with

sheath not were collected from Lumle field and were assayed by Dot-Blot ELISA in the phytopathology laboratory of TU Mr. JUNNET had brought the necessary lit for the ELISA test.

In Dot-Blot ELISA, 10 of chhomrong and 4 samples Hungarian lines assayed for *P. fuscovaginae* five samples of chhomrong and 3 samples of Hungarian lines were positive for this pathogen.

Fungal Flora

This year attention was also made to know the mycoflora associated with heath rot, discoloured seeds, sterile and rusty panicles. Twenty-one samples collected from different localities of Bagmati region were assayed for fungal flora, 15 pathogenic fungi including *Pyricularia oryzae, Fusarium moniliformae, Drechslera oryzae* and *Nigrospora oryzae* had been detected. Highest percentage of *F. moniliformae* (2-78%) and *N. oryzae* (2 to 37%) were detected on all 21 samples. The detection of other fungi were below 15%. So far *Sarocladium oryzae* was not detected in any of the samples. Still the attempts to detect *S. oryzae* is going on.

New Development

Since our visit to LRARC, the phytopathologist and agronomist have become aware of bacterial sheath rot disease has been occurring since long time at Lumle.

Year 1994

In 1994, one set of germplasm (14 lines) was screened for phytopathological constraints in TU, Kirtipur and Lumle sheath rot was noted on cultivar IR-42000-211-1-2-2, CT6744-F2-CA-10, SR1084332-2-4-2, SR11133-23-2-4-2-1-3, 76-59 (Acc. 97/5651 and IR 39739-4-31). High susceptibility of leaf and neck blast was recorded on CT6734-9-4-6, SR10843-32-1-4-2, China 1039 and K 454-61-1-35. However, sheath rot caused by *Rhizoctonia* sp. was recorded in almost all 14 line in the trial performed according to international standard provided 50:20:20 kg NPK/ha and spacing from plant to plant 25 cm. It was interesting to note that this disease caused by *Rhizoctonia* sp. was negligible in the field plot performed according to local farmers' practice (spacing 12.5 cm and Urea only as the fertilizer).

During Jumla visit on September 1994 led by Pr. J. Bouharmont, suspected sheath brown rot *(P. fuscovaginae)* was observed on some varieties of Madagascar germplasm on experimental plot by ECARDS. The samples were collected and assayed for *P. fuscovaginae* in TU sheath brown rot and blast were observed in many farmers field irrigated with cool water.

P. fuscovaginae was isolated from varieties 2046 Turki, Jumle marshi and 4/24 JRL. Sample collected from Dhapasi experimental plot (ECARD) *P. fuscovaginae* was isolated from C51F2 44/5 and Jumle marshi.

Year 1995

Field observation (ECARD plots) was made on 8th October 1995 in Dhapasi, Kathmandu. The IET (Initial Evaluation Trial) lay out plot was dry and at higher terrace, while TET (Transplant Evaluation Trial) lay out plot was moist and at lower terrace.

The diseases observed on IET plots were neck blast, leaf blast, sheath blight and sheath rot. The intensity of sheath rot was less in IET with fertilizer. However, in the TET plot provided with fertilizer sheath rot was observed in all varieties and intensity was also more in comparison to plot without fertilizer. In this TET plot neck blast was observed only in a few varieties. In Jumla field observation was made in second week of October. The field trail performed by local Jumla Experiment Station with 9 varieties, International Rice Cold Tolerant (IRCT) varieties including IRAT 380, sheath rot was observed in all varieties one of which had no flowering (variety BIJI GLUT Rice 95). Florescent pseudomonas were isolated from all varieties and the identification of isolates are under progress.

POISSON C., RAKOTOARISOA J., (édit.), 1997.
Riziculture d'altitude
Actes du séminaire riziculture d'altitude,
29 mars-5 avril 1996, Antananarivo, Madagascar.
Colloques, CIRAD-CA, Montpellier, France, 272 p.

Bacterial sheath brown rot of rice caused by *Pseudomonas fuscovaginae* in Nepal

S. SHARMA[1], B.R. STHAPIT[2], P.M. PRADHANANG[3], K.D. JOSHI[4]
1. Lumle Agricultural Research Centre, Nepal
2. Nepal Agricultural Research Council, Khumaltar
3. Lumle Agricultural Research Centre, Nepal
4. Local initiatives for biodiversity, Research and development, PO Box 324, Pokhara, Nepal

Abstract — Bacterial sheath brown rot is an important disease of rice in high altitude and high rainfall ecosystems of Nepal. The disease is induced by chilling temperatures and caused by *Pseudomonas fuscovaginae*. Several research studies were undertaken by Lumle Agricultural Research Centre (LARC) to investigate relative importance of the disease at different altitudes, sources of resistance, epidemiology, and other hosts of the pathogen. The incidence of the disease was high at Lumle, Ghandruk and Chhomrong, ranging from an altitude of 1600 m to 2000 m. The strategies adopted by LARC for sheath rot disease management include the identification of suitable local varieties for parents such as Chhomrong Dhan, Takmare, local varieties Kalopatle and Seto Darmali and Seto Bhakunde for including in crossing programme. Crosses with exotic and field resistant local parents have produced several promising lines, one of which has already been in mid-high altitude under the name of release Machhapuhhre-3. Laboratory analysis revealed that more frequency of *Sarocladium* sp. and *Gelarchia* sp. were found in the samples collected below 1250 m while they were absent in the samples from higher altitudes. Though greenish light brown highly fluorescent colonies were isolated from the samples above 1400 m some suspected colonies were also observed in lower altitudes.
Keywords: bacterial, sheath brown rot, rice, *P. fuscovaginae*, ShBR, high altitude, local varieties.

Introduction

Rice (*Oryza sativa* L.) is the most important food crop in Nepal. It is grown in 60% of the cultivated land and in 1993/1994 the total area under rice was 1,453850 ha with an average yield of 2.4 t/ha (CBS, 1995). Broadly, rice is grown in three physiographic regions namely terai/low hill (60-300/300-900 m), mid hills (1000 m asl1500 m) and high hills (above 1500 m) occupying 70%, 23% and 2% respectively while in inner terai (100-900 m asl) it is 5%. Approximately 26% rice land falls within the temperate region (1000-2000 m). The highest rice cultivation so far recorded in Nepal is located at an altitude of 2780 m in Chhumchaur, Jumla (BHANDARI, 1995).

In Nepal, importance of rice diseases varies with different ecological zones. The major diseases in the mid and high hills are neck blast *(Pyricularia oryzae)* and bacterial sheath brown rot (ShBR) *(Pseudomonas fuscovaginae),* while in low and middle hills (800-1300 m) foot rot *(Fusarium moniliforme)* is more destructive in local varieties in foot hills (475 m) leaf blight (*Xanthomonas campestris* pv. *oryzae*) is sporadic in nature while it is a major disease in terai. Brown leaf spot *(Bipolaria oryzae)* occurs in low fertility and poorly managed soil in low hill and terai.

ShBR is one of the most important diseases of rice in high altitude and high rainfall environments of Nepal (JOSHI *et al.*, 1993; PRADHANANG, 1993; STHAPIT *et al.*, 1995). The causal organism was first reported in 1976 from Hokkido, Japan as *Pseudomonas fuscovaginae* (TANII *et al.*, 1976) MIJAYAJIMA *et al.*, 1983). The bacterium was also found in ShBR samples collected from Western Nepal (PRADHANANG and GHIMIRE, 1994). Recently, *Pseudomonas fuscovaginae* isolates from Lumle has been biochemically typed as G1 and G10 (JAUNET *et al.*, 1995).

Susceptibility of wheat to ShBR was demonstrated by artificial inoculation in Mexico (DUVEILLER and MARAITE, 1990). ShBR is also found in wheat at Lumle Agricultural Research Centre (LARC) in spring season. Prevalence of the disease was also noted at Nigale Agricultural Research Centre (situated at 2200 m), Nepal in 1994 and 1995 in wheat cv *Morocco*.

Since 1975, thousands of exotic rice varieties/lines introduced through International Rice Cold Tolerance Nursery (IRCTN) have been tested. As a result Kanchan, Himali, Khumal-3, Khumal-7 and Khumal-9 were released for mid and Palung-2 for high hill. But none of the exotic materials were superior to local varieties with respect to cold tolerance and ShBR resistance in high hills. Some of the local varieties were identified as cold tolerant, however, their yields were poor (THAPA *et al.*, 1995). Among local cultivars, LARC identified cold tolerant and ShBR tolerant variety Chhomrong Dhan which was released for an altitude above 1400 m (STHAPIT, 1992).

In the western hills of Nepal, rice cultivation above 1500 m has become popular as a result of release of Chhomrong Dhan and also due to decline in potato cultivation because of serious out break of bacterial wilt *(Pseudomonas solanacearum)* (PRADHANANG *et al.*, 1992). Considering the importance of rice for high elevation, LARC started screening indigenous and exotic lines to identify better quality rice varieties with ShBR resistance since 1989.

ShBR inheritance studies conducted by STHAPIT *et al.* (1995) found that selection for taller plants with better panicle exertion gave a genetic gain for greater chilling tolerance and higher ShBR field resistance. Thus local materials with field resistance were utilised for crossing programme.

The purpose of the studies reported here were:
– to determine some environmental interactions affecting *P. fuscovaginae;*
– to identify the other causal organisms associated with sheath rot complex;
– to study ShBR in wheat under rice wheat ecosystem.

Material and methods

Disease monitoring

Field visits were made by plant pathologists during normal rice growing season at different growth stages of the crop. Local widely adapted materials were collected for further evaluations.

Disease monitoring was done during September, October and November, 1995 at Kundaharphant (700 m), Arghaun (750 m), Hemja, Suikhet (1010 m), Shera (1250 m), Ghandruk (2000 m), and Chhomrong (2000 m). Farmers' local and improved varieties were studied for the presence of the bacterium on altitudinal basis. The disease incidence in farmers' field was estimated randomly in 1 m^2 area by counting ShBR affected and healthy panicles.

Identification of source of resistance

Several exotic and local landraces were tested at Chhomrong and Lumle in the past and evaluation for ShBR incidence were done on the basis of percentage of infected tiller. National Rice Cold Tolerance Nursery (NRCTN) and International Rice Cold Tolerance Nursery (IRCTN) were used for this purpose.

Epidemiological study

Thirteen ShBR susceptible varieties and Chhomrong Dhan as resistant check were used to study environmental interactions affecting *P. fuscovaginae*. The experiment was conducted at Shera (1250 m), Lumle (1675 m) and Ghandruk (2000 m) (PRADHANANG and GHIMIRE, 1994). At Lumle and Shera, crops were grown under irrigated condition while at Ghandruk the experiment was conducted under upland condition. Sheath rot incidence was recorded based on the number of tiller infected. In resistant variety Chhomrong Dhan sheath rot symptoms were expressed as discolouration of the flag leaf sheath where as in the other varieties sheath rot symptoms were severe. Irrespective of the symptoms, infected tillers were counted as sheath rot positive. The other observation such as maximum, minimum temperature, relative humidity and rainfall were recorded daily.

In 1995, sheath rot incidence was recorded in the preliminary yield trial consisting of 9 varieties at Chhomrong and Lumle. Statistical analysis on sheath rot data was performed to fiod out location and varietal effect on disease incidence.

Diagnosis and pathogenicity test

ShBR affected rice plants were collected from farmers' fields of different altitudes. Bacteria were grown on plates of King's medium B and KBC

media for 24 h at 28 °C (DUVEILLER *et al.*, 1988). Presence of fungal pathogen were studied by blotter test. Representative plant samples were sent to laboratoire de phytopathologie, université catholique de Louvain (UCL), Belgium for confirmation of the ShBR associated pathogen.

P. fuscovaginae from wheat was also isolated as described above. Twenty four hour culture of the bacterium was resuspended in sterile distilled water and inoculated on the cultivar Morocco at booting stage. Plants were covered by polythene to maintain high humidity at 20 °C.

Results and discussion

Disease monitoring

The disease incidence in cv Khumal-4, Raksali and other local varieties were higher with an increase in altitude as expected. The incidence of sheath rot in Khumal-4 in Chieu (1180 m) was 2.1%, while in Biruwa (1400 m) the disease was recorded up to 9% (Table I). The incidence of ShBR was low in locally adapted varieties. Local varieties such as Seto Darmali, Marshi and Chhomrong Dhan and progenies of Chhomrong e.g, Machhapuchhre-2, Machhapuchhre-3 and Machhapuchhre-4 exhibited very low ShBR incidence in mid and high hills STHAPIT (1992) also found field resistance to ShBR in many indigenous landraces. The varieties listed in Table I showed that sheath rot is not a serious problem in locally adapted varieties.

Palung-2 and Tangrinige showed highest level of susceptibility to ShBR with the incidence ranged between 16 and 20%, whereas Lumle-1 and Lumle-2 were free from ShBR under the natural condition in Chhomrong.

Table II shows that some progenies of Fuji 102/Jumli Marshi were 100% affected by ShBR under natural conditions at Chhomrong. The crosses of Akiyudaka and Jumli Marshi and Chhote Marshi showed less sheath rot however they had high incidence of neck blast.

Sheath rot disease is also found in other parts of the country eg. Kavre farm in the east and Jumla in mid western Nepal.

Identification of sources of resistance

The incidence of ShBR was low in progenies IR 36 and Chhomrong Dhan, Fuji 102/NR10078-100 (Table II). Takmare, Sinjali, Seto Darmali, Machhapuchhre 2, 3, and 4 were identified as field resistant varieties to sheath rot diseases. Last year's data of NRCTN shows that varieties LR 88001-7L-OL, and LR 88001-8C-OL were found promising with respect to ShBR resistance (JOSHI *et al.*, 1996).

Lines such as NR10293-025J-4J and NR10293-025J-5J selected in other environments were fully susceptible to the disease in the high hills of Nepal (Table II). Therefore, LARC's strategy has been to screen introduced lines under local environments for few years prior to use them in crossing programmes.

Table I. Occurrence of sheath rot in farmer's field in different altitude in Western hills.

Varieties	Type of Cultivar	Altitude	Sheath rot %
Khumal-4	Improved	1180	2.1
		1250	2.9
		1300	4.9
		1400	9.0
Raksali	Landrace	1200	1.1
		1300	4.5
		1400	4.9
Seto Darmali	Landrace	1450	0.0
		1500	1.5
Marshi	Landrace	1200	0.0
		1350	0.6
Juwari	Landrace	1200	3.7
		1300	3.5
Chinia	Landrace	1200	8.4
Palung-2	Improved	1250	20.0
Khumal-7	Improved	1380	6.7
Tangrinige	Landrace	1300	16.4
		1400	17.3
Takmara	Landrace	1550	4.4
Sinjali	Landrace	1550	2.3
		1600	2.3
Chhomrong Dhan	Standard Check	1800	1.5
Machhapuchhre-2	Improved	1800	0.5
		1870	0.6
Machhapuchhre-3	Improved	1810	0.7
		1850	1.1
Machhapuchhre-4	Improved	1800	0.8
		1850	0.0
Lumle-1	Improved	1750	0.0
Lumle-2	Improved	1810	0.0

ShBR has also been found on *Ghaiya dhan* (Upland rice) at Chyanglitar (500 m) but was found to be caused by *Sarocladium* sp. (S. SHARMA/unpublished data).
Sheath rot disease is also found in other parts of the country eg. Kavre farm in the east and Jumla in far mid western Nepal.

Table II. Sheath Brown Rot disease incidence in selected rice entries in National Cold Tolerance Rice Nursery 1995 at Chhomrong.

Variety	Parent	Panicle discoloration	Sheath rot %
NR10251-8-2-3-3	Fuji 102/NR10078100	19.4	1.0
NR10254-3-1-3	NR10078-100-3-31/JM	0.0	36.4
NR10262-9-2-33	IR36/Chhomrong	4.5	1.8
Jumli Marshi		38.1	2.8
NR10288-15J-3J	Akyudaka x Jumli Marshi	0.0	30.8
NR10258-25J-4J	Fuji 102/Jumli Marshi	0.0	1.0
NR10293-025J-4J	Fuji 102/Jumli Marshi	0.0	100
NR10293-025J-5J	Fuji 102/Jumli Marshi	0.0	100
NR10325-20	NR10078-100-3-31/Darmali	6.6	23 8
N R10325-27	NR10078-100-3-31/Darmali	0.8	38.4

Epidemiological study

ShBR incidence was highest, 18.3 to 65.8 at Ghandruk; moderate, 6 to 51, at Lumle; and lowest, 0 to 3.1% at Shera site irrespective of the varieties used in this experiment. There was definite location or environmental effect. The average disease incidence was highest at Ghandruk (49.8), followed by Lumle (23.2) and lowest at Shera (1.3) showing that environmental factors were more congenial to disease development at Ghandruk and Lumle. Cooler temperatures combined with high rainfall and humidity must have been the contributing factors for the disease development (Figures 1 and 2). These results support the findings of MIYAJIMA *et al.* (1983) that sheath rot develops where low temperature and high humidity occurs during booting and heading stages. The temperatures recorded from booting to heading stages was 18 °C, 19 °C and 21 °C in Ghandruk, Lumle and Shera respectively (PRADHANANG and GHIMIRE, 1994).

In 1995, in a preliminary yield trial conducted at Lumle (1675 m) and Chhomrong (2000 m) ShBR occurred in both locations.

The incidence of sheath rot was higher at Chhomrong than at Lumle (Table 3). Figures 1 and 2 support the cause for the higher incidence of sheath rot at Chhomrong due to cooler temperatures than Lumle during booting stage. The least occurrence of ShBR at Shera was due to warmer temperature (above 25 °C) during booting stage (Figure 1).

The average incidence of ShBR was low (Table III) in both locations because the test lines were derived from a well adapted parents. ShBR incidence did not significantly differ between varieties at both locations. However, some of the rice lines behaved differently when grown at different environment and as a result there was significant interaction between the test lines and the locations.

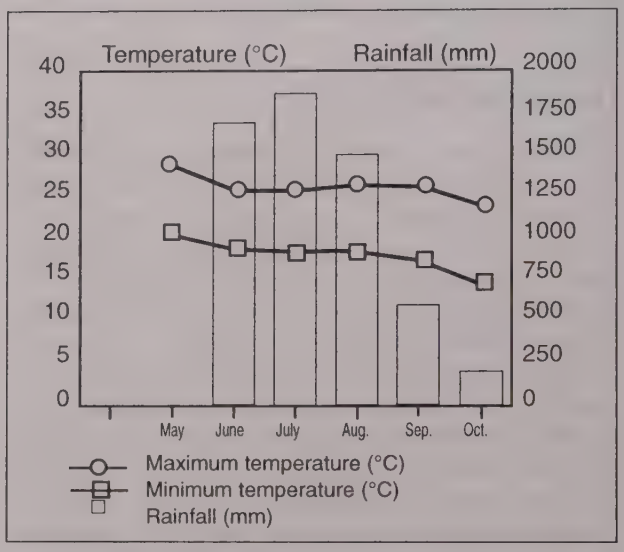


Figure 1. *Maximum and minimum temperature and rainfall at Shera (1250 m) during rice growing period, 1995.*

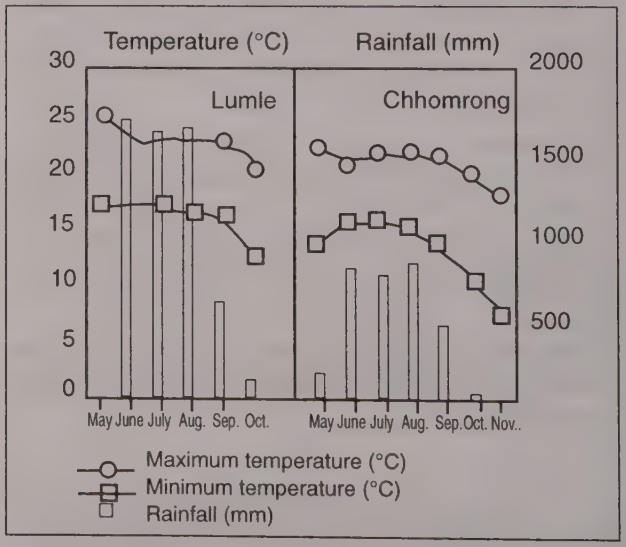


Figure 2. *Maximum and minimum temperatures and rainfall at Lumle and Chhomrong during rice growing period, 1995.*

Table III. Sheath rot incidence (%) in Preliminary Yield Trial at Lumle and Chhomrong testing sites, 1995.

Variety	Infected tiller (%)		Sheath rot % combined over location
	Chhomrong	Lumle	
1. LR 88001-21C-OC-OC	4.63	1.21	2.9
2. LR 88007-9C-OC	3.80	2.95	3.4
3. LR 88001-6L-OC-OC	6.27	1.10	3.7
4. Machhapuchhre-3G	6.03	3.36	4.8
5. Machhapuchhre-3C	4.05	1.21	2.6
6. LR 88001-7L-OL-OC	8.35	1.10	4.7
7. LR88001-8C-OC-OL	9.13	4.20	6.7
8. Nilgiri-1	10.85	4.19	7.5
9. Chhomrong Dhan	8.90	4.40	6.7
Mean	6.8	2.6	-
SED	2.9	1.7	-
P	0.23	0.24	-
SED for variety (g)			1.84 ns
SED for location (e)			0.87 ns
SED for g x e			2.61***

Diagnosis of the causal pathogen and pathogenicity test

A clear greenish light chocolate brown colonies indicative of *P. fuscovaginae* were isolated from the disease samples of Dhikurpokhari (1400 m), Ghandruk (1800 m asl) and Chhomrong (2000 m). From higher altitudes *P. fuscovaginae* was found, however, fungus *Nigrospora* sp. was also isolated from Lumle and Chhomrong (H. MARAITE, Personal communication).

Several fungi were found associated with the sheath rot infected heads at lower elevation ranging from 750 m to 1250 m. Higher frequency of *Gelarchia oryzae* and *Sarocladium* sp. were found in lower altitude (700-1250 m). Other pathogen isolated in the sheath rot samples at lower elevation were *Curvularia* sp., *Alternaria* sp., *Fusarium* sp., *Cladosporium* sp., *Drechleria oryzae,* and *Pyricularia oryzae.*

Frequent occurrence of blackish lesions with water soaked areas and variation of effect on ear emergence was observed at Nigale Farm in 1994 and Lumle Agricultural Research Centre in 1995 (SHARMA *et al.,* 1995). Clear bacterial oozing was observed under the dark field of microscope (DUVELLIER, personal communication). The pathogen was isolated at Plant Protection Laboratory of LARC and pathogenicity test was found strongly positive and collapse of the plant of Morocco variety of wheat occurred after five days of inoculation.

Conclusion

Sheath rot disease is not a serious problem in local widely adapted varieties while it could be a major problem in introduced varieties. There is an increasing trend of sheath rot disease with an increase in altitude.

The cold tolerant varieties Machhapuchhre-2, Machhapuchhre-3 were resistant to ShBR. Machhapuchhre-4 produced discolouration on flag leaf however, without adverse effect on panicle emergence. These varieties are also resistant to leaf blast and have better quality grain type.

Expression of the disease is greatly influenced by rainfall and temperature. Interestingly, there was interaction of varieties with the location for disease expression suggesting that further research is necessary to understand influence of environment in causing the disease.

The rice based cropping pattern in the high altitudes of Nepal is either rice-wheat or rice-barley. Since *P. fuscovaginae* causes ShBR both in rice and wheat, further research is necessary to understand ecological aspect of the bacterium under rice-wheat system. In low altitudes, the dominant rice based cropping pattern is rice-wheat. Under these environment, besides *S. oryzae* a large number other fungi was found in ShBR affected rice plants. Therefore, a detailed pathogenicity test is required to determine the major causal pathogen of ShBR. There is a need for collaborative efforts with different national and international organisations for detail study of sheath brown rot disease.

Acknowledgements

The authors are grateful to Dr. P.E. HARDING, Director and Dr. C.N. FLOYD, Research Adviser, Lumle Agricultural Research Centre for their support in doing this research. We are very thankful to Dr. C. POISSON, from CIRAD-CA, for providing opportunity and financial support in presenting this paper. Were are thankful to Dr. R.P. SAH and Mr R.R. PANDEY for cooperation on preparing this report and to Dr. E. DUVEILLER and Pr. H. MARAITE for their encouragement in doing bacterial brown sheath rot disease study in Nepal. Our sincere thanks go to Mr B. BASNET and Messrs T.B. GURUNG and Khim CHHETRI for hard work during field monitoring and word processing respectively.

Lumle Agricultural Research Centre is funded by the Overseas Development Administration (ODA) of the British Government, and works in close collaboration with His Majesty's Government of Nepal (HMGN). The support of both governments is gratefully acknowledged.

References bibliographiques

BHANDARI H.S., 1995. High altitude rice varietal improvement in Nepal strategies for varietal development. Paper presented at 18th summer crops workshop at Rampur.

CBS, 1995. Statistical Year Book of Nepal. Central Bureau of Statistics, Kathmandu, Nepal.

DUVEILLER E., MIYAJIMA K., SNACKER F., AUTRIQUE A., MARAITE H., 1988. Characterization of *Pseudomonas fuscovaginae* and differentiation from other fluorescent pseudomonas occurring on rice in Burundi. J. Phytopathology 122, 97-107.

DUVEILLER E., MARAITE H., 1990. Bacterial sheath rot of wheat caused by *Pseudomonas fuscovaginae* in the highland of Mexico. Plant Disease 74: 932-935.

JAUNET T., LAGUERRE G., LEMANCEAU P., FRUTOS R., NOTTEGHEM L.J. (1995). Diversity of *Pseudomonas fuscovaginae* and other fluorescent pseudomonas isolated from diseased rice. Phytopathology 85: 1534-1541.

JOSHI K.D., RANA R.B., DEVKOTA H.P., SUBEDI M., BUDHATHOKI C.B., SUBEDI K.D., 1993. Rice varietal improvement research report (1992). Working Paper No. 93/14. Kaski, Nepal. Lumle Agricultural Research Centre, 59 p.

JOSHI K.D., STHAPIT B.R., SUBEDI M., BUDHATHOKI C.B., GURUNG T.B., GC, Y.D., GURUNG R.B., 1996. Rice varietal improvement research report, 1994. LARC Working Paper. No. 93/12. Kaski, Nepal, Lumle Agricultural Research Centre, 140 p.

MEW T.W., 1991. Rice diseases. In rice production Volume 1, 2nd edition. B.S. Luh, AVI Book, New York, USA, p. 187-236.

MIYAJIMA K., TANII A., AKAITA, T., 1983. *Pseudomonas fuscovaginae* sp., nom. rev. Int. J. Syst. Bact. 33: 656-657.

PRADHANANG P.M, PANDEY R.R., GHIMIRE S.R., DHITAL B.K., SUBEDI A., 1992. An approach to management of bacterial wilt of potato through crop rotation and farmers's participation. LARC Seminar Paper 1992/21, Pradhanang P.M. (1993). Survey of sheath rot disease of rice in Ghandruk and Chhomrong (7-9) October, 1993. Trip Report 6 p. Kaski, Nepal. Lumle Agricultural Research Centre.

PRADHANANG P.M., GHIMIRE S.R., 1994. Sheath rot resistance in cv Chhomrong Dhan and epidemiology of the disease. LARC Working Paper No. 94/8. Kaski, Nepal. Lumle Agricultural Research Centre.

SHARMA S., STHAPIT B.R., JOSHI K.D., 1995. Occurrence of bacterial sheath rot disease of wheat in mid hill of Nepal. Paper presented at working group meeting at Bhairahawa, Siddhartha Nagar, September 7-10, 1995.

STHAPIT B.R., 1992. Chilling Injury of Rice Crop in Nepal. A review. J. Inst. Agric. Anim. Sci. 13: 1-32.

STHAPIT B.R., PRADHANANG P.M., WITCOMBE J.R., 1995. Inheritance and selection of field resistance to sheath brown rot disease in rice, Plant Disease, Vol. 79, No. 11.

TANII A., MIYAJIMA K., AKITA T., 1976. The sheath brown rot disease of rice and its causal bacterium *Pseudomonas fuscovaginae* sp. nov. Ann. Phytopathol. Soc. Jpn. 42: 540-548.

THAPA D.B., BHANDARI H.S., DHAMI N.B., 1995. Rice varietal improvement work for hills. Paper presented on summer crops workshop held at National Rice Research Programme, Parwanipur, Bara, Nepal, 27-29 February 1996.

POISSON C., RAKOTOARISOA J., (édit.), 1997
Riziculture d'altitude
Actes du séminaire riziculture d'altitude,
29 mars-5 avril 1996, Antananarivo, Madagascar.
Colloques, CIRAD-CA, Montpellier, France, 272 p.

Effets biologiques des toxines produites par *Pseudomonas fuscovaginae* chez le riz et sélection *in vitro* pour la résistance

H. BATOKO[1], J. BOUHARMONT[1], H. MARAITE[2]
1. Laboratoire de cytogénétique, place Croix du Sud 5, boîte 13,
université catholique de Louvain, 1348, Louvain-la-Neuve, Belgique
2. Unité de phytopathologie, place Croix du Sud 2, boîte 3, université catholique de Louvain,
1348, Louvain-la-Neuve, Belgique.

Résumé — La bactérie *Pseudomonas fuscovaginae,* pathogène du riz, produit pendant la phase de croissance exponentielle des lipopeptides phytotoxiques. Cette toxine bactérienne peut reproduire les symptômes caractéristiques de la maladie, en particulier le blocage de l'exertion de la panicule. La toxine affecte l'élongation des organes de la plante en croissance. Au niveau cellulaire, la phytotoxicité se traduit par des pertes de solutés et l'inhibition de l'ATPase « pompe à protons » de la membrane plasmique des cellules affectées. A différents niveaux d'organisation (plantes entières, tissus, cellules en culture), le niveau de sensibilité relatif des cultivars évalués corrobore celui de leur susceptibilité à la maladie en champ et en conditions contrôlées. L'utilisation de cette toxine comme agent de pression de sélection des cellules de riz en culture a permis l'obtention de vitrovariants moins sensibles à la toxine et des descendants plus résistants au pathogène.
Mots-clés : pourriture brune, phytotoxine, syringotoxine, fuscopeptine, H⁺ATPase, membrane, *Oryza sativa,* vitrovariation, criblage, sélection.

Introduction

Pseudomonas fuscovaginae est l'agent causal de nécroses brunes de la gaine foliaire du riz, en régions tropicales d'altitude où sévit une humidité élevée et des températures basses. La maladie fut décrite d'abord au Japon dans les années 70, puis plus tard, au Burundi, à Madagascar, en Colombie et, très récemment, au Népal.

Les symptômes de la maladie, négligeables en pépinière et quasi inexistants pendant la montaison, apparaissent lors du stade de gonflement et sont caractérisés par des lésions nécrotiques sur gaines et principalement sur la dernière gaine appelée gaine paniculaire (MIYAJIMA, 1983 ; NTIBISHIMIRWA, 1991 ; DETRY, 1994). En cas d'attaque grave, on peut observer un blocage partiel ou total de la sortie paniculaire entraînant une stérilité des épillets. C'est cette dernière conséquence de la maladie qui affecte directement le rendement en grains des plantes infectées. Des symptômes identiques causés par cette bactérie, avec une même chronologie au cours du développement de la plante, ont été décrits chez d'autres *Poaceae* sauvages ou cultivés : c'est le cas par exemple du blé et du sorgho (MIYAJIMA, 1983 ; DUVEILLER *et al.,* 1989 ; DUVEILLER et MARAITE, 1990).

La bactérie produit *in vitro,* et vraisemblablement *in vivo,* des exotoxines (FLAMAND *et al.,* 1996 ; BALLIO *et al.,* 1996). Des études préliminaires au laboratoire de phytopathologie de l'UCL (Université catholique de Louvain) ont montré que l'extrait de culture de la bactérie peut reproduire les nécroses symptomatiques de la maladie chez des plantes saines de riz et de blé. Nous nous sommes donc intéressés aux effets biologiques *in vivo* et *in vitro* des molécules bioactives excrétées par cette bactérie en relation avec la susceptibilité variétale du riz à cette bactériose. En effet, si ces toxines produites jouent un rôle dans l'induction ou l'expression des symptômes de la maladie, et si la sensibilité variétale peut être corrélée au degré de susceptibilité à la bactériose, des individus tolérants à ces composés

constitueraient non seulement un outil important pour la compréhension des mécanismes en relation avec la pathogenèse chez les hôtes de cette bactérie, mais aussi, au cas où cette tolérance aurait une base génétique, un matériel pouvant être incorporé dans un schéma d'amélioration variétale.

Les toxines de *P. fuscovaginae*

In vitro, la bactérie excrète des lipopeptides phytotoxiques dans un milieu simple, celui de Ayer Rupp et Johnson (AZEGAMI *et al.,* 1985). Comparativement à d'autres milieux cités dans la littérature, nous n'avons pas trouvé un autre milieu donnant un rendement en toxine plus important. La production des toxines se fait pendant la phase de croissance exponentielle de la population bactérienne. Les cultures sont effectuées sous agitation pendant 48 h. L'extrait de culture brut débarrassé de bactéries et autres macromolécules subit un ensemble de traitements physico-chimiques (concentration, centrifugations, fractionnements en HPLC) en vue de purifier les composants phytotoxiques. Les analyses structurales élémentaires ont montré que le composé majoritaire phytotoxique est la syringotoxine, une phytotoxine de nature lipopeptidique aussi produite par des écotypes de *Pseudomonas syringae* (FLAMAND *et al.,* 1966). C'est aussi un biocide à large spectre avec des propriétés biosurfactantes. Grâce à une collaboration avec le professeur Ballio de l'université de Rome (La Sapienzá), en plus de la syringotoxine dont la nature a été confirmée, 2 autres substances inédites et dénommées respectivement fuscopeptine A et fuscopeptine B ont été caractérisées. Ces fuscopeptines ont une phytotoxicité relativement plus élevée, mais très peu ou pas de toxicité sur champignons.

Phytotoxicité et sensibilité variétale

L'étude des effets des toxines sur plante entière ont porté essentiellement sur 2 cultivars avec des degrés de susceptibilité à la bactériose connus :

– Facagro 57, cultivar semi-nain burundais, très sensible à la bactériose, que nous désignerons par le nom de code H57 ;

– un cultivar rustique malgache Ambalalava, à grande paille et tolérant à la bactériose, désigné, par la suite, sous le nom de code M1283.

Comme la bactérie, le mélange toxique provoque chez des plants de riz sains, après infiltration au stade début gonflement (stade 39 d'après le code décimal de ZADOCKS *et al.,* 1974), une nécrose des gaines. Dans les deux cas, ces nécroses restent un critère de comparaison qualitatif entre traitements mais ne permettent pas une discrimination rigoureuse des génotypes pour leur sensibilité, même dans les conditions contrôlées (DETRY, 1994 ; BATOKO *et al.,* 1997). Le critère qui nous a paru approprié pour ce type d'évaluation est la sévérité de l'inhibition de l'exertion de la panicule, facilement quantifiable, et résultant de la réduction de l'élongation du pédoncule et des entre-nœuds sous-jacents. Comparativement au témoin, le mélange toxique de *P. fuscovaginae* reproduit ce symptôme (tableau I) ; la sévérité étant par ailleurs proportionnelle à la concentration relative utilisée.

La croissance des organes de la plante est aussi affectée. Chez les plantes témoins du cultivar H57, par exemple, entre le début gonflement et la maturité, le pédoncule passe de 0,6 cm à 35 cm, et l'entre-nœud sous-jacent voit sa taille multipliée par 5 environ. Les mesures effectuées sur les plantes après traitement à la toxine bactérienne montrent une réduction forte de l'élongation de ces organes (tableau I). Au niveau de la plante entière, la conséquence de ces effets se traduit par un blocage, qui peut être total, de l'exertion de la panicule. Le rapport de plantes affectées étant respectivement de 2 plantes sur 3 pour le cultivar sensible H57, et d'une plante sur 4 pour le cultivar tolérant M1283. Les résultats observés avec la toxine bactérienne ont été comparés aux altérations provoquées par un traitement au méthyl-viologen (paraquat), un herbicide prooxydant capable d'induire des nécroses foliaires. Il apparaît que la réduction de la croissance des organes de la plante n'est pas directement liée à l'étendue des nécroses, la toxine affectant cette croissance de manière singulière.

Par la suite, les effets de la toxine bactérienne sur la germination, le développement racinaire et la taille des plantules de riz *in vitro* ont été évalués sur 5 cultivars de sensibilité différente en champ à la bactériose. La toxine stimule la germination après imbibition des graines mais n'a pas d'effet significatif sur le développement racinaire. En revanche, la toxine provoque une inhibition drastique de l'élongation des plantules issues de graines traitées. La comparaison intervariétale de l'indice de sévérité de cette inhibition montre une reproduction du classement de leur comportement en champ vis-à-vis de la bactériose (BATOKO *et al.,* 1994).

Tableau I. Effets des toxines de *P. fuscovaginae* sur l'élongation de riz et la croissance de l'internœud entre l'émergence et la maturité. Les valeurs sont les moyennes de deux expériences indépendantes ± une erreur standard.

Stade de la plante	Taille de la tige	Taille (cm) de l'entrenœud				
		PE	EN1	EN2	EN3	EN4	EN5
Gonflement							
	43,03 ± 5,55	0,61 ± 0,[illegible]	2,73 ± 0,78	7,62 ± 0,58	5,43 ± 1,52	3,64 ± 0,81	1,57 ± 1,23
Maturité							
– lot de plants infiltrés avec eau distillée							
	80,90 ± 7,41	31,56 ± 2,36	16,62 ± 1,87	10,30 ± 1,18	6,84 ± 1,50	4,08 ± 0,80	2,16 ± 1,32
– lot de plants non traités							
	83,14 ± 6,05	33,04 ± 2,98	18,38 ± 2,72	9,35 ± 1,49	5,50 ± 0,79	3,72 ± 0,40	1,01 ± 1,12
– lot de plants infiltrés avec la toxine							
	56,59 ± 5,36	9,48 ± 7,36	4,75 ± 3,12	9,01 ± 0,85	5,63 ± 0,87	3,53 ± 0,47	1,54 ± 1,43

PE : pédoncule
EN : entrenœud suivi du numéro de rang

Bien que la toxine de *P. fuscovaginae* soit à hôte non spécifique — c'est-à-dire que la phytotoxicité est indépendante de l'hôte du pathogène —, le test de criblage au niveau des plantules, un test simple, reproductible peut permettre de discriminer rapidement les cultivars pour leur susceptibilité relative à la maladie. Rappelons ici que l'utilisation d'un inoculum bactérien requiert pour un criblage efficace, un stade de développement tardif, le stade gonflement. Par ailleurs, même à ce stade, la disparité des réponses entre groupes traités limite fort l'interprétation des résultats. Cette disparité s'accentue encore en conditions naturelles, les paramètres environnementaux conditionnant l'infection étant très variables dans le temps et dans l'espace.

Modulation de l'activité de la pompe à protons (H^+-ATPase) de la membrane plasmique de la plante

L'expression de la phytotoxicité au niveau cellulaire a été d'abord évaluée par l'efflux d'électrolytes au niveau des cellules de riz en culture et au niveau des fragments d'organes foliaires. Pour ces différents matériels, les comparaisons intervariétales ont été faites. Les cals du cultivar sensible à la bactériose H57, par exemple, perdent significativement plus d'électrolytes que ceux du cultivar tolérant M1283, après un traitement à la toxine bactérienne (BATOKO *et al.*, 1994).

La nature, la structure et la conformation (*left handed alpha helix*, en milieu mimant un environnement membranaire) des phytotoxines de *P. fuscovaginae*, permet de penser que ces substances peuvent s'insérer dans la bicouche lipidique de la membrane plasmique des cellules de l'hôte, perturbant le fonctionnement physiologique de celleci (BIDWAI *et al.*, 1987 ; HUTCHISON *et al.*, 1995).

La « pompe à proton » de la membrane plasmique des cellules végétales est une enzyme vitale qui joue un rôle central dans les ajustements physiologiques en cas de perturbation. Mais c'est surtout le médiateur primaire des transports transmembranaires de solutés grâce au gradient électrochimique créé par son activité. Cette enzyme est aussi impliquée dans les phénomènes cellulaires en relation avec la croissance et la division (MICHELET et BOUTRY, 1995). Elle est codée par une famille multigénique chez les végétaux supérieurs et est sensible à des phytotoxines microbiennes.

Nous avons utilisé les membranes plasmiques purifiées à partir des organes foliaires de plants de riz pour tester les effets des phytotoxines de *P. fuscovaginae* sur le fonctionnement de cette enzyme. Les effets de la syringotoxine corroborent en partie les résultats déjà publiés dans la littérature pour d'autres organes et espèces végétales, essentiellement dicotylédones. Cette toxine induit une pseudo-stimulation de l'activité enzymatique en facilitant probablement un meilleur accès du substrat (MgATP) au(x) site(s) catalytique(s), quand

les vésicules membranaires ont leur face apoplastique orientée vers l'extérieur (orientation naturelle). En modifiant cette orientation par un traitement au polyéthylène acyl éther (brij 58), par exemple, la syringotoxine et son homologue structural la syringomycine, inhibent l'activité de l'enzyme. Précisons ici que la topologie de l'enzyme montre des zones d'ancrage dans la bicouche lipidique, les sites fonctionnels de l'enzyme étant orientés dans le cytoplasme (MICHELET et BOUTRY, 1995). Ces résultats ont été confirmés chez une souche de la levure *Saccharomyces cerevisae*, surexprimant l'isoforme PMA2 (Plasma Membrane ATPase) de l'enzyme de plante comme seule pompe à protons (BATOKO *et al.*, 1997). Cette complémentation fonctionnelle permet d'évaluer les effets de ces phytotoxines sur un seul isoforme de l'enzyme de plante, les membranes préparées à partir d'organes végétaux présentant le risque de contenir plusieurs isoformes avec des cinétiques différentes.

Quelle que soit l'orientation des vésicules membranaires, les fuscopeptines (fuscopeptine A et fuscopeptine B) inhibent l'activité de l'enzyme, l'inhibition étant plus forte en présence de brij 58. De plus, le mélange syringotoxine et fuscopeptines, à des concentrations individuelles ayant peu d'effet sur l'activité de l'enzyme, induit une inhibition drastique de l'activité de la « pompe à protons ». Dans tous les cas, on notera que les membranes préparées à partir du cultivar tolérant M1283 sont moins affectées que celles provenant du cultivar sensible H27.

L'hypothèse d'une sensibilité différentielle des cellules de riz aux phytotoxines de *P. fuscovaginae* s'étant expérimentalement vérifiée à divers niveaux d'organisation, nous avons exploité la vitrovariation des cellules de riz en culture et ces phytotoxines comme agents de pression de sélection pour obtenir des régénérants potentiellement résistants aux phytotoxines et au pathogène. Ayant constaté l'inefficacité de l'addition de la toxine dans le milieu de culture comme méthode de criblage des cellules de riz en culture, nous avons exploité la capacité des cellules à fixer les phytotoxines et l'infiltration des cals sous vide comme prétraitement. Cette dernière technique permet d'atteindre uniformément toutes les cellules à traiter. Les cals sont ensuite repiqués sur un milieu sans toxine. La toxine de *P. fuscovaginae* induit très rapidement un brunissement des cals et un fort ralentissement de la croissance. Après 30 à 45 jours, les rares îlots cellulaires néoformés ou survivants sont transférés, soit directement sur un milieu de régénération, soit après une phase de sélection supplémentaire pour vérifier l'insensibilité acquise.

Sur 77 plantes fertiles régénérées, tout traitement confondu, 26 ont montré une moindre sensibilité à la toxine de *P. fuscovaginae* comparativement aux génotypes de départ et à la population témoin non sélectionnée (tableau II). Au cours de deux générations d'autofécondation, 3 familles dérivées du cultivar sensible H57 et 2 familles dérivées du

Tableau II. Criblage des vitrovariants de riz avec la toxine de *P. fuscovaginae* (50 unités.ml^{-1}). Les plantes Ro dérivant de cals sélectionnés comme insensibles (S1 et S2), ou des cals non sélectionnés (témoin), sont comparées respectivement aux cultivars originaux (H57 et M1283), respectivement susceptible et tolérant à la bactériose suivant un index de sévérité allant de 1 à 4.

Plants/cultivar	Origine	N plantes	N plantes/index				Index moyen
			1	2	3	4	
H57 (Ro)	S1	11	0	2	9	0	2,81
	S2	6	2	4	0	0	1,66
	témoin	106	0	3	51	46	3,43
H57	-	20	0	1	12	7	3,25
M1283 (Ro)	S1	2	0	2	0	0	2,00
	S2	2	1	1	0	0	1,50
	témoin	41	0	8	28	5	2,92
M1283	-	20	0	3	15	2	2,95

N : nombre
S1 : sélection après préincubation dans la toxine
S2 : sélection après infiltration des cals avec la toxine
1 : nécrose limitée au point d'infiltration, exertion de la panicule
2 : chloroses foliaires et stries brunes sur gaines
3 : symptômes foliaires comme en (2) et moins de 25 % de la panicule bloquée
4 : symptômes foliaires comme en (2) et plus de 50 % de la panicule bloquée

cultivar tolérant M1283 ont montré un niveau de résistance au pathogène supérieur à celui de M1283 et en conditions contrôlées. Le critère de criblage étant dans chaque cas le degré de blocage de l'exertion de la panicule. Une caractéristique phénotypique remarquable des plantes des familles H57 est la taille du cou. Ces plantes ont un cou supérieur à 10 cm, comparé aux 2 cm à peine de ce cultivar semi-nain. Cependant, la taille absolue du pédoncule et l'entrenœud sous-jacent, à maturité, reste comparable au génotype de départ. Signalons ici que l'introduction du gène eui *(Elonging Upper Internode)* chez des cultivars sensibles à la bactériose ne réduit pas cette sensibilité (TILQUIN et DETRY, communication personnelle).

La moitié des graines provenant des plantes Ro avait été envoyée au Burundi pour des tests en champ du comportement de ce matériel vis-à-vis de la bactériose. Malheureusement, à la suite des problèmes sociopolitiques de ce pays, partenaire du programme, les cultures n'ont pu être évaluées, ni récoltées. Les observations se sont donc limitées pour l'instant en serre.

Conclusion

La toxine de *P. fuscovaginae* contribuerait pour une partie importante — sinon essentielle — à l'expression des symptômes de la bactériose. L'obtention des mutants tox$^-$ du pathogène permettra de préciser leur rôle éventuel dans la pathogenèse. La sensibilité à la toxine des génotypes de riz testés serait corrélée à leur susceptibilité à la bactériose.

L'interaction entre ces métabolites bactériens et une cible cellulaire, en l'occurrence la « pompe à protons » de la membrane plasmique, expliquerait en partie les symptômes macroscopiques de la maladie. Nous avons montré que, *in vivo,* si les 2 types de substance — la syringotoxine et les fuscopeptines — sont simultanément excrétés dans l'espace intercellulaire, leur action directe se traduit par une inhibition de l'ATPase « pompe à protons » de la membrane plasmique.

Le stade de sensibilité de la plante à la bactériose, le stade gonflement, coïncide avec les modifications physiologiques en relation avec le passage de la plante à un autre stade de son développement floral. Ces modifications changeraient les relations entre la plante et la bactérie, qui passerait d'une survie « épiphytique » à la pathogenèse. La coïncidence entre les conditions environnementales favorables à la pathogenèse et ce stade de développement de l'hôte n'expliquerait pas tout, étant donné la persistance de cette phénologie en conditions contrôlées. Les plantules infectées, par exemple, ne développent les symptômes caractéristiques de la maladie qu'au stade gonflement. Le changement de développement de l'hôte coïnciderait avec une croissance exponentielle de la population bactérienne dans la plante et la production de toxine capable de briser la première barrière physiologique qu'est la membrane plasmique aux éléments nutritifs indispensables à cette croissance. En outre, l'inhibition de la « pompe à protons » créerait les conditions micro-environnementales indispensables pour supporter cette croissance, notamment l'augmentation du pH du fluide intercellulaire. Rappelons que la croissance bactérienne est meilleure au voisinage de la neutralité, or le liquide intercellulaire a un pH voisin de 5,4.

Des plantes fertiles, obtenues à partir de cellules sélectionnées *in vitro* pour leur insensibilité à la toxine, ont montré une meilleure résistance à la bactériose. Ce matériel mériterait d'être étudié pour ce qui est de la stabilité des caractères observés et leur base génétique éventuelle. Sur le plan épidémiologique, l'inhibition de la croissance de *Sarocladium oryzae* (champignon pathogène du riz dans le même biotope, avec des symptômes semblables à la bactériose) par la syringotoxine produite par *P. fuscovaginae,* occupant la même niche écologique, mérite d'être approfondie.

Remerciements

Ce travail a été financé par le projet riz d'altitude de la Commission des communautés européennes, contrat n° TS3-CT92-0095 et une bourse de recherche à H. Batoko. L'équipement HPLC a été financé par le FNRS, contrat n° 1 5 488 88F.

Références bibliographiques

AZEGAMI K., NISHIYAMA K., WATANABE Y., SUZUKI T., YOSHIDA M., NOSE K., TODA S., 1985. Tropolone as a root growth-inhibitor produced by plant pathogenic *Pseudomonas* sp. causing seedling blight of rice. Ann. Phytopath. Soc. Japan 51: 315-317.

BALLIO A., BOSSA F., CAMONI D., DI GIORGIO D., FLAMAND M.-C., MARAITE H., NITTI G., PUCCI P., SCALONI A., 1996. Structure of fuscopeptins, phytotoxic metabolites of *P. fuscovaginae*. FEBS Lett. 381: 213-216.

BATOKO H., BOUHARMONT J., KINET J.-M., MARAITE H., 1997a. Involvement of toxins produced by *P. fuscovaginae* in etiology of rice bacterial sheath brown rot. J. Phytopathol. *(in press).*

BATOKO H., BOUHARMONT J., MARAITE H., 1994. Inhibition of rice (*Oryza sativa* L.) seedling elongation by a *P. fuscovaginae* toxin. Euphytica 76: 139-142.

BATOKO H., DE KERCHOVE D'EXAERDE A., KINET J.-M., BOUHARMONT J., GAGE RA, MARAITE H., BOUTRY M., 1997B. Modulation of plant plasma membrane H^+-ATPase by phytotoxic lipodepsipeptides produced by the plant pathogen *P. fuscovaginae*. Plant Physiol. *(in press).*

BIDWAI AP, ZHANG L., BACHMANN RC, TAKEMOTO JY, 1987. Mechanism of action of *P. syringae* phytotoxin, syringomycin. Plant Physiol. 83: 39-43.

DETRY JF, 1994. Protection intégrée contre la pyriculariose et la pourriture brune des gaines foliaires du riz en moyenne altitude au Burundi. PhD thesis. Université catholique de Louvain, Belgique.

DUVEILLER E., MARAITE H., 1990. Bacterial sheath rot of wheat caused by *P. fuscovaginae*. in the highlands of Mexico. Plant Disease 74: 932-935.

DUVEILLER E., SNACKEN F., MARAITE H., AUTRIQUE A., 1989. First detection of *P. fuscovaginae* on maize and sorghum in Burundi. Plant Disease 73: 514-517.

FLAMAND M.-C., PELSSER S., EWBANK E., MARAITE H., 1996. Production of syringotoxin and other bioactive peptides by *P. fuscovaginae.* Physiol. Mol. Plant Pathol. 48: 217-231.

HUTCHISON ML, TESTER MA, GROSS DC, 1995. Role of biosurfactant and ion channel-forming activity of syringomycin in transmembrane ion flux: a model for the mechanism of action in the plant-pathogen interaction. Mol. Plant-Microbe Interactions 8: 616-620.

MICHELET B., BOUTRY M., 1995. The plasma membrane H^+-ATPase. A highly regulated enzyme with multiple physiological functions. Plant Physiol. 108: 1-6.

MIYAJIMA K., 1983. Studies on the bacterial sheath brown rot of rice plant caused by *P. fuscovaginae,* Tanii, Miyajima and Akita. Report Hokkaido Prefecture Agric. Experiment Station 43: 57-65.

NTIBISHIMIRWA M. 1991. Epidémiologie de la pourriture brune de la gaine foliaire du riz causée par *P. fuscovaginae* au Burundi. PhD thesis. UCL, Louvain-la-Neuve, Belgique.

ZADOCKS JC, CHANG TT, KONZAK CF, 1974. A decimal code for the growth stages of cereals. Weed Research 14: 415-421.

Session 2

Acquis de la recherche dans les domaines scientifiques se rapportant à la riziculture d'altitude

Résistance au froid

POISSON C., RAKOTOARISOA J., (édit.), 1997
Riziculture d'altitude
Actes du séminaire riziculture d'altitude,
29 mars-5 avril 1996, Antananarivo, Madagascar
Colloques, CIRAD-CA, Montpellier, France, 272 p.

Amélioration de la tolérance aux basses températures chez le riz par usage de la variation somaclonale

P. BERTIN, J. BOUHARMONT
Université catholique de Louvain, laboratoire de cytogénétique, place Croix du Sud, 5 boîte13,
B-1348 Louvain-la-Neuve, Belgique.

Résumé — Des cals obtenus à partir d'embryons de quatre variétés de riz sélectionnées pour les marais d'altitude au Burundi (Facagro 57, Facagro 76, Kirundo 3 et Kirundo 9) ont été soumis à différentes températures. Le pourcentage de cals qui régénèrent des plantes varie fortement selon la variété, la durée du séjour *in vitro* et le traitement à basse température. Les basses températures affectent surtout la régénération chez les variétés sensibles. Les plantes régénérées (R0) et leurs descendantes (R1, R2, R3) ont été testées en phytotron pour leur tolérance au froid. Chez toutes les variétés, les taux de survie des plantes R3 sont significativement supérieurs à ceux des témoins. La tolérance au froid augmente dans les populations témoins soumises aux basses températures pendant trois générations, mais cette amélioration est inférieure à l'amélioration parmi les descendances de vitroplants. Comparées aux variétés d'origine, les familles somaclonales les plus tolérantes au froid se caractérisent généralement par des modifications des teneurs en acides gras, des pertes d'électrolytes induites par le froid et de la fluorescence de la chlorophylle. Pour la plupart des caractères agronomiques observés au champ, les vitroplants sont, en moyenne, inférieurs aux témoins, mais la variabilité y est accrue et on y trouve les valeurs individuelles les plus élevées, qui permettent d'envisager une sélection de lignées améliorées.
Mots-clés : riz, cal, phytotron, froid, acide gras, électrolyte, fluorescence, vitroplant, sélection.

Introduction

La plupart des plantes d'origine tropicale subissent des dégâts lorsqu'elles sont exposées à des températures allant de 0 à 15 °C environ. Le stress dû aux basses températures est un facteur limitant la production de ces plantes dans de nombreuses régions du monde, telles que les zones tempérées ou à haute altitude. Malgré les différences considérables de sensibilité aux basses températures observées chez le riz (*Oryza sativa* L.) les variétés tropicales à haut rendement de type indica n'ont eu qu'un impact assez limité dans les zones où sévissent ces températures, à cause de leur sensibilité au froid. Il existe donc un besoin réel de génotypes nouveaux plus tolérants au froid et il est nécessaire de mieux connaître les mécanismes impliqués dans l'apparition des symptômes induits par les basses températures.

La sensibilité au froid chez le riz varie au cours du cycle de développement (SHAHI et KHUSH, 1986 ; NIZIGIYIMANA, 1993) ; elle est contrôlée par plusieurs gènes qui s'expriment notamment au cours de la germination (SASAKI, 1974), au stade jeune plantule (LI et RUTGER, 1980 ; NAGAMINE et NAKAGAHRA, 1990 ; NAGAMINE, 1991), et au cours de la floraison (TORIYAMA et FUTSUHARA, 1960 ; FUTSUHARA et TORIYAMA, 1966, 1969, 1971). Le choix de techniques de criblage appropriées représente donc la première étape, lors de l'étude de la tolérance au froid chez le riz. La technique la plus employée consiste à exposer directement la plante au froid et à estimer visuellement des dégâts. Les dosages quantitatifs, particulièrement lorsqu'ils permettent de détecter les

dégâts avant l'apparition des symptômes visibles, devraient aider à éviter le problème de la subjectivité qui est parfois associée à ce type d'évaluation.

La variation somaclonale est fréquente chez les plantes, après passage par une culture de tissus indifférenciés (LARKIN et SCOWCROFT, 1981). Il ne fait aucun doute, à l'heure actuelle, que la culture de tissus de plantes supérieures augmente le taux d'apparition de tous les types de modification connus (WERSUHN, 1989). Chez le riz, différentes modifications héritables ont été observées parmi les plantes dérivées de culture *in vitro* et dans leur descendance (SUN *et al.*, 1991). Ces modifications impliquent des caractères agronomiques et morphologiques, ainsi que la tolérance à des stress biotiques et abiotiques. On a rapporté, plus récemment, l'amélioration héritable de la tolérance à la submersion (ADKINS *et al.*, 1990), à l'aluminium (VAN SINT JAN, 1992) et à la sécheresse (ADKINS *et al.*, 1995).

Chez diverses espèces, des lignées cellulaires plus tolérantes au froid ont été obtenues (DIX et STREET, 1976 ; KUCHERENKO, 1980 ; ZHANG et RAJASHEKAR, 1994). Cette amélioration a également été observée chez le riz parmi les plantes régénérées (BOUHARMONT *et al.*, 1991 ; VAN SINT JAN *et al.*, 1991) ; elle n'est pas transmise par voie sexuée par les plantes régénérées de *Nicotiana sylvestris* (DIX, 1977). Très peu de rapports font état d'une tolérance transmise aux descendances (LAZAR *et al.*, 1988 ; GALIBA et SUTKA, 1989; KENDALL *et al.*, 1990 ; KUCHERENKO, 1991).

En outre, l'utilisation de la variation somaclonale à des fins d'amélioration n'a conduit, jusqu'à présent, qu'à des résultats limités. La plupart des études ne concernent que les cultures en laboratoire ou en phytotron, et plusieurs problèmes d'évaluation des plantes provenant de culture de tissus on été signalés (MILLER *et al.*, 1991). Il s'agit du choix de la génération à tester, des stratégies de sélection, du protocole le plus approprié et des relations entre ces méthodes et les programmes conventionnels d'amélioration. Jusqu'à présent, un cultivar (Hatsuyume) dérivé de cultures de protoplastes et le somaclone T42 ont été diffusés (SUN *et al.*, 1983 ; OGURA et SHIMAMOTO, 1991).

Dans le cadre d'un programme d'étude des contraintes liées à la riziculture d'altitude, la présente recherche a pour but d'évaluer les potentialités de la variation somaclonale et de la sélection de lignées cellulaires pour l'amélioration de la tolérance au froid. Dans une première étape, des variétés de riz ont été criblées au cours de la phase végétative pour déterminer leur niveau de sensibilité au froid. Quatre variétés cultivées en altitude au Burundi, représentant un éventail de sensibilités diverses et qui répondent toutes positivement à la culture *in vitro* ont ainsi été retenues. Les plantes régénérées à partir de cals (R0) et leur descendantes (R1 à R3) ont été testées en phytotron et au champ, au Burundi, à différentes altitudes. Afin de mieux comprendre les mécanismes impliqués dans l'amélioration de la tolérance au froid, les familles somaclonales les plus tolérantes ont été comparées aux plantes témoins sur la base de trois critères : perte d'électrolytes par les cellules soumises au froid, fluorescence de la chlorophylle et composition en acides gras.

Matériel et méthodes

Matériel végétal

Seize variétés de riz — 6 japonica et 10 indica — ont été utilisées pour les premiers tests. Parmi elles, Kirundo 3 (japonica), Facagro 57, Facagro 76 et Kirundo 9 (indica) ont été retenues pour les expériences suivantes en raison des taux élevés de callogenèse et de régénération qu'elles ont montrés. Ces variétés proviennent de programmes d'amélioration au Burundi ; elles ont été diffusées après quelques cycles de sélection massale et généalogique et ne sont donc pas entièrement stabilisées.

Techniques *in vitro*

Pour l'induction de la callogenèse et la prolifération des cals, 4 000 embryons de Kirundo 3, Kirundo 9, Facagro 57 et Facagro 76 ont été prélevés aseptiquement et cultivés à l'obscurité à 25 °C en boîtes de Pétri, sur milieu LS (LINSMAIER et SKOOG, 1965) additionné de saccharose (3 %), Gelrite (0,4 %), 2,4-D (0,5 mg/l), benzyladénine (1 mg/l) et acide naphtalène acétique (1 mg/l). A partir de ces embryons, 1 853 cals ont été obtenus. Certains cals ont été maintenus constamment à 25 °C. Les autres ont été soumis à différentes pressions de sélection à 4 °C, pendant des durées comprises entre 2 et 6 semaines, et appliquées soit sans interruption, soit en alternance avec des séjours à 25 °C. Pour la régénération, les cals ont été cultivés à 25 °C sous une photopériode de 12 h, sur milieu LS (minéraux réduits de moitié) additionné de saccharose (2 %), Gelrite (0,4 %), 2,4-D (0,01 mg/l), benzyladénine (1 mg/l) et acide naphtalène acétique (1 mg/l). Pour le développement des racines, le

milieu LS est additionné de 3 % de saccharose, 0,4 % de Gelrite et de 1 mg/l d'acide indole acétique. Les paramètres d'environnement des cultures sont semblables à ceux de la phase de régénération.

Criblage pour la tolérance au froid

Pour la comparaison des variétés d'origine, les plantules sont testées lorsqu'elles ont atteint le stade 2 feuilles ; la durée du traitement à 10 °C est de 3, 6 ou 9 jours. Pour les tests de vitroplants, les durées de traitement et les températures sont adaptées de façon à éliminer la majorité des plantes susceptibles au froid. Dans tous les cas, les plantes survivantes sont comptées 10 jours après la fin du séjour à basse température.

Les plantes régénérées à partir des cals sont plus sensibles que celles qui sont issues de graines : après leur plantation en terre et la production de deux nouvelles feuilles, les plantules R0 ont été cultivées à 10 °C pendant 4 jours (Facagro 57 et Facagro 76), 6 jours (Kirundo 9) et 30 jours (Kirundo 3). Les plantes R1, R2 et R3 ont été soumises au criblage en même temps que les variétés d'origine ; les plantules sont testées quand elles ont développé deux feuilles. Le traitement au froid est de 6 jours à 10 °C pour Facagro 57 et Facagro 76, 9 jours à 10 °C pour Kirundo 9, et 5 jours à 5 °C pour Kirundo 3. En outre, les mêmes tests ont été appliqués aux plantes témoins durant 4 générations successives (sélection massale), afin de comparer, dans chaque variété, l'importance de l'amélioration de la tolérance au froid due à la sélection dans les variétés et l'effet de la variation somaclonale. Ici aussi, les plantes issues de sélection massale sont comparées à chaque génération aux variétés d'origine non sélectionnées.

Caractérisation des familles somaclonales sélectionnées

Ces familles comprennent l'ensemble des plantes provenant d'une même plante R0 : des feuilles des plus tolérantes aux basses températures ont été placées à 10/5 °C (jour/nuit) pendant 6 jours. La fluorescence de la chlorophylle a été mesurée dans des échantillons de feuilles après 3 et 6 jours. La perte d'électrolytes de fragments de feuilles a été suivie durant 12 heures après le traitement par le froid. D'autres plantes appartenant aux mêmes familles ont été utilisées pour déterminer la composition en acides gras des phospholipides et des galactolipides, sans ou après un traitement de 9 jours à 10 °C.

Expériences au champ

Dans une première expérience, environ 600 plantes témoins et 2 800 plantes R0, provenant de quelque 400 cals non traités au froid, ont été cultivées individuellement en sachets à 4 altitudes différentes au Burundi — 800, 1 380, 1 650 et 1 900 m — et différents paramètres concernant le tallage, la taille et la production de grains ont été mesurés. Les descendances des témoins et vitroplants les plus productifs ont été cultivées sur un site unique, à 1 580 m. Dans une seconde expérience, les plantes R0 provenant des cals traités aux différentes températures et qui n'avaient pas été criblées en phytotron, ont été cultivées en serre, leurs semences ont été récoltées et environ 7 000 plantes R1, représentant 520 familles, ont été cultivées à 1 580 m, à côté de témoins. Les 200 meilleures familles somaclonales et dérivées de plantes témoins — soit environ 12 000 plantes —, ont été cultivées de la même manière en R2.

Résultats

Criblage des variétés pour la tolérance au froid

Un premier groupe, constitué des variétés les plus tolérantes, est uniquement composé de variétés japonica, parmi lesquelles Kirundo 3. Un groupe intermédiaire comprend à la fois des indica et des japonica, parmi lesquelles Kirundo 9. Les variétés du dernier groupe sont les plus sensibles aux basses températures ; ce sont toutes des indica, dont Facagro 57 et Facagro 76.

Cultures *in vitro* et criblage des plantes

Le pourcentage de cals régénérant des plantes varie fortement en fonction de la variété, de la durée de culture, de la durée et du fractionnement éventuel du traitement par le froid. La réduction du pourcentage de régénération induite par le froid est plus prononcée chez les variétés les plus sensibles.

Pour toutes les variétés, les taux de survie des plantes régénérées sont significativement plus élevés chez les plantes R3 testées en phytotron que chez les plantes témoins (figure 1). Les taux de survie les

plus élevés sont observés en l'absence de traitement des cals à basse température et pour les traitements discontinus de courte durée chez les variétés les plus sensibles, mais à la suite de traitements plus longs ou continus chez les variétés les plus tolérantes. Chez toutes les variétés, l'amélioration de la tolérance au froid par sélection massale dans les variétés est moindre que celle qui peut être attribuée à la culture des descendances de vitroplants à basse température (figure 1).

Caractérisation des familles somaclonales tolérantes

En R3, les familles somaclonales présentant les taux de survie les plus élevés à basse température ont été choisies en vue de faire des études plus précises. Les études concernant la perte d'électrolytes, la fluorescence de la chlorophylle et la composition en acides gras aboutissent à une même conclusion : les différentes familles somaclonales provenant d'une même variété se comportent généralement de la même manière lorsqu'elles sont comparées aux témoins (figure 2). Cependant, les tendances sont divergentes suivant l'origine variétale. En effet, les pertes d'électrolytes sont généralement plus faibles chez les familles somaclonales provenant de Kirundo 9 et Facagro 76 que chez les témoins correspondants, ce qui indique une meilleure conservation de la semi-perméabilité des membranes cellulaires soumises au froid. Elles sont, en revanche, plus fortes dans le cas de Kirundo 3. Il existe aussi de grandes différences entre familles somaclonales et témoins en ce qui concerne la fluorescence de la chlorophylle. Le rapport Fv/Fm (fluorescence variable/fluorescence maximum) est plus élevé dans les familles somaclonales de Kirundo 3 : ces valeurs indiquent l'efficacité photochimique plus grande du photosystème II dans ces familles. Ce rapport est, en revanche, plus faible pour les familles somaclonales chez Facagro 76 et Kirundo 9. La composition en acides gras des phospholipides et galactolipides est modifiée dans plusieurs familles somaclonales. Ces changements se traduisent le plus souvent par un indice de doubles liaisons plus élevé, ou par de plus fortes teneurs en acides linoléique et linolénique, caractères qui sont souvent associés à la tolérance aux basses températures.

Essais au champ

Plantes provenant de cals non sélectionnés

Dans l'expérience effectuée à 4 altitudes différentes, la production des plantes (poids des grains pleins) a été à peu près équivalente à 800 et 1 380 m ; elle était fortement réduite à 1 650 m à cause d'une réduction de la fertilité des épillets, et elle a été nulle à 1 900 m. Pour la plupart des caractères

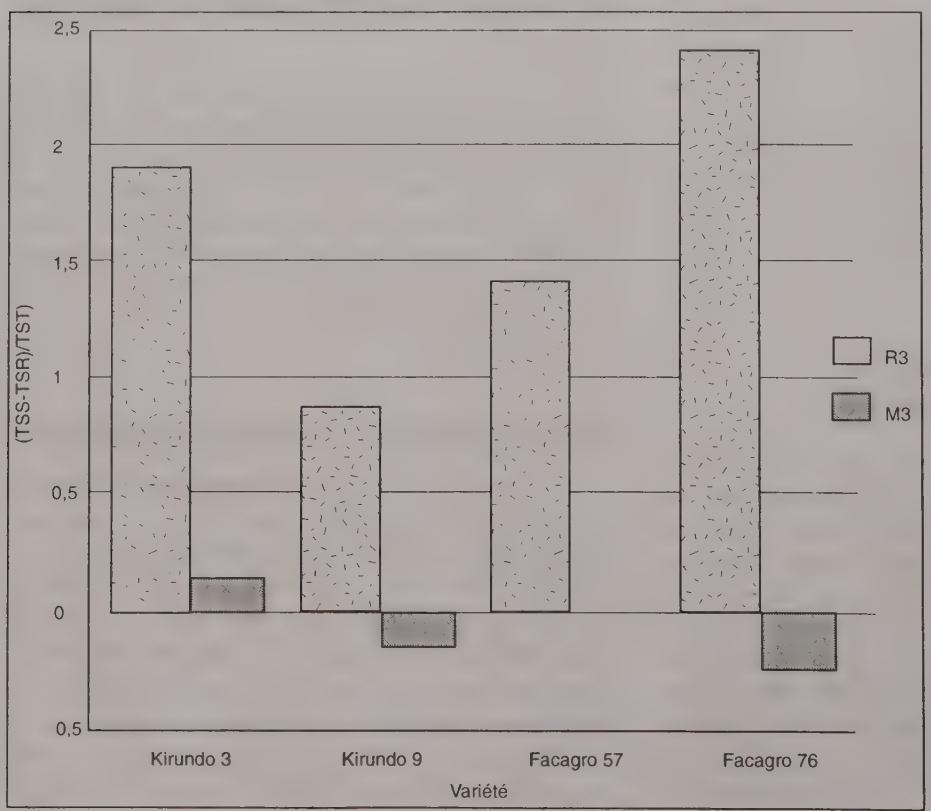


Figure 1. *Effet de la sélection massale (M3) et de la sélection parmi les vitroplants (R3), pendant trois générations successives, sur les taux de survie des plantes de quatre variétés de riz en quatrième génération. Le traitement au froid est de 5 jours à 5 °C pour Kirundo 3, 9 jours à 10 °C pour Kirundo 9 et 6 jours à 10 °C pour l es variétés Facagro.*

TSS : taux de survie des plantes sélectionnées (sélection massale ou sélection parmi les vitroplants). TST : taux de survie des plantes témoins.

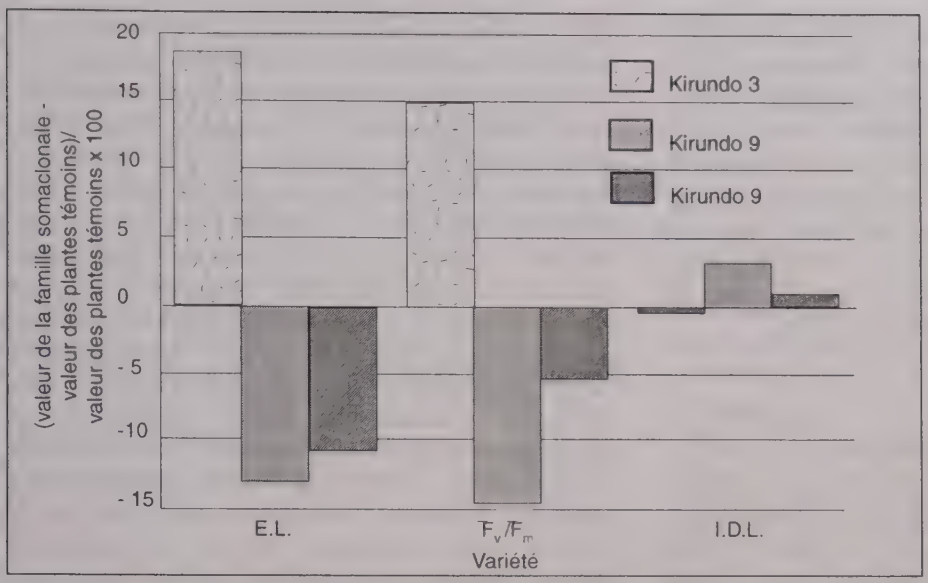


***Figure 2**. Perte d'électrolytes (EL), fluorescence de la chlorophylle (F_v/F_m) et indice de doubles liaisons (IDL) des galactolipides de feuilles traitées au froid. Comparaison entre familles somaclonales sélectionnées pour leur tolérance au froid et plantes témoins chez trois variétés de riz.*

agronomiques observés, les plantes témoins ont, en moyenne, les meilleures performances ; cela traduit un effet globalement néfaste des variations induites par la culture des cals. Cependant, les coefficients de variation sont généralement les plus élevés dans les vitroplants ; c'est aussi parmi ceux-ci que se retrouvent les plantes avec les meilleures performances (figure 3). En R1, parmi les plantes issues de semences récoltées à 1 650 m, les coefficients de variation sont généralement les plus élevés, et les meilleures performances sont observées dans les descendances de vitroplants ; dans certains cas, les moyennes elles-mêmes sont plus élevées. En revanche, lorsque les plantes R0 ont été cultivées à 1 380 m, les moyennes les plus élevées sont le plus souvent celles des témoins, alors que la distribution des bonnes performances et des coefficients de variation ne montre pas de tendances claires. De ces résultats, on peut déduire que la pression de sélection naturelle subie à 1 650 m par la première génération de vitroplants a eu un effet positif, aboutissant à la sélection des individus les plus performants.

Plantes provenant de cals sélectionnés

Dans l'expérience impliquant les plantes R1 et R2 provenant des cals soumis à différentes températures, les descendances de vitroplants sont, comme dans l'expérience qui précède, caractérisées par des performances moyennes inférieures à celles des témoins et par une plus forte variabilité. Certaines familles somaclonales se distinguent

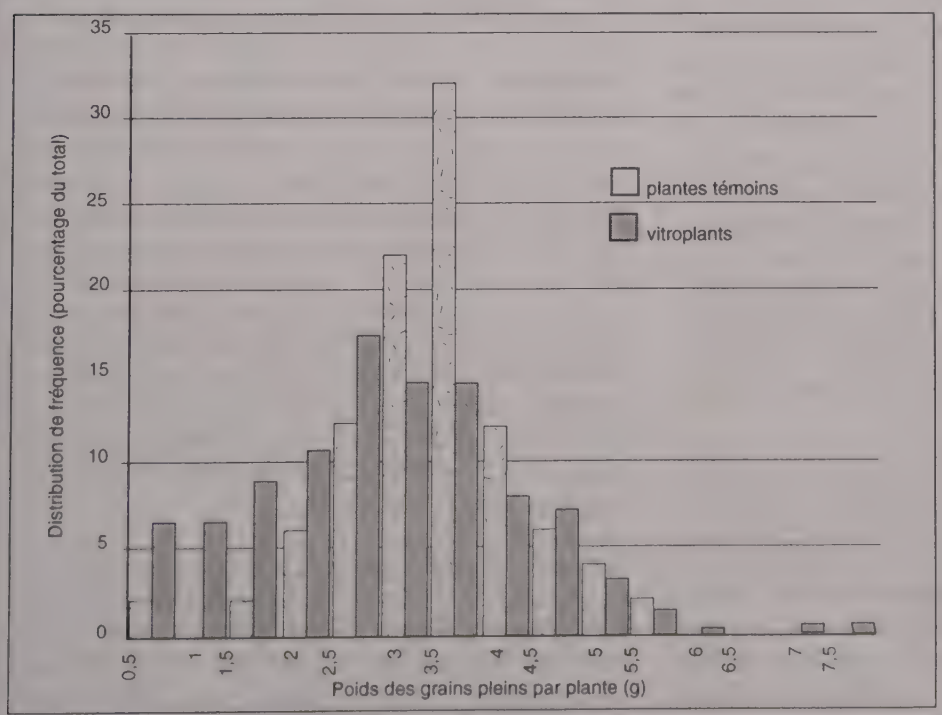


***Figure 3.** Distribution de fréquence (en pourcentage) du poids des grains pleins par plante de la variété Kirundo 9 à 800 m d'altitude. Comparaison entre plantes témoins et vitroplants.*

également par des performances supérieures à celles des témoins. De grandes différences existent en fonction des traitements appliqués *in vitro*. Chez Kirundo 9, les meilleurs résultats sont le plus souvent obtenus à la suite de traitements de courte ou moyenne durée. Chez Kirundo 3, ils correspondent plutôt aux traitements de moyenne ou de longue durée. Chez les deux variétés Facagro, les meilleures lignées sont le plus souvent issues de cals non sélectionnés à basse température.

Caractères morphologiques

La plupart des plantes régénérées et de leurs descendances sont morphologiquement identiques au témoin. Cependant, certaines particularités morphologiques ont parfois été observées chez les vitroplants. Les modifications spectaculaires sont habituellement associées à une réduction de la fertilité ou l'absence de floraison.

Discussion

L'instabilité génétique induite par la culture de tissus végétaux est connue depuis plus de trente ans (MITRA et STEWARD, 1961). Bien que certains auteurs estiment que des modifications utiles peuvent être générées *in vitro* (LARKIN et SCOWCROFT, 1981), d'autres études suggèrent que la plus grande part de cette variation est épigénétique ou préexistante (BREIMAN *et al.*, 1989 ; MORRISH *et al.*, 1990). La sélection de variants déjà présents dans les populations initiales est probable, mais il ne fait aucun doute qu'une partie importante de la variation observée a été induite *in vitro*, comme l'indique d'une part l'augmentation de la variabilité observée chez les vitroplants, et, en outre, l'effet positif de la sélection à basse température appliquée sur les vitroplants, alors que la sélection massale appliquée aux mêmes variétés d'origine n'a pas eu cet effet (figure 1). L'apparition de nouveaux caractères morphologiques transmis au descendances confirme l'existence de modifications génétiques induites *in vitro*.

En comparaison avec d'autres stress, tels que la salinité, peu de publications rapportent la sélection de lignées cellulaires tolérantes au froid par utilisation de cultures de tissus et la transmission de ce caractère aux plantes régénérées et à leurs descendances par voie sexuée. Une des causes peut être la faible corrélation entre la résistance au froid de cellules indifférenciées et celles de plantes entières (BUIATTI, 1989). Chez le riz, la tolérance au froid est soumise à un contrôle polygénique (LI et RUTGER, 1980 ; TORIYAMA et FUTSUHARA, 1960 ; FUTSUHARA et TORIYAMA, 1966, 1969, 1971 ; KAW et KHUSH, 1986), et les gènes sont dispersés au sein du génome (TORIYAMA et FUTSUHARA, 1960 ; CHANG et OKA, 1976). Cette situation n'est pas en faveur d'une application efficace de la variation somaclonale pour l'amélioration de la tolérance au froid. Cependant, plusieurs aspects particuliers liés à cette tolérance au stade plantule, comme la décoloration des feuilles et la létalité des plantes, dépendent d'un seul gène (SHAHI et KHUSH, 1986 ; NAGAMINE et NAKAGHARA, 1990; NAGAMINE, 1991). Dans notre cas, dès lors, l'utilisation d'un moyen de criblage qui s'adresse à un déterminisme relativement simple a peut-être facilité la mise en évidence d'une amélioration de ce caractère. Pour la plupart des familles étudiées, l'amélioration de la tolérance au froid peut être évaluée par une ou plusieurs des techniques utilisées : perte d'électrolytes, fluorescence de la chlorophylle, ou étude des teneurs en acides gras. Cependant, aucune de ces techniques ne peut à elle seule rendre compte de la tolérance accrue de toutes les lignées étudiées (figure 2). Cela confirme la complexité des mécanismes impliqués dans la tolérance au froid et la difficulté de son amélioration, ainsi que les limites de chaque technique considérée individuellement.

Au cours des essais au champ, les caractères agronomiques manifestent généralement une plus forte variation pour les vitroplants que pour les plantes témoins. Dans l'expérience effectuée à plusieurs altitudes, le nombre de plantes témoins était plus élevé que le nombre de cals dont provenaient les vitroplants, donc que le nombre d'embryons d'origine. La plus forte variation des vitroplants ne peut donc être attribuée à une variation préexistante, mais à la variation somaclonale. Cette variation est souvent associée à une diminution des performances moyennes, mais aussi à la présence de quelques familles dont les qualités et la production de graines sont améliorées (figure 3). Une analyse statistique globale conduit le plus souvent à la conclusion que les vitroplants sont inférieurs aux témoins ; au cours des premières générations, c'est donc aux performances des plantes et des lignées individuelles qu'il faut s'attacher (MILLER *et al.*, 1991).

Les performances supérieures de plusieurs familles somaclonales, comparées aux variétés dont elles sont issues, justifient la poursuite d'études sur les générations suivantes. Pour que la variation somaclonale puisse jouer un rôle dans

l'amélioration du riz, plusieurs étapes doivent cependant encore être franchies. Lorsque le matériel végétal sera disponible en quantité suffisante, des essais plus étendus, avec répétitions, devront être effectués, afin de permettre une comparaison précise entre les différentes lignées sélectionnées et avec les variétés originelles. Ces nouvelles lignées devront, en outre, être testées dans des environnements différents. Enfin, en raison du caractère polygénique de la tolérance au froid et du comportement différent de la plante en fonction du stade de développement, une bonne variété ne pourra sans doute être créée qu'à la suite de la réunion, dans un même génotype, de caractères obtenus indépendamment.

Remerciements

Ce travail a été financé par la Communauté européenne (Projet TS3-CT92-0095). Nous remercions M. HENNEBERT pour son aide dans les cultures de tissus, J.-P. TILQUIN et J.-P. BUSOGORO pour les essais de terrain et P. BULLENS pour les analyses d'acides gras.

Références bibliographiques

ADKINS S.W., SHIRAISHI T., McCOMB J.A., RATANOPOL S., KUPKANCHANAKUL T., ARMSTRONG L.J., SCHULTZ A.L., 1990. Somaclonal variation in rice. Submergence tolerance and other agronomic characters. Physiol. Plant. 80 : 647-654.

ADKINS S.W., KUNANUVATCHAIDACH R., GODWIN I. D., 1995. Somaclonal variation in rice. Drought tolerance and other agronomic characters. Aust. J. Bot. 43 : 201-209.

BOUHARMONT J., DEKEYSER A., VAN SINT JAN V., DOGBE Y.S., 1991. Application of somaclonal variation and in vitro selection to rice improvement. *In* Rice Genetics II. Manila, Philippines, International Rice Research Institute, p. 271-277.

BREIMAN A., FELSENBURG T., GALUN E., 1989. Is nor region variability in wheat invariably caused by tissue culture ? Theor. Appl. Genet. 77 : 809-814.

BUIATTI M., 1989. Use of cell and tissue cultures for mutation breeding. Vortr. Pflanzenzüchtg. 16 : 179-200.

CHANG T.T., OKA H.I., 1976. Genetic variousness in the climatic adaptation of rice cultivars. *In* Climate and Rice, Manila, Philippines. International Rice Research Institute, p. 87-111.

DIX P.J., 1977. Chilling resistance is not transmitted sexually in plants regenerated from *Nicotiana sylvestris* cell lines. Z. Pflanzenphysiol. 84 : 223-226.

DIX P.J., STREET H.E., 1976. Selection of plant cell lines with enhanced chilling resistance. Ann. Bot. 40 : 903-910.

FUTSUHARA Y., TORIYAMA K., 1966. Genetic studies on cool tolerance in rice. III. Linkage relations between genes controlling cold tolerance and marker genes Nagao and Takahasi. Jpn. J. Breed. 16 : 231-242.

FUTSUHARA Y, TORIYAMA K., 1969. Genetic studies on cool tolerance in rice. IV. Direct and indirect effects of selection and cold tolerance. Jpn. J. Breed. 19 : 286-292.

FUTSUHARA Y., TORIYAMA K., 1971. Genetic studies on cool tolerance in rice. V. Effectiveness of individual and line selections for cool tolerance. Jpn. J. Breed. 21 : 181-188.

GALIBA G., SUTKA J., 1989. Frost resistance of somaclones derived from *Triticum aestivum* L. winter wheat calli. Plant Breed. 102 : 101-104.

KAW RN., KHUSH GS., 1986. Combining ability for low temperature tolerance in rice. *In* Rice Genetics. Manila, Philippines, International Rice Research Institute, p. 593-612.

KENDALL E.J., QURESHI J.A., KARTHA K.K., LEUNG N., CHEVRIER N., CASWELL K., CHEN T.H.H., 1990. Regeneration of freezing-tolerant spring wheat (*Triticum aestivum* L.) plants from cryoselected callus. Plant Physiol. 94 : 1756-1762.

KUCHERENKO L.A., 1991. Rice improvement through tissue culture in the USSR. *In* Bajaj YPS, ed. Biotechnology in Agriculture and Forestry vol. 14. Berlin, Allemagne, Springer, p. 575-590.

KUCHERENKO L.A., 1980. Tissue culture in rice improvement: experiences in the USSR. *In* Innovative Approaches to Rice Breeding. Manila, Philippines, International Rice Research Institute, p. 93-102.

LARKIN P.J., SCOWCROFT W.R., 1981. Somaclonal variation, a novel source of variability from cell culture for plant improvement. Theor. Appl. Genet. 60 : 197-214.

LAZAR M.D., CHEN T.H.H., GUSTA L.V., KARTHA K.K., 1988. Somaclonal variation for freezing tolerance in a population derived from Norstar winter wheat. Theor. Appl. Genet. 75 : 480-484.

LI C.C., RUTGER J.N., 1980. Inheritance of cool-temperature seedling vigour in rice and its relationship with other agronomic characters. Crop Sci. 20 : 295-298.

LINSMAIER E.M., SKOOG F., 1965. Organic growth factor requirements of tobacco tissue cultures. Physiol. Plant. 18 : 100-127.

MILLER D.R., WASKOM R.M., BRICK M.A., CHAPMAN P.L., 1991. Transferring *in vitro* technology to the field. Bio/Technology 9 : 143-146.

MITRA J., STEWARD F., 1961. Growth induction in cultures of *Haplopappus gracilis*. II. The behaviour of the nucleus. Am. J. Bot. 48 : 358-368.

MORRISH F.M., HANNA W.W., VASIL I.K., 1990. The expression and perpetuation of inherent somatic variation in regenerants from embryogenic cultures of *Pennisetum glaucum* (L.) R. Br. (pearl millet). Theor. Appl. Genet. 80 : 409-416.

NAGAMINE T., NAKAGHARA M., 1990. Genetic variation of chilling injury at seedling stage in rice, *Oryza sativa* (L.). Jpn. J. Breed. 40 : 449-455.

NAGAMINE T, 1991. Genic control of tolerance to chilling injury at seedling stage in rice, *Oryza sativa* (L.). Jpn. J. Breed. 41 : 35-40.

NIZIJIYIMANA A., 1993. Détermination et caractérisation des phases de sensibilité aux basses températures chez le riz (*Oryza sativa* L.). Thèse de doctorat, université catholique de Louvain, Belgique, 124 p.

OGURA H., SHIMAMOTO K., 1991. Field performance of protoplast-derived rice plants and the release of a new variety. *In* Bajaj YPS, ed. Biotechnology in Agriculture and Forestry vol. 14. Berlin, Allemagne, Springer, p. 269-282.

SASAKI T., 1974. Studies on germination ability under low temperature condition of rice varieties. Kamikawa Agric. Exp. Sta. Hokkaido 24 : 190.

SHAHI B.B., KHUSH G.S., 1986. Genetic analysis of cold tolerance in rice. *In* Rice Genetics. Manila, Philippines, International Rice Research Institute, p. 429-435.

SUN Z.-X., ZHAO C.-Z., ZHENG K.-L., QI X.-F., FU Y.-P., 1983. Somaclonal genetics of rice, *Oryza sativa* L. Theor. Appl. Genet. 67 : 67-73.

SUN Z.-X., SUN L.-H., SHU L.-H., 1991. Utilization of somaclonal variation in rice breeding. *In* Bajaj YPS, ed. Biotechnology in Agriculture and Forestry. vol. 14. Berlin, Allemagne, Springer, p. 329-346.

TORIYAMA K., FUTSUHARA Y., 1960. Genetic studies on cool tolerance in rice. Jpn. J. Breed. 10 : 143-152.

VAN SINT JAN V., 1992. Sélection *in vitro* et caractérisation de lignées de cellules et de plantes d'*Oryza sativa* L. tolérantes à l'aluminium. Thèse de doctorat, université catholique de Louvain, Belgique, 218 p.

VAN SINT JAN V., SKALI SENHAJI N., AMSSA M., BERTIN P., LUTTS S., BOUHARMONT J., 1991. *In vitro* selection for stress tolerance in rice. Vortr. Pflanzenzüchtg. 20 : 146-153.

WERSUHN G., 1989. Obtaining mutants from cell cultures. Plant Breed. 102 : 1-9.

ZHANG M., RAJASHEKAR C.B., 1994. Selection of cold tolerant cells of grapes in suspension culture. Plant Sci. 97 : 69-74.

POISSON C., RAKOTOARISOA J., (édit.), 1997
Riziculture d'altitude
Actes du séminaire riziculture d'altitude,
29 mars-5 avril 1996, Antananarivo, Madagascar
Colloques, CIRAD-CA, Montpellier, France, 272 p.

Amélioration de la résistance variétale au froid du riz d'altitude

C. POISSON[1], M. PUARD[1], R. DECHANET[2]
1. CIRAD-CA, BP 5035, 34032 Montpellier, France
2. CIRAD-FOFIFA, programme riz d'altitude, BP 853, Antananarivo, Madagascar

Résumé — L'étude du développement de la riziculture d'altitude a fait l'objet d'un projet de recherche conduit depuis 1984, avec l'appui financier de la commission européenne (DG12), par le CIRAD et le FOFIFA, à Madagascar, le Burundi (la faculté d'agronomie et ISABU) et la Belgique (l'université catholique de Louvain), puis, plus récemment, avec le Népal (l'ECARDS et l'université de Tribhuvan) et la Chine (le KIB, au Yunnan). Parmi les contraintes de culture en zone d'altitude, le froid représente une contrainte majeure. L'approfondissement de la connaissance de l'effet du froid sur la plante et la mise au point de méthodes de laboratoire telles que la mesure de la capacité photosynthétique de la plante par le biais des échanges de gaz carbonique, la réponse du photosystème II par détermination de la fluorescence, l'analyse de la teneur en chlorophylle, ont permis de donner au sélectionneur des outils utiles pour la création de variétés résistantes à cet aléa. En riziculture pluviale, des variétés améliorées ont été obtenues dans le cadre de ce projet et sont actuellement en cours de diffusion, notamment à Madagascar et en Chine, jusqu'à 1 650 m d'altitude. En riziculture irriguée, des variétés améliorées sont en cours d'évaluation en milieu réel avant leur diffusion.
Mots-clés : riz pluvial, riz irrigué, riz d'altitude, photosynthèse, fluorescence, sélection, Madagascar, Chine.

Introduction

L'extension et l'intensification de la riziculture dans les zones d'altitude peuvent être une réponse à la nécessité d'augmenter la production rizicole compte tenu de la croissance démographique, et d'améliorer les conditions de vie des populations défavorisées.

La riziculture pluviale peut être une solution intéressante dans les régions où les aménagements pour la riziculture irriguée sont souvent difficiles et coûteux en raison du relief et du manque d'accessibilité. Des situations semblables se retrouvent dans les régions d'altitude du Pakistan, d'Inde, du Népal, du Bouthan, de Thaïlande, du Myanmar, de Chine, d'Indonésie (STHAPIT, 1990), de Madagascar, du Burundi, du Rwanda, du Zaïre, des pays de la cordillère des Andes en Amérique du Sud. Cependant, sa limite de culture se situe actuellement à 1 650 m d'altitude en zone tropicale (Madagascar, Népal, Chine) et, au-delà de cette limite, jusqu'à 2 700 m, il n'y a pas d'autre solution que l'intensification de la riziculture irriguée pour augmenter la production à l'unité de surface ; le village de Shang Wa Du dans la province du Yunnan en Chine — situé à 2 710 m d'altitude — est considéré comme le plus haut lieu de culture du riz au monde (TAO DAYUN, com. pers.). Cette prédominance de la culture aquatique en altitude s'explique par la différence de pouvoir calorifique entre un sol sec et un sol humide, les écarts de température étant moins tamponnés en condition pluviale qu'en condition aquatique.

Les études menées à Madagascar par les équipes du CIRAD et du FOFIFA — dans le cadre des projets successifs financés par la Commission européenne — ont porté sur l'intensification de la riziculture aquatique d'altitude et sur la mise au point et le développement de la riziculture pluviale d'altitude.

Parmi les contraintes de culture, le froid représente la contrainte majeure pour la riziculture en zone d'altitude. Des recherches ont été conduites sur ce thème simultanément sur le terrain, à Madagascar, et au laboratoire en France. Ces travaux sont présentés ci-après.

On considère généralement que le froid est contraignant pour le riz en dessous de 18 °C pour la plus grande partie de son cycle. Cette contrainte —

pour différents environnements rizicoles — se retrouve dans certaines conditions :

- en riziculture d'altitude sous climat tropical ;
- en riziculture tempérée ;
- en riziculture de saison sèche en zone tropicale.

Cependant, la sensibilité du riz au froid est variable selon la sous-espèce — japonica ou indica —, le stade végétatif de la plante, de la germination à la maturité, et selon l'organe, les racines ou les parties aériennes. La sous-espèce indica, adaptée à la culture aquatique des zones tropicales chaudes, est beaucoup plus sensible au froid que la sous-espèce japonica. Les seuils de tolérance aux températures minimum sont plus élevés et on ne trouve guère de variétés appartenant à cette sous-espèce adaptées à la culture de haute altitude. Les racines sont plus sensibles aux basses températures que les parties aériennes. Comme les sols secs sont sujets à une grande fluctuation thermique, on comprend la plus grande sensibilité du riz pluvial au froid que le riz aquatique. La croissance des racines étant affectée par les basses températures, la quantité d'éléments nutritifs prélevés varie en fonction de la température du sol.

Pour ce qui est des organes végétatifs, l'élongation et le verdissement des feuilles sont altérés par les basses températures (SMILLIE, 1976). Dans ces conditions, la photosynthèse est alors le mécanisme le plus affecté (LONG, 1983, BAKER, 1988). La transpiration de la plante diminue également (KRAMER, 1983) ce qui est, semble-t-il, imputable à la fermeture des stomates et à la chute de la conductivité dans les racines (RUNNING et READ, 1980).

En ce qui concerne les organes reproductifs, le froid provoque un retard dans l'épiaison, une faible exertion, une dégénérescence de l'extrémité paniculaire (STHAPIT, 1990), une stérilité partielle ou totale des épillets, ce qui implique une baisse de rendement.

Le froid peut être également contraignant de façon indirecte sur les plantes en agissant sur le développement de certaines maladies. Pour la bactériose *Pseudomonas fuscovaginae,* T. JAUNET (1995) a mis en évidence sur riz aquatique, l'effet de l'altitude entre 1 250 et 1 850 m, à Madagascar, sur le pourcentage des touffes attaquées qui varie de 0 à 45 % et le pourcentage des talles malades, au stade de la gaine, qui varie de 0 à 12 % pour l'ensemble des talles.

Pour la pyriculariose, *Magnaporthe grisea,* malgré l'observation fréquente d'une diminution de son effet avec le froid, la liaison avec les paramètres climatiques est plus complexe. La pourriture des gaines provoquée par *Sarocladium oryzae* est également très fréquente sur riz pluvial en zone d'altitude, mais aucune corrélation avec le froid n'a été établie.

Matériel et méthodes

Différentes méthodes ont été utilisées en laboratoire, en France ou à Madagascar, au sein du projet, en vue d'identifier et d'exploiter une variabilité génétique pour la résistance au froid utilisable par le sélectionneur.

Sélection classique

La sélection classique a été pratiquée à Madagascar, à 1 500 m d'altitude pour le riz pluvial et à 1 850 m pour le riz irrigué. L'évaluation agronomique des lignées a été réalisée à partir de la 6^{e} génération, simultanément à Madagascar et au Népal. Les variétés créées issues de ce programme ont ensuite été testées sous différents niveaux d'intensification et sur plusieurs sites à Madagascar, au Népal et au Yunnan. L'ensemble des croisements a été réalisé au sein du groupe japonica au sens large, les géniteurs appartenant aux goupes enzymatiques 6 et 6.MDG — intermédiaire proche de japonica, spécifique de Madagascar — ont été définis par J.-C. GLASZMANN.

Les critères de sélection utilisés sont variables selon le type de riziculture et selon la période où s'exerce la contrainte. A Madagascar, le froid est surtout contraignant en début et en fin de cycle du riz. Une bonne vigueur au départ et un bon niveau de fertilité des épillets sont alors considérés comme des critères de tolérance au froid. Au Népal, le froid peut induire, au moment de la floraison, une dégénérescence de l'extrémité de la panicule. Ce critère de sensibilité est utilisé en plus des autres critères de sélection (STHAPIT, 1990).

Sélection récurrente

Une sélection récurrente a été lancée à Madagascar, aussi bien pour le riz pluvial que pour le riz aquatique. Après plusieurs phases d'intercroisements sur deux campagnes annuelles, une sélection créatrice a été commencée pour les deux types de riziculture.

Méthodes de laboratoire

Les méthodes de laboratoire actuellement utilisées au CIRAD pour déterminer le niveau de résistance

au froid ont concerné essentiellement la mesure de la capacité photosynthétique, variable en cas de stress. L'évaluation de l'activité de certaines enzymes, dont la présence ou l'absence de formes particulières d'entre elles peuvent être induites par certains stress, la mesure de la perméabilité membranaire, le niveau de résistance des membranes cellulaires en relation avec la réponse des cellules à un stress physique ont été expérimentés par d'autres laboratoires avec des succès divers. La photosynthèse a été évaluée dans un premier temps par la quantité de gaz carbonique absorbée par la plante. Cette mesure a été effectuée plante à plante au sein d'une cellule régulée dans laquelle on faisait varier la température tout en conservant un niveau d'énergie supérieur à 1 200 micro moles/m^2/s.

Cette méthode, bien que précise, reste lourde à conduire, aussi, dans un deuxième temps, a-t-on cherché à corréler le niveau de la photosynthèse avec les paramètres mesurés par la fluorescence. Les plantes ont, en effet, la propriété de réémettre une partie de l'énergie excédentaire non utilisable par le processus de la photosynthèse sous forme de fluorescence. En condition de stress, une variété de riz qui réémet beaucoup d'énergie, et donc de la fluorescence, traduira une faible activité photosynthétique et ainsi une moindre adaptation à ce stress.

La mise au point du test de criblage a été effectuée avec des variétés cultivées en climat tempéré, puis le test a été appliqué à des variétés de riz pluvial ou aquatique actuellement cultivées en région d'altitude au Népal, au Burundi et à Madagascar et à des variétés de basse altitude d'Afrique. Il s'agit des variétés suivantes :

- Jumli Marshi (Népal) ;
- Yunnan 3 (Burundi) ;
- Latsidahy (Madagascar) ;
- Gandruk (Népal) ;
- Rojofotsy (Madagascar) ;
- Moroberekan (Côte d'Ivoire) ;
- IRAT 13 (Côte d'Ivoire).

L'étude a été réalisée en phytotron, à Montpellier, avec les paramètres d'environnement suivants : température de jour 27 °C, température de nuit 22 °C, hygrométrie 75 % le jour, 85 % la nuit, éclairage de 11 h. La première mesure de l'activité photosynthétique des plants de riz par la technique de la fluorescence a été effectuée au 40e jour après semis. Les plantes ont été ensuite placées dans une chambre froide à 10 °C pendant 4 jours avec les mêmes conditions d'éclairement, puis replacées à 27 °C le jour et 22 °C la nuit.

Résultats

Activité photosynthétique

Les variétés originaires des zones d'altitude ont confirmé leur résistance intrinsèque au froid et présentaient les caractéristiques communes suivantes :

– une activité photosynthétique moyenne et une saturation plus rapide de leur photosynthèse si l'énergie lumineuse augmente ;

– une réaction au froid en diminuant fortement leur activité photosynthétique mais en récupérant rapidement leur niveau d'activité initiale lorsque la température passe au-dessus de 20 °C ;

– une optimisation de leur photosynthèse à des températures plus faibles — inférieure à 27 °C — que pour les variétés des régions chaudes — entre 27 et 30 °C.

Le fait le plus marquant en période froide reste le décalage entre nutrition carbonée et nutrition minérale. En effet, la feuille éclairée par les rayons de soleil s'échauffe et photosynthétise tandis que la température froide du sol inhibe le fonctionnement de la rhizosphère (PUARD *et al.*, 1989). On estime, en effet, que dans ces conditions, la nitrate réductase est stoppée dans les racines et la plante va incorporer l'azote directement sous forme nitrique et non ammoniacale (VIZIER et PUARD, 1990, ZHANG et PUARD, 1990). Or les coenzymes réduits et les produits carbonés qui sont habituellement les accepteurs de l'ammoniac terminal ne pourront plus jouer leur rôle. Ce phénomène pourrait contribuer à la stérilité des grains. Par ailleurs, en agissant sur l'absorption minérale, le froid peut accentuer la carence en oligoéléments, parmi ceux-ci le molybdène, dont l'absence contribuera à inhiber la nitrate réductase (PUARD, com pers.).

Sélection

Riziculture pluviale d'altitude

Les premières créations variétales de ce programme ont été obtenues à Madagascar pour la riziculture pluviale de moyenne altitude (800 à 1 000 m). Il s'agissait de variétés issues de croisements intrapluviaux avec des géniteurs remarqués pour leur bonne adaptation à l'environnement d'altitude :

– FOFIFA 62 (IRAT 351) : Daniela//IAC25 ;
– FOFIFA 64 (IRAT352) : Daniela//IAC25 ;
– FOFIFA 116 (IRAT 234) : RS 25//IAC25.

La seconde série d'obtention variétale a été plus prometteuse de par son adaptation à des altitudes plus élevées : 1 500/1 600 m.

Il s'agissait de croisements entre variétés pluviales améliorées et aquatiques d'altitude. Leur comportement au froid a été vérifié en laboratoire par la mesure de leur activité photosynthétique après stress et *in situ*, à 1 850 m d'altitude, pour les variétés aquatiques et 1 500 m pour les variétés pluviales.

Deux variétés ont été inscrites en 1992 au catalogue national malgache et au catalogue du CIRAD, il s'agit de :
– FOFIFA 134 (IRAT 379) : Latsidahy//FOFIFA 62 ;
– FOFIFA 133 (IRAT 380) : Latsidahy//FOFIFA 62.

Puis quatre autres variétés nouvelles ont été inscrites en 1995, il s'agit de :
– FOFIFA 151 (CIRAD 391) : Latsidahy//Shin Ei ;
– FOFIFA 152 (CIRAD 392) : Latsidahy//FOFIFA 62 ;
– FOFIFA 153 (CIRAD 393) : Latsibavy//Daniela ;
– FOFIFA 154 (CIRAD 394) : Latsibavy//FOFIFA 62 ;
– riziculture aquatique d'altitude.

Les résultats obtenus restent moins spectaculaires qu'en riziculture pluviale. Toutefois, quelques lignées issues d'un croisement entre cultivars locaux (Latsidahy//AS40) se sont révélées intéressantes pour leur stabilité de rendement ainsi que pour leur précocité. Ce dernier critère est très apprécié des paysans non seulement pour étaler leur récolte mais surtout pour effectuer aisément une double culture dans les régions de moyenne altitude. Ces lignées sont en cours d'évaluation en milieu réel avant d'être diffusées comme variétés pour la haute et moyenne altitude.

Evaluation agronomique

Elle a été réalisée en réseau par les différents partenaires du projet essentiellement pour la riziculture pluviale. Au Népal, parmi les variétés testées à Katmandou, à 1 400 m d'altitude, la variété IRAT 380 (FOFIFA 133) s'est révélée — au cours de l'expérimentation de 1995 —, la plus productive avec un rendement de 6 163 kg/ha avec la fumure complète recommandée, le témoin amélioré Khumal 5 atteignant un rendement de 4 963 kg/ha. En revanche, aucune variété pluviale testée à Jumla, à 2 400 m d'altitude, n'a pu arriver à maturité. Parmi les lignées en observation, 3 issues du croisement Latsibavy//Daniela ont été retenues pour leur performance avec des rendements potentiels de 4 à 7 t/ha.

Au Yunnan, IRAT 380 (FOFIFA 133) s'est montrée également la plus performante, en 1995, sur les différents sites où elle a été testée entre 980 m et 1 370 m. La variété IRAT 379 (FOFIFA 134) remarquée au cours de l'expérimentation de 1994 a été largement distribuée aux paysans en 1995 afin de vérifier son adaptation à divers systèmes de culture sous différentes altitudes.

En moyenne altitude, jusqu'à 1 300 m, la variété IRAT 104 vient d'être recommandée à la culture par les autorités chinoises après trois années d'expérimentation multilocale dans tout le sud du Yunnan.

A Madagascar, l'évaluation agronomique a été effectuée en 1995 sous trois niveaux d'intensification et cinq sites repartis entre 1 400 et 1 600 m d'altitude. Les variétés nouvelles FOFIFA 151 (CIRAD 391), FOFIFA 152 (CIRAD 392) se sont montrées les plus performantes avec FOFIFA 134 (IRAT 379) et FOFIFA 133 (IRAT 380) avec des rendements de 3 à 6 t/ha toujours très supérieurs à celui des témoins locaux.

En outre, l'analyse faite sur plusieurs années a mis en évidence une grande régularité des rendements. FOFIFA 134 (IRAT 379) et FOFIFA 133 (IRAT 380) font actuellement l'objet d'un programme accéléré de multiplication de semences et sont en cours de diffusion auprès des paysans dans la région d'Antsirabe.

Discussion

Si, pour la riziculture aquatique de haute altitude, les variétés améliorées n'ont pas encore supplanté les variétés ni les populations locales jusqu'à un passé récent (STHAPIT, 1990, DECHANET, 1990), il n'en est pas de même pour la riziculture pluviale où il n'y a pas de véritable tradition pour ce système de culture en zone d'altitude. La création variétale a permis néanmoins de mettre au point, dans un premier temps, des variétés nouvelles adaptées à la moyenne altitude puis, dans un second temps, des variétés adaptées à une plus haute altitude. Les travaux d'agronomie menés simultanément dans cet environnement ont montré que des rendements de 5 t/ha pouvaient être atteints (CHABANNE, 1990).

La sélection classique pratiquée *in situ* s'est révélée relativement efficace en intégrant simultanément l'ensemble des contraintes agissant sur le riz pluvial dans ces milieux. Cependant, la pratique de cette sélection en un seul point ne permet pas d'avoir régulièrement l'ensemble des pressions de sélection. A Madagascar, en système pluvial, le décalage des semis dus au retard de la saison des pluies a souvent

occulté l'épidémie de pyriculariose qui se développe généralement en fin de cycle. La régionalisation de la sélection peut être une parade à ce problème.

La sélection récurrente semble, à long terme, une voie intéressante pour accumuler au sein de la même variété l'ensemble des gènes de résistance, au froid notamment. Les travaux — menés à Madagascar dans cette voie — ont mis en évidence la nécessité de réaliser assez tôt des cycles de sélection dans le processus de création des populations mères afin de conserver les groupes de liaison adaptés au milieu. L'utilisation de méthodes de laboratoire en appui à la sélection peut se révéler utile dans le cas notamment de la recherche d'une meilleure résistance au froid. La mesure de l'activité photosynthétique sous forme de fluorescence a permis, en particulier, de définir des groupes de variétés optimisant leur photosynthèse à des températures plus basses que d'autres et présentant ainsi une meilleure adaptation au froid. L'expérience réalisée en milieu hydroponique a cependant ses limites en raison de la non prise en compte de la variation de la nutrition minérale avec le froid. La mesure de cette fluorescence *in situ* à l'aide d'appareils portables est plus séduisante. Elle permet d'enregistrer un grand nombre de données et tient compte des autres contraintes de l'environnement. L'utilisation de cet appareil par temps de pluie ou de bruine est mentionnée parmi les limites de cette technologie (STHAPIT, 1990).

Références bibliographiques

AMANO T., 1990. Case studies on countermeasures against cool weather damage of rice *Oryza sativa* L. plants in rice growing countries. Preliminary investigation in Heilongjiang Province, China. Bulletin of Experimental Farm, Faculty of Agriculture, Kyoto, Prefectural University, Japan, N° 15, p. 11-23.

BAKER N.R., LONG S.P., ORT D.R., 1988. Photosynthesis and temperature, with particular reference to effects on quantum yield. *In* Plants and Temperature. Long SP et FI Woodward (Eds), Symp. Soc. Biol. (vol. 42). Cambridge, Grande-Bretagne, The Company of Biologists Limited, p. 347-375.

BAO-GUI ZHANG, PUARD M., COUCHAT P., 1990. Effect of hypoxia, acidity and nitrate on inorganic nutrition in rice plants. Plant Physiol. Biochem. 28 (5) : 655-661.

BOUHARMONT J., TILQUIN J.-P. (éditeurs), 1990. Contraintes liées à la riziculture d'altitude et amélioration variétale. Séminaire sur les contraintes liées à la riziculture d'altitude et l'amélioration variétale, Bujumbura, Burundi, 18-23/4/1990, 213 p.

CHABANNE A., ROLLIN D., 1990. L'environnement et la riziculture d'altitude à Madagascar. *In* Séminaire sur les contraintes liées à la riziculture d'altitude et l'amélioration variétale, Bujumbura, Burundi, 18-23/4/1990, p. 29-45.

DECHANET R., RAVATOMANGA J., RAKOTONIRAINY R., 1990. L'amélioration variétale du riz d'altitude à Madagascar. *In* Séminaire sur les contraintes liées à la riziculture d'altitude et l'amélioration variétale, Bujumbura, Burundi, 18-23/4/1990, p. 45-54.

DUVEILLER E., NTIBISHIMIRWA M., MARAITE H., PERREAUX D., 1987. La pourriture brune de la gaine foliaire du riz *(Pseudomonas fuscovaginae)* en riziculture d'altitude. *In* Séminaire sur les maladies et les ravageurs des principales cultures vivrières d'Afrique centrale, Bujumbura, Burundi, 16-20/2/1987, p. 145-154.

GLASZMANN J.-C., KAW R.N., KHUSH G.S., 1990. Genetic divergence among cold tolerant rices *(Oryza sativa)* L. Euphytica vol. 45 (2) 95-104.

HINCHA D.K., SCHMITT J.M., 1985. Mechanical injury to thylakoid membranes during feezing *in vitro*. Biochim. Biophys. Acta 812 : 173-180.

JACQUOT M., 1987. Amélioration variétale pour le développement de la riziculture aquatique et pluviale en zone tropicale d'altitude. *In* Doc. IRAT pour CEE STD1.

JAUNET T., ROTT P., NOTTEGHEM J.-L., 1990. Diagnostic et résistance à *Pseudomonas fuscovaginae*. *In* Séminaire sur les contraintes liées à la riziculture d'altitude et amélioration variétale, Bujumbura, Burundi, 18-23/4/1990, p. 121-128.

JAUNET T., 1995. Caractérisation, pathogénie et épidémiologie de *Pseudomonas fuscovaginae*, agent de la pourriture brune des gaines du riz *(Oryza sativa)*. Université Paris XI, Orsay, France, 67 p.

KRAMER P.J., 1983. Water relations of plants. Orlando Academic Press.

LONG S.P., 1983. C4 photosynthesis at low temperatures. Plant Cell Environ (6) : 345-363.

LYNCH D.V., STEPONKUS P.L., 1987. Plasma membrane lipid alterations associated with cold acclimatation of winter rye seedlings Secale cereale L. Cv Puma. Plant Physiol. 83 : 761-767.

NTIBISHIMIRWA M., 1990. Epidémiologie de la bactériose du riz causée par *Pseudomonas fuscovaginae* au Burundi. *In* Séminaire sur les contraintes liées à la riziculture d'altitude et amélioration variétale, Bujumbura, Burundi, 18-23/4/1990, p. 93-105.

POISSON C., 1995. Rizicultures d'Afrique de l'Ouest. Acquis de la recherche et perspectives. *In* Quel avenir pour les rizicultures d'Afrique de l'Ouest, séminaire international, 4-7/4/1995, Bordeaux, France.

PUARD M., COUCHAT P., LASCEVE G., 1989. Etude des mécanismes d'adaptation du riz *(Oryza sativa)* L. aux contraintes du milieu. Modification anatomique des racines. Agronomie Tropicale 44 (3) 165-171.

QUINN P.J., 1988. Effects of temperature on cell membranes. *In* Long S.P., Woodward R.I. (Eds) : Plants and Temperature, Symp. Soc. Exp. Biol. (vol. 42), 1988. Cambridge, Grande-Bretagne, The Company of Biologists Limited, p. 237-258.

RHO Y.D., PARK S.H., WILSON J.M., 1986. Assessment of the chilling sensitivity of Korean rice cultivars by chlorophyll fluorescence analysis. Korean Journal of Crop Science 31 (3) : 356-360.

RUNNING G.W, READ C.P., 1980. Soil temperature influences on root resistance of *Pinus cortota* seedling. Plant Physiol. (65) : 635-640.

SANTARIUS K.A., 1982. The mechanism of cryoprotection of biomembrane systems by carbohydrates. *In* Il P.H., Sakai A. (Eds) : Plant Cold Hardiness and Freezing Stress, Mecanisms and Crop Implications. New York Academic Press (vol. 2) : 475-486.

SMILLIE R.M., 1976. Temperature control of chloroplast development. *In* Bücher T. (Ed), Genetics and Biogenesis of Chloroplast and Mitochondria, North Holland Elsevier, p. 103-110.

STHAPIT B.R., 1990. Studies on the cold tolerance rice in Lumle, Nepal : a review. *In* International rice research conference, Séoul, Corée, 27-31/8/1990, p. 1-4.

STHAPIT B.R., WILSON J.M., 1993. Chlorophyll fluorescence analysis (CFA) for assessing cold tolerance at anthesis in Nepalese indigenous rice genotypes. Crop Science Section, Lumle Regional Agricultural Research Centre, Nepal.

TANAKA I., 1976 Climatic influence of photosynthesis and respiration on rice. *In* Climate and rice. International Rice research Institute. Los Baños, Philippines, p. 223-247.

VERGARA B.S., VISPERAS R.M., COFFMAN W.R., VILLAREAL R.L., BACALANGCO E., 1976. Screening of the rice germ plasm for low temperature tolerance at different stages of growth. IRRI, Los Baños, Laguna, Philippines. SABRAO Journal, vol. 8 (2) : 97-104.

VIZIER J.-F., PUARD M., 1989. Influence de la fertilisation sur le comportement du riz pluvial en milieu inondé. Agronomie Tropicale 44 (3) 313-320.

ZHANG B.G., PUARD M., COUCHAT P. Effect of hypoxia, acidity and nitrate on inorganic nutrition in rice plants. Plant Physiol. Biochem. 1990, 28 (5) 665-661.

ZHONG G.R., 1991. Advances in research on cold tolerance in rice. Jiangsu Journal of Agriculture Sciences 7 : 52-56.

POISSON C., RAKOTOARISOA J., (édit.). 1997
Riziculture d'altitude
Actes du séminaire riziculture d'altitude
29 mars-5 avril 1996, Antananarivo, Madagascar.
Colloques, CIRAD-CA, Montpellier, France, 272 p.

Inheritance of chlorophyll fluorescence (F_v/F_m) in rice under chilling conditions

B.R. STHAPIT[1], K.D. JOSHI[1], J.M. WILSON[2], J.R WITCOMBE[2]
1. Local Initiatives for Biodiversity, Research and Development (LI-BIRD),
PO Box 324, Pokhara, Nepal
2. School of biological sciences, university of wales, Guynedd, Bangor
3. Centre for Arid Zone Studies, University of Wales, Bangor,
Gwynedd LL57 2UW, United Kingdom

Abstract — Chilling injury to rice (*Oryza sativa* L.) results in a decrease of yield or deterioration in grain quality and is a major problem in the hills of Nepal. There is no single quantitative screening method which can be used by rice breeders to measure chilling sensitivity rapidly. The heritability of chlorophyll fluorescence was studied in F_3 families derived from two rice crosses involving a field-tolerant (T) parent, and a susceptible (S) parent. Chlorophyll Fluorescence Analysis (CFA) was assessed at two altitudes in the hills of Nepal to give differing degrees of chilling stress. Heritability (h2) estimates of F_v/F_m and other physiological traits were determined by analysis of F_3 family means in crosses Raksali (S) x Makwanpur-15L (I), and IR36 (S) x Chhomrong (T). Heritability estimates for F_v/F_m under natural chilling conditions were moderate (h2 = 0.34-0.40). Under controlled condition heritability was high (h2 = 0.61) from F_3 families of one cross Raksali (S) x Makwanpur-15L (I). The lower h2 of field measured F_v/F_m was associated with variability caused by weather conditions. F_v/F_m is a heritable trait if other environmental factors are effectively controlled or minimised while measuring chlorophyll fluorescence. The predicted genetic gain of F_v/F_m was much higher under controlled conditions as compared to field tests. The broad-sense heritability of F_v/F_m estimated from the F2 plants of Chhomrong x Makwanpur- 1 cross was very high (h2 = 0.84). Under both field and controlled conditions F_v/F_m was significantly correlated with floret fertility suggesting that CFA can be a potential screening tool. Progress for chilling tolerance can be made by screening segregating populations for F_v/F_m under chilling stress. Problems associated with its field use are also discussed.
Keywords: heritability, chlorophyll fluorescence, rice, chilling, Nepal.

Introduction

Chilling temperature (below 20 °C; RAISON and ORR, 1990) during the growth of the rice (*Oryza sativa* L.) plant can result in short plants, prolonged growth duration, poor panicle exsertion, leaf yellowing, and spikelet sterility (KANEDA and BEACHELL, 1974). Under field conditions, chilling temperatures can induce many types of visual symptoms, depending on the growth stage of the rice plant, and the duration and intensity of the chilling temperatures (STHAPIT, 1994). Chilling injury in rice can be measured by chlorophyll fluorescence before visible symptoms appear (WILSON and GREAVES, 1990; STHAPIT *et al.*, 1995). Relative reduction of photo-chemical efficiency (F_v/F_m) of leaf tissue under chilling stress indicates the onset of chilling injury, and genetic variation of F_v/F_m was reported in rice (HUANG *et al.*, 1989; STHAPIT *et al.*, 1995). Chlorophyll fluorescence analysis (CFA) was used to assess variation for chilling tolerance among rice cultivars (STHAPIT *et al.*, 1995), but its application to practical breeding programmes depends upon various considerations, including its heritability and its relationship to chilling tolerance in the field. In general, heritability estimates for chilling tolerance

in rice are reported to be high (TORIYAMA and FUTSUHARA, 1960; MOON, 1983) and the selection of F_2 individuals and F_3 lines are reported to be effective for increasing chilling tolerance in rice (MOON and RUTGER, 1988). The heritability of chlorophyll fluorescence under chilling stress has not previously been estimated in rice. However, a knowledge of its inheritance and its relationship with chilling tolerance under field conditions is essential to assess the usefulness of the trait for selection for improved chilling tolerance.

The objectives of this study were to determine the entry-mean heritability of chlorophyll fluorescence (F_v/F_m) under controlled and field conditions; to study the associations between F_v/F_m and agronomic traits; and to estimate predicted response to selection based upon F_v/F_m in crosses between two chilling-tolerant Nepalese cultivars that were cold-tolerant and an exotic and an indigenous chilling-susceptible cultivar.

Materials and methods

Genetic material

F_1, F_2, and F_3 generations were derived from two crosses with the least tolerant parent of each cross listed first: Raksali-SL x Makwanpur-1-15L (R x M15L), and IR36 x Chhomrong-1L (IR36 x C). For brevity these are written below either without or with abbreviated suffixes. The chilling-tolerant parents were Chhomrong (strongly chilling-tolerant) and Raksali (moderately field-tolerant to chilling). Chhomrong has been consistently reported to be cold tolerant by CFA analysis (STHAPIT *et al.*, 1995) as well as in field tests (STHAPIT, 1991) at Lumle, Nepal. IR36 and Makwanpur-1 were used as the susceptible parents.

Production of F_2 and F_3 seed

In 1992, the F_2 and F_3 seed was produced in two growing seasons at low altitude (475 m) in Nepal to avoid chilling stress. In the first of these, F_2 seed was produced from each of the three F_1s. In the second, F_3-family seed was harvested from individual F_2 plants. For all genotypes, 20-day-old seedlings were singly transplanted into puddled rice fields in a square grid pattern with 25 cm between the seedlings. At maturity, seed were harvested from the individual plants. The fields were fertilised at transplanting with the equivalent of 90 kg/ha N, 30 kg/ha P_2O_5, and 30 kg/ha K_2O. Thirty kg/ha each of N, P_2O_5, K_2O was applied at the time of puddling, and two further top-dressing each of 30 kg/ha of N was applied as urea at 25 and 45 days from transplanting. Before top-dressing the plots were weeded.

Evaluation of genetic material

In 1993, rice crosses were evaluated in terraced fields at two research sites of the Lumle Agricultural Research Centre, Nepal, Ghandruk (2,000 m) and Lumle (1,450 m). At each location, one cross was evaluated by growing the parental lines, and the F_2 bulk and F_3 families from the cross (Table I) in a randomised complete block design with three replications. To increase the accuracy of the measurements on parental lines (P_1 and P_2) each line was replicated 12 times. Seedlings were transplanted into plots that consisted of single 2-m-long rows. The rows were 30 cm apart and the plants 25 cm apart within the rows. No chemical fertiliser was applied at Ghandruk and Lumle as the soil fertility was already very high.

Evaluations were made under natural chilling conditions (Table I). In both the locations average minimum temperatures were below 16 °C after September when the plants began to boot (Table I). Data recorded were: F_v/F_m at GS4-6, days to 50% booting, plant height at GS9 (cm), panicle exsertion at GS9 (1-9 scale) and spikelet sterility (IRRI, 1988).

Table I. Description of tests in which four generations of two rice crosses were evaluated for chlorophyll fluorescence and plant characteristics in Nepal in 1993.

Cross[a]	No of F_3 families	Location	Altitude (m)	Date of transplanting	Date of 50% booting in F_3 families	Temperature[b]
IR36 x C	101	Ghandruk	2,000	7 April 1993	8 to 22 August	15 to 16
Rx M-ISL	161	Lumle	1,675	21 April 1993	18 to 30 October	14 to 16

[a]: R x M-15L = Raksali x Makwanpur-15L, IR36 x C= IR36 x Chhomrong
[b]: Average minimum temperature from booting to heading (°C)

Chlorophyll fluorescence (F_v/F_m) was measured on the fully-expanded flag leaf of the main tiller of all individual plants at the booting stage using a portable P.K. Morgan CF-1000 fluorometer. In this study the ratio of F_v/F_m is used as a diagnostic probe for measuring chilling injury as F_v/F_m directly measures the photochemical efficiency of PSII (KITAJIMA and BUTLER, 1975; BJORKMAN and DEMMIG, 1987). In leaves of many non-stressed plants, the F_v/F_m ratio was stable at 0.832 ± 0.004 (BJORKMAN and DEMMIG, 1987) and a healthy rice leaf gives a value of F_v/F_m of above 0.82. The onset of chilling injury in rice leaves is accompanied by a decrease in chlorophyll fluorescence (BUTLER, 1978). If chilling treatment is prolonged, chlorophyll fluorescence eventually decline to zero (SMILLIE and HETHERINGTON, 1990). To compare the relative chilling tolerance of F_3 families, varietal differences are assessed on the basis of the absolute F_v/F_m values recorded after chilling stress (STHAPIT, 1994).

In order to avoid the effects of photo-inhibition, all measurements were taken during the morning (6.30-10 am) for a period of 10 days at Lumle (1450 m) for the Raksali x Makwanpur- 1 cross. At Ghandruk, F_v/F_m was measured at the booting to flowering stages within a period of 3 days. Readings were taken throughout the day, because the weather conditions for the period was generally overcast with intermittent drizzle. Leaf (inside cuvette) and water temperatures were also regularly monitored at 5 minute intervals during the period of the F_v/F_m measurement. CFA measurements were stopped when the leaf temperature inside the cuvette exceeded 30 °C.

A number of agronomic traits were also measured at various stages of rice growth such as: seedling and plant height at the GS1 and GS9 (cm), days to 50% booting, and flowering (d); chilling tolerance as assessed by leaf colour and vigour at the GS1, GS2, and GS6 (1-9 scale); panicle exsertion at the GS9 (1-9 scale) and yield and its components (metric data).

Growth stages of rice plants and all visual scoring was on a 1-9 scale as assessed according to the Standard Evaluation Systems for Rice (IRRI, 1988).

Analyses

Analyses of variance (ANOVA) for randomized block design were used to evaluate the significance of differences among parental, F_2, and F_3 generations for the F_v/F_m (SNEDECOR and COCHRAN, 1980). Standard errors of generations means were determined. Separate ANOVA for randomised blocks were used to examine the differences among the F_3 families for F_v/F_m.

Using the variance components of the ANOVA, family-mean heritabilities were calculated for the across-replicate means of the F_v/F_m of F_3 families (FEHR, 1987). Heritabilities were also determined on the basis of individual replicate (i.e., plot) values (FEHR, 1987). The expected mean square for families (MS_f) is $s^2 + rs^2 g$ and for the mean square for error (MS_e) is σ^2. The family-mean heritability is $\sigma^2 g/(\sigma^2 g + \sigma^2/r$ where r is the number of replicates. Therefore the family-mean heritability = $[(MS_f - MS_e)/r]/(MS_f/r)$ since the phenotypic variance for family-mean values is: $\sigma^2/r + \sigma^2 g = MS_f/r$ (FEHR, 1987, WRICKE and WEBER, 1986).

The predicted response to direct selection (R) was estimated as $R = h^2 S$, where h^2 is the entry-mean heritability of the selected trait, and S is the unstandardized selection differential (the mean superiority of the selected parents) and was the difference between the mean of selected families (at 10% selection intensity) and the overall population mean (FALCONER, 1989). The predicted genetic gain of various traits was also estimated as a percentage of the original unselected population mean.

Correlations were calculated between various traits on the basis of F_3 family phenotype means.

Results

Genetic variation

No significant differences were found between the generation means for F_v/F_m in an analysis of variance that included the four generations (P_1, P_2, F_2 bulk, and F_3 families) (Table II). A separate analysis of the F_3 families revealed significant ($P \leq 0.001$) variation in all crosses for F_v/F_m (Table III).

Frequency distribution of F_v/F_m

The frequency distribution of F_v/F_m among the F_3 families in the Raksali x Makwanpur-15L was skewed towards susceptibility (Figure 1), whilst in the IR36 x Chhomrong cross it was slightly skewed towards tolerance (Figure 2). The frequency distribution of the F_v/F_m ratio was skewed towards higher F_v/F_m in both crosses (Figures 1-2).

Table II. F_3 and parental means for chlorophyll fluorescence (F_v/F_m) with standard error and ranges of family means, and significance of differences among F_3 families and the F_3 heritabilities.

Cross[x]	Generation	n[y]	Mean ± SE	Range	Significance[z]	h^2
R x M-15L	F_3	579	0.813 ± 0.002	0.774-0.852	***	0.34
	F_2	30	0.817 ± 0.035			
	P_1(R)	120	0.809 ± 0.015			
	P_2(M-15L)	120	0.811 ± 0.012			
I x C	F_3	483	0.824 ± 0.003	0.783 -0.865	***	0.40
	F_2	30	0.822 ± 0.093			
	P_1(I)	120	0.827 ± 0.027			
	P_2(c)	120	0.850 ± 0.022			

[x] : R x M-15L : Raksali x Makwanpur-15L, I x C = IR36 x Chhomrong
[y] : number of entries
[z]*** = P ≤ 0.001 for significance of differences among F_3 families

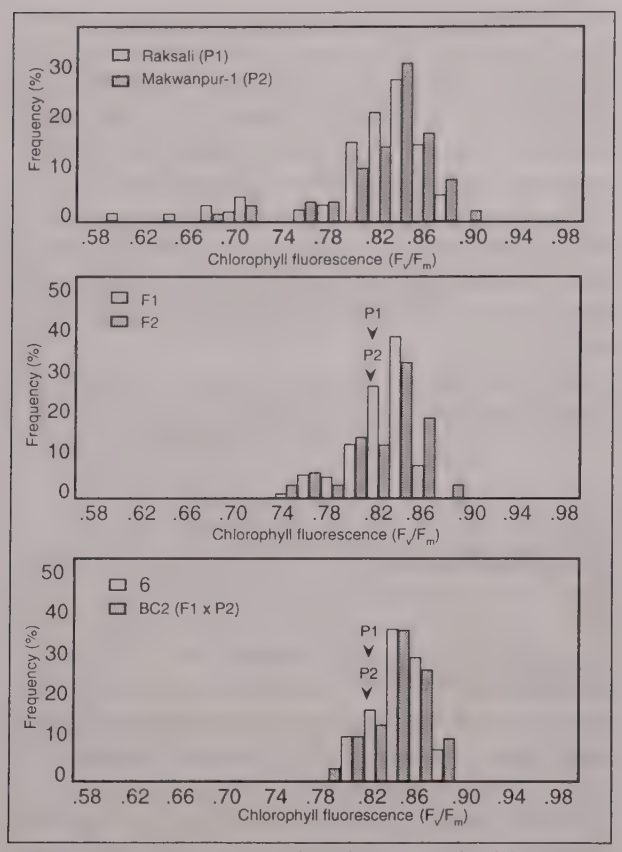


Figure 1. *Frequency distribution of chlorophyll fluorescence (F_v/F_m) on parental lines, F2 bulk, F_3 families, BC1 and BC2 of Raksali x Makwanpur-1 cross at 1 450 m in Nepal, 1993.*

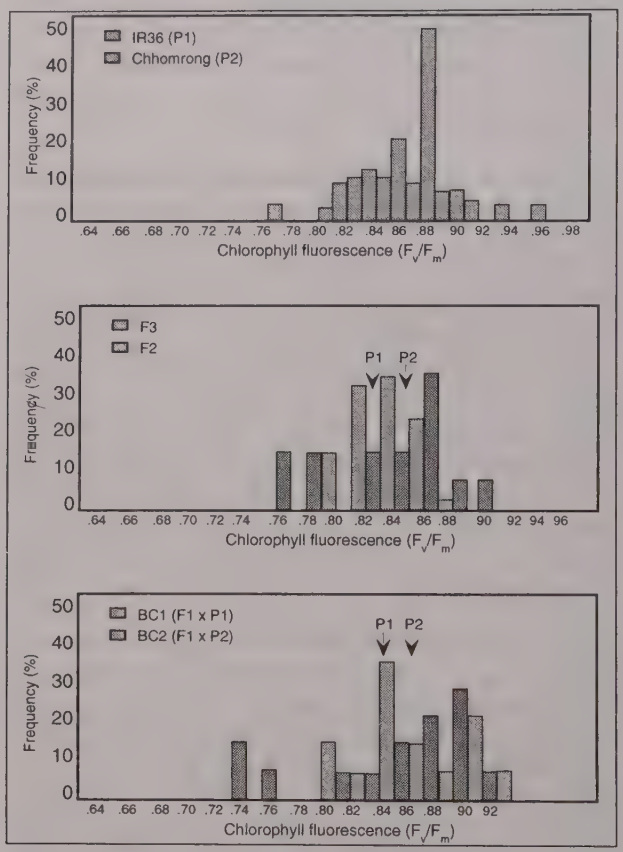


Figure 2. *Frequency distribution of chlorophyll fluorescence (F_v/F_m) on parental lines, F2 bulk, F_3 families, BC1 and BC2 of IR36 x Chhomrong cross at 2000 m in Nepal, 1993.*

Heritability

The heritability of F_3 family means was moderate (h^2 = 0.34 - 0.40) for in both the crosses under field conditions (Table II). In contrast, when one of the cross, Raksali x Makwanpur-I was studied under controlled conditions, the heritability was higher (h^2 = 0.61) (Table III).

Predicted genetic gain to selection

The predicted genetic gains to selection among F_3 families in the two crosses at 10% selection intensity for higher F_v/F_m values were low (1.4 - 14.2%) and consistent across both crosses (Table III).

Table III. Means of selected and unselected F_3 families with standard deviations; sample size, and predicted genetic gains with its component parameters for F_v/F_m traits in two crosses of rice evaluated at two locations, Nepal.

Traits	F_3 families: Population n^u	Population X^v	Selected X^w	S^x	h^2	R^y	Gain (%)^z
Raksali x Makwanpur-15L at 1450 m							
Field Condition -FV/Fm	193	0.813 ± 0.03	0.844 ± 0.01	0.031	0.34	0.011	1.4
Controlled Condition-Fr/Fm	193	0.614 ± 0.08	0.755 ± 0.03	0.141	0.62	0.087	14.2
IR36 x Chhomrong at 2000 m							
Field Condition -Fr/Fm	161	0.824 ± 0.02	0.857 ± 0.01	0.033	0.40	0.013	1.6

^{u} : number of F_3 families
^{v} : mean of unselected population
^{w} : mean of 10% selected F_3 families
^{x} : X-x
^{y} : predicted response to selection (S x h^2)
z : genetic gain (%) : [R/X x 100]

Phenotypic correlations

A significant positive correlation was found between the F_v/F_m and plant height (r = -0.25 to -0.32) ($P \leq 0.001$) and time to 50% booting stage in two crosses (Table IV). A significant correlation was also found between F_v/F_m and various such as spikelet fertility (r = 0.18, $P \leq 0.05$), seed yield and seed number/plant (r = 0.17, $P \leq 0.05$). Chilling tolerance at the booting stage was also correlated with F_v/F_m (Table IV). STHAPIT and WILSON, (1993) also found a significant negative correlation (r = -0.89, $P \leq 0.01$) between F_v/F_m at booting and spikelet sterility (%) in the controlled-environment study, indicating that F_v/F_m can be used to predict spikelet fertility and can be, therefore, a useful tool in screening for chilling tolerance at anthesis. No other consistent and significant relationship was found between chlorophyll fluorescence and other agronomic traits and phenological parameters that were measured (Table IV).

Table IV. Phenotypic correlation (r) among entry-means of F_3 families for F_v/F_m and traits related to chilling tolerance of rice at the reproductive stage in two rice crosses evaluated at three locations (1450-2000 m) in Nepal indicated.

Traits	Correlation (r) to F_v/F_m: R x M-15L^w	I x C^w
Chilling tolerance at GS6 (scale)^x	- 0.06	- 0.12
Plant height at GS9 (cm)^y	- 0.32***^{z}	- 0.25***^{z}
Panicle exsertion (scale)	0.22**^{z}	0.11
Seed yield (g/plant)	- 0.06	0.18*^{z}
Spikelet sterility (%)	0.07	0.18*^{z}
Time to 50% booting (days)	- 0.23**^{z}	0.21**^{z}
Seeds/plant	- 0.08	0.17*^{z}

^{w} : R x M-15L : Raksali x Makwanpur-15L, I x C = IR36 x Chhomrong
^{x} : GS6 : growth stage at flowering
^{y} : GS9 : growth stage near maturity
^{z}*** = $P \leq 0.001$, ** = $P \leq 0.01$ and * = $P \leq 0.05$

Discussion

Previous work has also shown that genetic variation for chilling tolerance, as assessed by F_v/F_m existed in rice (RHO and WILSON, 1985; HUANG *et al.*, 1989; STHAPIT and WILSON, 1992; 1993; STHAPIT *et al.*, 1995). Significant variation in F_v/F_m among segregating lines of F_2 and F_3 progenies suggested that selection for higher F_v/F_m under chilling stress may be possible. However, effective selection of this trait will depend upon its heritability. The value of such a trait must be determined by (a) its correlation with yield under stress and (b) by the ease and speed with which it can be assessed.

A higher entry-mean heritability (h^2 = 0.58 - 0.95) was reported in our previous growth chamber studies under chilling at 10 °C for 3 days where F_v/F_m was measured at a constant temperature of 23 °C in a dark room (STHAPIT, 1994). This suggested that F_v/F_m is a very highly heritable trait if other environmental factors are effectively controlled or minimised while measuring CFA. Heritability estimates for field-measured F_v/F_m were moderate (h^2 = 0.34 - 0.40) in both crosses

(Table II). Poor heritability of field measured F_v/F_m was associated with weather variability (Figure 3). A curvilinear relationship was observed between F_v/F_m, and leaf and water temperatures suggesting that variation in F_v/F_m was associated with temperature (Figure 3). Leaf temperature inside the cuvette explained 74% of the total variation, suggesting that a sudden rise or fall of temperature inside the cuvette, due to intermittent sunshine or cloud cover, changed the F_v/F_m by a greater amount than the physiological effects of the chilling temperature on the plant in the field (STHAPIT, 1994).

It has been shown that reduction of F_v/F_m due to photo inhibition is one of the major natural factors reducing photosynthesis under field conditions (POWLES, 1984) and that photo inhibitory injury was usually of a temporary nature as the F_v/F_m recovered fully after the night period. It is believed that this type of F_v/F_m reduction is not associated with chilling injury (SMILLIE and HETHERINGTON, 1989). Although all measurements were made in the morning to avoid the effects of photo-inhibition, error variances were still large despite removing the effect of replicate variances. Heritability estimates of Raksali x Makwanpur- 1 were therefore higher under controlled environment studies ($h^2 = 0.61$) than under the field conditions ($h^2 = 0.34$).

The main problem associated with CFA measurement in the field was the use of a black cuvette which absorbed the sunlight rapidly and increased leaf temperature inside the cuvette. The average temperature variation during F_v/F_m measurement of genetic studies ranged from 16 to 30 °C (data not shown). Since F_v/F_m yield is very sensitive to temperature at which F_v/F_m measured, it was not surprising that estimates of heritability were moderate. In this situation we used another method of calculating heritability (WARNER, 1952; FEHR, 1987) which estimates heritability on the basis of the F_2 and the backcross of the F_1 to each inbred parent and does not need the estimates of environmental (non-heritable) variances. This method gave high heritability estimates ($h^2 = 0.64$ - 0.87) of F_v/F_m in both crosses under field conditions (STHAPIT, 1994). This suggests that F_v/F_m is a heritable trait and selection would be effective if a more precise method of CFA measurement in field can be developed.

The results showed that the predicted gain of F_v/F_m was higher (14.2%) under controlled condition studies as compared to field tests (1.4 to 2.5%) in the Raksali x Makwanpur - 1 cross. In the IR36 x Chhomrong cross, the predicted gain of 1.6 to 3.5% in the field as a result of selection in the field would still be a useful advance in a recurrent selection

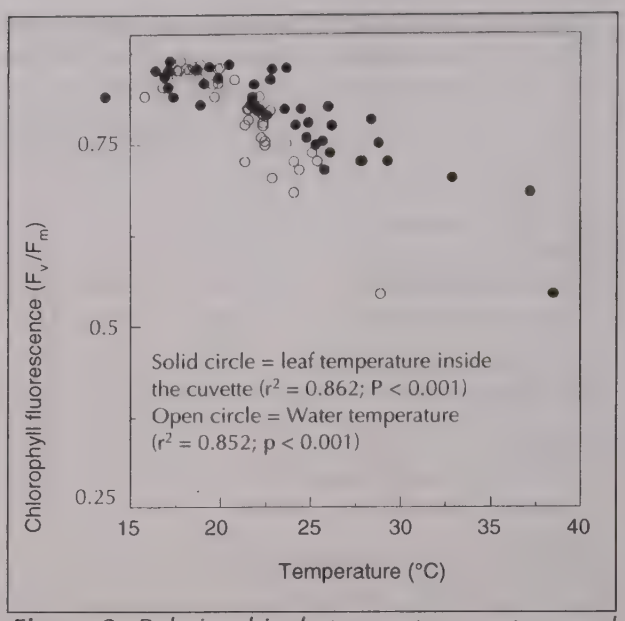


Figure 3. *Relationship between temperature and photo-chemical efficiency of rice leaves at flowering stage under the field conditions at Lumle (1450 m), Nepal.*

programme and is comparable to advances made for yields over cycles of selection (HALLAUER and MIRANDA, 1981).

In the literature, few correlations have been measured, particularly in relation to F_v/F_m and yield under chilling stress. Results from the field, showed a significant correlation between F_v/F_m and yield and its components among the progenies of IR36 x Chhomrong and Chhomrong x Makwanpur-1 (Table IV). Considering that the F_v/F_m measured at the booting stage was a snapshot of the whole developmental process of the rice crop, it shows the potential usefulness of the CFA technique.

MOFFATS (1990) studying genetics of chlorophyll fluorescence under high temperature in wheat, also found significant correlation between grain yield and variable fluorescence under controlled environment conditions but could not establish significant correlation between fluorescence and yield in field data. This problem could have been solved by repeated measurement of F_v/F_m throughout the growth stages to determine the stability of fluorescence kinetics. However, this practice will not have any practical relevance as it would be too cumbersome to use in any breeding programme. Instead of having repetitive CFA measurement at different growth stages in field, studies will be needed to measure F_v/F_m at a constant room temperature in the laboratory using naturally chilled detached leaves to estimate heritability of F_v/F_m.

Although this technique is relatively rapid to assess chilling tolerance as compared to other physiological tools such as photosynthetic measurements, electrolyte leakage and protoplasmic streaming (GRAHAM and PATTERSON, 1982), the value of such a technique must be determined by the ease and speed with which it can be assessed by plant breeders to suit practical breeding programmes. It seems that this technique is still a time-consuming process in terms of total involvement as it took 30 h of continuous measurements to assess 193 progenies of IR36 x Chhomrong cross at Ghandruk. We chose the shortest dark acclimation (20 min) possible and 5- 10 leaves were sampled for each entry. CFA was set at 3 seconds of illumination to measure each sample and to complete each entry about 25-50 seconds was needed. It was often the case that leaves were dark-adapted for 20 minutes and when the measurement was due it had to be cancelled due to bright sunlight which reduced the F_v/F_m rapidly and which is not associated with chilling injury. Failure to recognise these variations will result ineffective selection.

In Nepal, where the rice crop is grown during the monsoon season, CFA measurement in rice fields is difficult not only because of weather but also due to difficulty of walking from plot to plot in rice puddled fields. Furthermore, the dark adapter (cuvette) designed by P.K. Morgan Instruments, USA was not suitable for rice leaves as it is too heavy (9 g) to be supported by the rice leaf without bending the leaf. To overcome this problem in this study each cuvette was connected with a jute string and a group of ten cuvettes were hung on a horizontal wire which was supported by two wooden poles. Solutions for these practical problem are possible, and can require location specific research

Despite some practical difficulties, F_v/F_m under chilling stress has good screening potential as it measures a quantitative trait that correlates with yield and chilling tolerance scores. Since frequency of F_v/F_m skewed toward higher F_v/Fm and is correlated to chilling tolerance and yield, the CFA technique can be a useful tool to improve genetic gain for chilling tolerance (higher F_v/F_m). The predicted gain would be more apparent if parents being different F_v/F_m values under stress were used for hybridisation. A similar result was reported by GREAVES and WILSON, (1992) in maize breeding for chilling tolerance in USA. Further studies will be needed to estimate heritability of F_v/F_m at a constant temperature to assess whether selection of higher Fv/Fm would result in selection of more chilling tolerant cultivars.

Acknowledgement

This research was supported by Lumle Agricultural Research Centre (LARC), Nepal which is funded by the Overseas Development Administration (ODA) of the British Government. The technical assistance of Messrs. Mahendra CHAUDHARY, Pitamber SHRESTHA, Ram RANAS and Hari GHIMIRE of the Lumle Agricultural Research Centre, Nepal is gratefully acknowledged thanks to Ramesh SHRESTHA for word processing.

References

BJORKMAN O., DEMMIG B., 1987. Photon yield of 02 evolution and chlorophyll fluorescence characteristics at 77K among vascular plants of diverse origins. Planta 170: 489-504.

BULTER W.L., 1978. Energy distribution in the photo-chemical apparatus of photosynthesis. Ann. Rev. Plant Physiol. 29: 345-378.

FALCONER D.S., 1989. Introduction to Quantitative Genetics. Third edition, Longman Scientific and Technical, UK.

FEHR W. R., 1987. Principles of Cultivar Development. Vol. I, Theory and Technique. Macmillan Publs. Comp., New York/Collier Macmillan Publs., London, UK.

GRAHAM D., PATTERSON B.D., 1982. Responses of plants to low, non-freezing temperatures: proteins, metabolism, and acclimation. Annu. Rev. Plant Physiol. 84: 872-878.

HALLAUER A.R., MIRANDA J.B., 1981. Quantitative genetics in maize breeding. Second edition, Iowa State University Press, Ames, USA, p. 123.

HUANG L.K., OSMOND C.B., TERASHIMA I., 1989. Chilling injury in mature leaves of rice. II. Varietal differences in the response to interactions between low temperature and light measured by chlorophyll fluorescence at 77K and the quantum yield of photosynthesis. Aust. J. Plant Physiol. 16: 339-52.

IRRI, 1988. Standard evaluation system for rice (SESR), 3rd edition, IRTP, IRRI, Philippines, p. 54.

KANEDA, C., BEACHELL H.M., 1974. Response of indica x japonica rice hybrids to low temperature. SABRAO J. 6(1): 17-32.

KITAJIMA M., BUTLER W.L., 1975. Quenching of chlorophyll fluorescence and primary photochemistry in chloroplasts by dibromothymoquinone. Biochim. Biophys. Acta 376: 105-115.

MOFFATT J.M., SEARS R.G., PAULSEN G.M., 1990. Wheat high temperature tolerance during reproductive growth. II. Genetic analysis of chlorophyll fluorescence. Crop Sci. 30: 886-889.

MOON H.P., 1983. Inheritance of low temperature-induced sterility and its relationship to agronomic characters in rice (*Oryza sativa* L.). Ph.D. thesis, University of California, Davis, USA, p. 173.

MOON H.P., RUTGER J.N., 1988. Combining ability analysis and selection effectiveness for tolerance to cold-induced sterility in rice. Korean. J. Crop Sci. 33: 412-419.

POWLES S.B., 1984. Photoinhibition of photosynthesis induced by visible light. Annu. Rev. Plant Physiol. 35: 15-44.

RAISON J.K., ORR G.R., 1990. Proposal for a better understanding of the molecular basis of chilling injury. p. 145-164. In C.Y. Wang (ed.) Chilling injury of horticultural crops, CRC Inc Press, Boca Raton, USA.

RHO Y.D., WILSON J.M., 1985. Assessment of chilling in eleven Korean rice cultivars by chlorophyll fluorescence analysis. Int. Rice Kes. Inst. Newsl. 10 (3): 14.

SMILLIE R.M., HETHERINGTON S.E., 1990. Screening for stress tolerance by chlorophyll fluorescence. p. 230-261. *In* Y. Hashimoto, P.J. KRAMER, H. NONAMI an B.R. STRAIN (ed.) Measurement techniques in plant sciences. Academic Press, New York, USA.

SNEDECOR G. W., COCHRAN W. G., 1980. Statistical Methods. The Iowa State University Press, Ames, IA, USA, p. 507.

STHAPIT B.R., 1991. Screening for cold tolerance in Nepal. Intl. Rice Res. Newsletter, 16: 12-13.

STHAPIT B.R., WILSON J.M., 1992. Chilling tolerance in Frebruary seeded Chaite rices of Nepal. Ann. Appl. Biol., 121: 189-197.

STHAPIT B.R., WILSON J.M., 1993. Chlorophyll fluorescence analysis (CFA) for assessing cold tolerance at antithesis in Nepalese indigenous rice genotypes. Intl. Rice Res. Newsletter, 18: 32-33.

STHAPIT B.R., 1994. Genetics and physiology of chilling tolerance in Nepalese rice. Ph.D. Thesis, University of Wales, Bangor, UK, p. 265.

STHAPIT B.R., WITCOMBE, J.R., WILSON J.M., 1995. Methods of Selection for Chilling Tolerance in Nepalese Rice by Chlorophyll Fluorescence Analysis. Crop Science, 35: 90-94.

TORIYAMA K., FUTSUSHARA Y., 1960. Genetic studies on cool tolerance in rice. I. Inheritance of cool tolerance (In Japanese with English summary). Japan, J. Breed. 10: 143-152.

WILSON J.M., GREAVES J.A., 1990. Assessment of chilling sensitivity by Chlorophyll Fluorescence Analysis. p. 130-139. *In* C.Y. Wang (ed.) Chilling injury of horticultural crops. CRC Press, USA.

WARNER J.N., 1952. A method for estimating heritability. Agron. J. 44: 427-430.

WRICKE G., WEBER W. E., 1986. Quantitative Genetics and Selection in Plant Breeding. W. de Grupter, Berlin, Germany, p. 485.

Session 2

Acquis de la recherche dans les domaines scientifiques se rapportant à la riziculture d'altitude

Techniques de sélection

POISSON C., RAKOTOARISOA J., (édit.) 1997
Riziculture d'altitude
Actes du séminaire riziculture d'altitude.
29 mars-5 avril 1996, Antananarivo, Madagascar
Colloques, CIRAD-CA, Montpellier, France, 272 p.

De la précocité népalaise pour le riz d'altitude malgache

M. VALES[1], J. RAZAFINDRAKOTO[2]
1. Programme riz d'altitude du FOFIFA-CIRAD, CIRAD-CA, BP 853, Antananarivo, Madagascar
2. FOFIFA-DRR, BP 1690, Antananarivo, Madagascar

Résumé — Un essai variétal irrigué a été conduit à 1 875 m avec des cultivars du Népal et de Chine. Les composantes du rendement des variétés, ainsi que leur tolérance à *Pseudomonas fuscovaginae* sont analysées. Trois variétés du Népal se sont montrées plus précoces que le témoin local Latsidahy. La plus précoce atteint la maturité 37 jours avant Latsidahy. Leur utilisation en croisement et chez les paysans est discutée.
Mots-clés : riz d'altitude, *Oryza sativa*, précocité, Népal, Chine, Madagascar, *Pseudomonas fuscovaginae*.

Introduction

La riziculture d'altitude supérieure à 1 000 m est limitée par le froid, qui provoque une stérilité des épillets. L'intérêt des variétés précoces pluviales et irriguées réside dans le fait qu'elles peuvent esquiver le froid accru en fin de cycle, donc au moment de la floraison. Pour l'irrigué, la précocité peut également faciliter les successions culturales. En effet, en contre-saison, le blé et la pomme de terre sont cultivés.

C'est pourquoi, dès le début du programme riz d'altitude, des géniteurs pour la précocité ont été recherchés, trouvés et utilisés en croisement comme Shin Ei (DECHANET *et al.*, 1990). Depuis, cette recherche n'a cessé et notre attention a été portée particulièrement sur des variétés népalaises cultivées jusqu'à 2 600 m (JAUNET, 1992).

Ce programme a été conduit par le FOFIFA et le CIRAD. Il a pu être réalisé grâce, en particulier, à l'appui financier de la CEE.

Matériel et méthodes

En saison 1994-1995, un certain nombre de nouvelles variétés introduites ont été testées à Vinaninony à 1 875 m (tableaux I à X). Elles sont chinoises ou népalaises. Latsidahy est le témoin local.

L'essai était en blocs aléatoires complets. Il y avait 21 modalités et 4 répétitions. La parcelle élémentaire était constituée de 4 lignes de 1,8 m. Elle a été repiquée à 20 x 20 cm à 1 brin par touffe. La fumure est de 30-60-60 unités de N-P-K.

En contre-saison 1995, les trois variétés népalaises les plus précoces ont été multipliées sur la station FOFIFA d'Ivoloina proche de Tamatave, près du niveau de la mer. Il n'y avait pas de dispositif expérimental statistique. Le logiciel utilisé pour les analyses statistiques est Stat-Itcf.

Résultats et discussion

Analyse des resultats

Les tableaux I à III montrent que trois variétés sont significativement plus précoces que le témoin Latsidahy, à la fois pour les cycles levée-début d'épiaison (tableau I), levée-50 % de floraison (tableau II) et levée-maturité (tableau III). Il s'agit des variétés népalaises Jumli Marshi, Chhomrong Dhan et Raksali. Elles ont atteint la maturité,

respectivement, 37 jours, 25 jours et 16 jours avant Latsidahy.

Près du niveau de la mer, à Ivoloina, Jumli Marshi, Chhomrong Dhan et Raksali conservent leur précocité. Elles étaient à maturité, respectivement, 32 jours, 21 jours et 12 jours avant Latsidahy. Le cycle de cette dernière était de 146 jours. Cependant, ces variétés népalaises ne sont pas adaptées à cette altitude. Aussi se sont-elles montrées très chétives, en particulier Jumli Marshi (VALES et RAZAFINDRAKOTO, 1995, 1996a).

Le tableau IV nous informe sur la production des variétés. La variété la plus productive est Latsidahy. Mais Chhomrong Dhan est placée en second. Elle a fourni 79 % de la production du témoin. Quant aux deux autres variétés les plus précoces, Jumli Marshi a produit 40 %, et Raksali a seulement donné 8 %, toujours en comparaison avec Latsidahy.

Qu'est-ce qui explique cette supériorité de production du témoin Latsidahy ?

Le tableau V indique le tallage utile des variétés. Une seule variété, Hao Tu Ji, a eu un tallage significativement supérieur à Latsidahy ; il était le double. Chhomrong Dhan est la seule variété a avoir un tallage utile non significativement différent de Hao Tu Ji. Bien que la différence ne soit pas statistiquement significative vis-à-vis de Latsidahy, il semble que le tallage utile de Chhomrong Dhan a été 1,6 fois celui du témoin. Ce bon tallage est une autre qualité notable de Chhomrong Dhan, mais qui n'explique bien sûr pas sa moindre production.

Ensuite, bien que les différences ne soient pas significatives, il semble qu'à part Seto Bakunde et Khumal 3, les autres variétés ont eu une tendance à moins taller que Latsidahy. Cela est en particulier vrai pour Jumli Marshi et Raksali qui ont eu un tallage utile significativement inférieur à celui de Chhomrong Dhan. Il était, respectivement, de 70 % et de 52 % de celui de Latsidahy. Cela est encore insuffisant pour expliquer leur moindre production.

Le tableau VI fournit le poids paniculaire des différentes variétés. Les différences sont cette fois-ci statistiquement significatives. La meilleure production de Latsidahy peut être expliquée par son poids paniculaire supérieur à celui de toutes les autres variétés. Chhomrong Dhan — avec un poids paniculaire qui est 65 % de celui de Latsidahy — se place en second. Cela explique assez bien sa deuxième position pour la production et la différence avec Latsidahy.

Cette composante du rendement semble assez bien expliquer les différences de production. Cela en particulier pour Jumli Marshi et Raksali qui ont eu un poids paniculaire qui était, respectivement de 41 % et 8 % de celui de Latsidahy.

Tableau I. Cycle semis-début épiaison (en jours).

Hao Tu	187,25	A
Da Quian dao	182,50	B
Hei Guang Zi	178,50	C
Chandruk local	173,00	D
Chang Han Gu	169,75	DE
Palung 2	169,00	DE
Himali	169,00	DE
Khumal 9	167,25	E
Chang Nian	167,00	E
Hao Tu Ji	165,25	E F
Khumal 5	164,75	E F
Taichung 176	162,00	F G
Khumal 4	161,25	F G
Pokhareli Masino	161,25	F G
Latsidahy	**159,50**	**G H**
Ma Que Chang Nuo	157,25	G H
Seto Bakunde	155,75	H
Raksali	**146,75**	**I**
Chhomrong Dhan	**140,50**	**J**
Khumal 3	134,25	K
Jumli Marshi	**127,00**	**L**
Moyenne	161,85	
ETM	1,285	
CV (%)	1,6	

Dispositif en blocs aléatoires complets à 4 répétitions. Les moyennes suivies d'une même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5 % par le test de Newman et Keuls.

Tableau II. Cycle semis-50 % de plantes à floraison (en jours).

Hao Tu	199,75	A
Da Quian dao	189,75	B
Hei Guang Zi	188,00	B
Chandruk local	180,00	C
Chang Han Gu	178,50	C D
Himali	178,25	C D
Chang Nian	177,75	C DE
Hao Tu Ji	176,50	C DE
Palung 2	176,00	C DE
Khumal 9	173,00	DE F
Khumal 5	172,00	E F G
Khumal 4	169,50	F G H
Taichung 176	169,00	F G H
Pokhareli Masino	168,75	F G H
Latsidahy	**166,50**	**G H I**
Ma Que Chang Nuo	164,75	H I
Seto Bakunde	162,25	I
Raksali	**153,00**	**J**
Chhomrong Dhan	**147,75**	**K**
Khumal 3	144,75	K
Jumli Marshi	**136,00**	**L**
Moyenne	170,08	
ETM	1,475	
CV (%)	1,7	

Pourquoi ces différences de poids paniculaire ? Peut-être sont-elles dues à l'incidence de la pourriture des gaines dont l'agent causal est *Pseudomonas fuscovaginae*.

Tableau III. Cycle semis-maturité (en jours).

Hao Tu	243,00	A
Da Quian Dao	237,00	A
Hei Guang Zi	236,25	A
Chandruk local	227,00	B
Chang Han Gu	226,25	B
Chang Nian	225,75	B
Himali	225,75	B
Hao Tu Ji	225,00	B
Palung 2	224,50	B
Khumal 5	222,50	B
Khumal 9	222,00	B
Taichung 176	220,00	BC
Khumal 4	219,50	BC
Pokhareli Masino	219,00	BC
Ma Que Chang Nuo	216,75	BC
Latsidahy	**215,75**	**BC**
Seto Bakunde	210,75	CD
Khumal 3	207,25	D
Raksali	**199,50**	**E**
Chhomrong Dhan	**190,50**	**F**
Jumli Marshi	**178,75**	**G**
Moyenne	218,70	
ETM	2,415	
CV (%)	3,1	

Tableau IV. Poids de grains vannés (g/1,44 m²).

Latsidahy	**617,00**	**A**
Chhomrong Dhan	**481,00**	**B**
Chandruk local	378,00	C
Taichung 176	370,50	C
Palung 2	361,00	C
Seto Bakunde	327,00	C
Jumli Marshi	**244,00**	**D**
Khumal 9	204,00	DE
Da Quian Dao	201,50	DE
Khumal 5	187,00	DE
Chang Nian	140,00	E
Chang Han Gu	122,00	F
Hei Guang Zi	108,50	FG
Ma Que Chang Nuo	85,50F	G H I
Khumal 3	73,00	FG H I
Pokhareli Masino	53,50	G H I J
Raksali	**49,50**	**G H I J**
Khumal 4	44,00	G H I J
Hao Tu	30,50	H I J
Hao Tu Ji	24,50	I J
Himali	4,00	J
Moyenne	161,85	
ETM	18,31	
CV (%)	18,7	

Tableau V. Tallage utile par plante (calculé sur les données de la ligne centrale de la parcelle : nombre de panicules/nombre de plantes).

Hao Tu Ji	10,25	A
Chhomrong Dhan	**8,08**	**A B**
Seto Bakunde	6,20	BC
Khumal 3	6,13	BC
Latsidahy	**5,09**	**BC**
Palung 2	4,87	BC
Taichung 176	4,69	BC
Chandruk local	4,46	BC
Khumal 5	4,39	BC
Khumal 9	4,20	BC
Jumli Marshi	**3,60**	**BC**
Khumal 4	3,29	C
Pokhareli Masino	2,80	C
Hei Guang Zi	2,78	C
Hao Tu	2,68	C
Raksali	**2,65**	**C**
Chang Nian	2,35	C
Himali	2,31	C
Da Quian Dao	2,27	C
Chang Han Gu	2,18	C
Ma Que Chang Nuo	2,04	C
Moyenne	4,16	
ETM	1,005	
CV (%)	48,3	

Tableau VI. Poids paniculaire après vannage (g) (calculé sur les données de la ligne centrale de la parcelle : poids des grains vannés/nombre de panicules).

Latsidahy	**2,21**	**A**
Chhomrong Dhan	1,44	B
Da Quian Dao	1,35	BC
Chandruk local	1,15	C D
Taichung 176	1,10	C DE
Palung 2	1,04	DEF
Seto Bakunde	0,93	DEF G
Jumli Marshi	**0,91**	**DEF G**
Chang Nian	0,83	DEF G
Hei Guang Zi	0,78	EF G H
Chang Han Gu	0,70	F G HI
Khumal 9	0,65	G HI J
Khumal 5	0,60	G HI J
Hao Tu Ji	0,47	HI J K
Ma Que Chang Nuo	0,41	I J K
Hao Tu	0,36	K L
Pokhareli Masino	0,27	K L
Raksali	**0,18**	**K L**
Khumal 4	0,18	K L
Khumal 3	0,16	K L
Himali	0,05	L
Moyenne	0,75	
ETM	0,080	
CV (%)	21,5	

Les tableaux VII et VIII présentent les notes de lésion moyenne et maximale due à *P. fuscovaginae*. Aucune variété n'a été significativement plus atteinte que Latsidahy. En revanche, 4 variétés ont eu une lésoin moyenne inférieure au témoin. Ces 4 variétés étaient les plus productives après Latsidahy. Parmi elles, Chhomrong Dhan. Une seule a eu une lésion maximale inférieure à Latsidahy et il s'agit de Chhomrong Dhan. Dans les deux cas, la différence est très importante. C'est donc encore une qualité notable de cette variété.

Hormis ces 4 variétés, il n'y a pas eu de différence significative par rapport à Latsidahy, en particulier pour les deux autres variétés très précoces. Cependant, Raskali et Jumli Marshi ont eu tendance à avoir des lésions respectivement plus grandes et plus petites que le témoin. Le lien entre les attaques des gaines et celles des grains n'est pas absolu, comme le montre la comparaison des tableaux précédents et du tableau IX. Cinq variétés ont eu les grains significativement plus tachés que Latsidahy (tableau IX). Parmi elles, Hao Tu Ji. Il n'y a pas de différence significative entre les trois népalaises les plus précoces et Latsidahy. Cependant, Raksali semble avoir eu plus de grains tachés. Chhomrong Dhan et Jumli Marshi étaient les moins touchées des variétés testées.

Le tableau X fournit les taux de stérilité des épillets. Quatorze des vingt variétés se sont montrées significativement plus stériles que Latsidahy. Cette stérilité est attribuable aux actions de *P. fuscovaginae* et du froid. Ainsi, Hao Tu Ji a eu un taux de stérilité des épillets supérieur à Latsidahy. Cela est à lier à sa note de grains tachés élevée (tableau IX) et explique sa faible production (tableau IV) malgré un très bon tallage utile (tableau V). Pour les trois népalaises les plus précoces et Latsidahy, le classement pour les grains tâchés se retrouve pour la stérilité des épillets. Chhomrong Dhan et Jumli Marshi étaient les plus fertiles. La différence significative entre Raksali et Latsidahy peut expliquer la légèreté des panicules de la première, et par là, sa plus faible production.

Utilisation des variétés les plus précoces

L'amélioration variétale du riz d'altitude est à la recherche de sources de précocité. Aussi nous allons envisager qu'elle peut être l'utilisation des trois variétés népalaises les plus précoces.

Le tableau XI fournit quelques caractéristiques complémentaires des trois variétés les plus

Tableau VII. Lésion moyenne dûe à *P. fuscovaginae* 120 j après levée (note de 1 à 9 par pas de 2 ; 1 : rien à 9 : extrêmement grande).

Hao Tu Ji	8,00	A
Himali	7,00	A B
Raksali	**7,00**	**A B**
Latsidahy	**6,00**	**A B C**
Seto Bakunde	6,00	A B C
Khumal 3	6,00	A B C
Hao Tu	6,00	A B C
Ma Que Chang Nuo	5,50	B C D
Khumal 3	5,00	B C D
Khumal 6	5,00	B C D
Khumal 9	4,50	B C D
Pokhareli Masino	4,50	B C D
Hei Guang Zi	4,50	B C D
Jumli Marshi	**4,50**	**B C D**
Chang Nian	4,00	C D
Da Quian Dao	4,00	C D
Chang Han Gu	3,50	C D
Chhomrong Dhan	**3,00**	**D**
Taichung 176	3,00	D
Chandruk local	3,00	D
Palung 2	3,00	D
Moyenne	4,90	
ETM	0,550	
CV (%)	22,4	

Dispositifs en blocs aléatoires complets à 4 répétitions. Les moyennes suivies d'une même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5 % par le test de Newman et Keuls.

Tableau VIII. Lésion maximale dûe à *P. fuscovaginae* 120 j après levée. (Note de 1 à 9 par pas de 2 ; 1 : rien à 9 : extrêmement grande).

Chang Han Gu	9,00	A
Hao Tu Ji	9,00	A
Khumal 3	9,00	A
Himali	9,00	A
Khumal 6	8,50	A
Seto Bakunde	8,50	A
Raksali	**8,50**	**A**
Da Quian Dao	8,00	A B
Ma Que Chang Nuo	8,00	A B
Pokhareli Masino	8,00	A B
Chang Nian	7,50	A B
Taichung 176	7,50	A B
Khumal 3	7,50	A B
Latsidahy	**7,00**	**A B**
Hao Tu	7,00	A B
Palung 2	7,00	A B
Chandruk local	7,00	A B
Khumal 9	7,00	A B
Hei Guang Zi	6,00	A B
Jumli Marshi	**5,50**	**B**
Chhomrong Dhan	**3,00**	**C**
Moyenne	7,50	
ETM	0,590	
CV (%)	15,7	

précoces. Les poids de 1 000 grains sont assez voisins. Aussi le moindre poids paniculaire de Chhomrong Dhan et de Jumli Marshi ne peut plus être expliqué que par un nombre de grains par panicule inférieur.

Ce tableau XI fait apparaître un des intérêts majeurs de Raksali qui est le format attrayant de son grain. Celui-ci est exceptionnel pour une variété adaptée à cette altitude.

L'exertion paniculaire de Chhomrong Dhan et de Jumli Marshi est excellente. C'est une caractéristique importante face à la pression de *P. fuscovaginae* qui s'exerce principalement quand la panicule est engainée (JAUNET, 1995). Celle de Raksali est à la limite de l'acceptable.

Chhomrong Dhan et Jumli Marshi sont un peu plus résistantes à l'égrenage que Latsidahy. Cela confère un avantage face au risque de grêle en fin de cycle. Raskali égraine plus facilement et a des cous plus gros que les autres variétés. La grosseur des cous, qui est un caractère récessif (VALES, 1992), peut être intéressant ailleurs face à la pyriculariose du cou lorsqu'elle est tardive. Ce même tableau indique que le port de ces variétés est correct. Enfin, il nous fournit leur hauteur.

La vulgarisation de Chhomrong Dhan et de Jumli marshi est envisagée. Pour Chhomrong Dhan, la perte de production par rapport à Latidahy pourrait être compensée par l'intérêt des paysans pour sa précocité. D'autant que cette différence de production pourrait être plus faible, voire inverse, avec une mise en place des riz tardive, à cause d'un retard des précipitations ou des travaux de contre-saison. Pour Jumli Marshi, la perte de production par rapport à Latsidahy pourrait être limitée par un repiquage avec un nombre plus élevé de brins par touffe puisque son tallage utile est plus faible. Cela fait l'objet d'une étude en cours. En cas de réussite, la grande précocité de cette variété devrait faire son succès auprès des paysans.

Des études ont été faites sur l'hérédité de caractères du riz par CHATEL et DECHANET (1980) et par CLEMENT (1987) entre autres. Leurs résultats, obtenus avec d'autres variétés, peuvent être utilisés ici avec prudence.

La précocité serait liée à l'accumulation d'allèles dominants. Mais comme l'additivité ne semble pas être un phénomène majeur, le choix des parents n'est pas primordial. Cependant, l'utilisation de parents précoces ne peut qu'augmenter les chances d'obtenir des variétés à cycle court. C'est pourquoi Jumli Marshi et Chhomrong Dhan seront utilisés en croisements. Comme il est possible de sélectionner précocement pour ce caractère dominant, les

Tableau IX. Notation des grains tachés (note 1- 9 par pas de 1 ; 1 : aucun grain taché, 9 : tous tachés).

Palung 2	8,00	A
Taichung 176	8,00	A
Chandruk local	7,75	A
Ma Que Chang Nuo	7,50	A B
Hao Tu Ji	7,50	A B
Raksali	**7,00**	**A B C**
Hei Guang Zi	7,00	A B C
Himali	6,75	A B C
Khumal 6	6,75	A B C
Seto Bakunde	6,50	A B C
Khumal 9	6,50	A B C
Chang Nian	6,25	A B C
Da Quian Dao	6,25	A B C
Khumal 3	6,25	A B C
Chang Han Gu	6,00	A B C
Khumal 3	5,50	B C
Pokhareli Masino	5,50	B C
Latsidahy	**5,00**	**C D**
Hao Tu	5,00	C D
Chhomrong Dhan	**3,50**	**D**
Jumli Marshi	**3,50**	**D**
Moyenne	6,29	
ETM	0,425	
CV (%)	13,6	

Tableau X. Notation de la stérilité des épillets (note de 1 à 9 par pas de 1 ; 1 : tous fertiles à 9 : tous stériles).

Khumal 4	8,00	A
Raksali	**7,75**	**A B**
Hao Tu	7,75	A B
Khumal 3	7,50	A B C
Himali	7,50	A B C
Hao Tu Ji	7,00	A B C D
Pokhrelimasino	7,00	A B C D
Chang Han Gu	6,50	A B C D E
Khumal 6	6,50	A B C D E
Ma Que Chang Nuo	6,50	A B C D E
Chang Nian	6,00	B C D E F
Khumal 9	6,00	B C D E F
Hei Guang Zi	5,75	C D E F
Da Quian Dao	5,25	D E F G
Taichung 176	4,75	E F GH
Seto Bakunde	4,50	F GH
Palung 2	4,50	F GH
Chandruk local	4,00	GH
Latsidahy	**3,25**	**H I**
Chhomrong Dhan	**2,50**	**I**
Jumli Marshi	**2,25**	**I**
Moyenne	5,75	
ETM	0,400	
CV (%)	14,0	

Dispositifs en blocs aléatoires complets à 4 répétitions. Les moyennes suivies d'une même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5 % par le test de Newman et Keuls.

rétrocroisements seront possibles pour l'introduire dans d'autres variétés, en particulier, pluviales.

Le tallage utile serait favorisé par l'accumulation d'allèles dominants. L'additivité semblerait un phénomène majeur, aussi le choix des parents est déterminant. Aussi Chhomrong Dhan sera largement utilisée comme parent et devrait permettre d'améliorer ce caractère, et par là la production, en irrigué. En pluvial, un fort tallage n'est pas nécessairement recherché à cause des risques de déficits hydriques. Cependant, ce géniteur pourrait permettre d'améliorer les lignées pluviales à tallage trop faible. Ce caractère dominant pouvant être sélectionné précocément, son amélioration par rétrocroisements est possible.

Une bonne exertion paniculaire serait liée à l'accumulation d'allèles récessifs. L'additivité semblerait un phénomène majeur, aussi le choix des parents est-il déterminant. Aussi Jumli Marshi et Chhomrong Dhan seront utilisées comme parents pour limiter les conséquences de la pourriture des gaines due à *P. fuscovaginae* en irrigué et à *Sarocladium oryzae* en pluvial. Ce caractère récessif ne pouvant pas être sélectionné précocement, son amélioration par rétrocroisements n'est pas possible.

Un faible égrenage serait favorisé par l'accumulation d'allèles dominants. L'additivité semblerait un phénomène majeur, aussi le choix des parents est-il déterminant. Aussi Jumli Marshi et Chhomrong Dhan seront utilisées comme parents pour limiter les conséquences de la grêle en fin de cycle. Ce caractère dominant pouvant être sélectionné précocement, son amélioration par rétrocroisements est possible, le cas échéant.

Un grain long serait favorisé par l'accumulation d'allèles dominants. L'additivité semblerait très forte, aussi le choix des parents serait capital. Aussi, malgré ces autres défauts, Raksali sera utilisée comme parent, principalement pour l'irrigué. Les résultats seront meilleurs si les variétés proches génétiquement du type japonica *sensus stricto,* ne sont pas utilisées comme deuxièmes parents. Ce caractère dominant pouvant être sélectionné précocement, son amélioration par rétrocroisements est possible.

Un nombre important de grains par panicule serait favorisé par l'accumulation d'allèles dominants. Cependant, l'héritabilité n'étant pas élevée, le choix des parents avant l'hybridation ne s'impose pas. C'est donc la réalisation d'un maximum de croisements avec un tri sévère dans la descendance qui permettront d'améliorer ce caractère qui semble un peu déficient chez ces variétés népalaises.

Chhomrong Dhan apparaît également comme un bon géniteur pour la tolérance à la pourriture des gaines. Cependant, celle-ci est probablement liée, en partie, à sa très bonne exertion paniculaire.

Chhomrong Dhan et Jumli Marshi pourraient constituer une bonne source pour la fertilité des

Tableau XI. Quelques caractéristiques variétales.

Variété	NFG	LgG	L/l	E1 000	T1 000
Latsidahy	5	7,9	2,7	27,0	31,0
Jumli Marshi	3	7,1	2,2	24,2	28,0
Chhomrong Dhan 3	7,4	2,3	29,6	33,0	
Raksali	7	8,9	3,6	24,4	26,0
Variété	Egr	ExP	Cou	Port	Haut
Latsidahy	5	3	2,7	3	65
Jumli Marshi	3	1	2,2	3	96
Chhomrong Dhan 3	1	2,3	3	80	
Raksali	7	7	3,6	3	80

NFG : note du format du grain (1 à 9 par pas de 2 ; 1 : rond, 9 : long et fin)
LgG : longueur du grain vêtu (mm)
L/1 : rapport longueur/largeur du grain vêtu
E1 000 : poids d'un échantillon de 1 000 grains (g)
T1 000 : poids de 1 000 grains triés, bien remplis (g)
Egr : égrenage (1 à 9 par pas de 2 ; 1 : trop résistant, 9 : très égrenant)
ExP : exertion paniculaire (1 à 9 par pas de 2 ; 1 : exceptionnelle, 9 : panicule engainée)
Cou : grosseur des cous (1 à 9 par pas de 2 ; 1 : fin, 9 : très gros)
Port : port des plantes (1 à 9 par pas de 2 ; 1 : très érigé, 9 : très ouvert)
Haut : hauteur des plantes à maturité (cm)

épillets. Cependant, celle-ci est peut-être due partiellement à leur grande précocité. Une étude est en cours pour vérifier ce point.

Il apparaît que Chhomrong Dhan et Raksali sont assez complémentaires pour nombre de caractères. La production, le tallage utile, l'exsertion paniculaire, l'égrenage, la fertilité et la tolérance à *P. fuscovaginae* sont favorables chez la première. La seconde est dotée d'un grain de bon format et de cous assez gros. Elles seront donc croisées.

Conclusion

L'ètude de cette vingtaine d'introductions fait apparaître une nouvelle fois l'excellente adaptation du matériel malgache, en l'occurrence Lâtsidahy. Celle-ci reste la plus productive. Cependant, l'extrême précocité de certaines variétés népalaises les désigne comme géniteurs pour ce caractère. Elles sont par ailleurs intéressantes pour d'autres caractères comme le tallage utile, l'exertion paniculaire, la résistance à l'égrenage, la tolérance à *P. fuscovaginae,* avec Jumli Marshi et Chhomrong Dhan, et même le format du grain avec Raksali.

L'introduction de Jumli Marshi, de Chhomrong Dhan et de Raksali dans le programme de sélection (VALES et RAZAFINDRAKOTO, 1995, 1996a ; VALES *et al.,* 1996) ainsi que dans les populations récurrentes (VALES et RAZAFINDRAKOTO, 1996b) en pluvial et en irrigué a été commencée. Par ailleurs, l'utilisation par les paysans de Chhomrong Dhan et de Jumli Marshi fait l'objet d'essais.

Remerciements

Les auteurs remercient M. Victor RAKOTOZAFY (PRA FOFIFA-CIRAD) pour sa collaboration technique.

Références bibliographiques

AGRAWAL P.K., NANDAR J.S. 1969. A note on dormancy in rice. Il Riso Rassagna Trimestriales di Studi. XVIII (4) : 325-326.

CHATEL M., DECHANET R., 1980. Analyse diallèle de quelques caractères quantitatifs chez le riz. L'Agronomie Tropicale XXXV (4) : 402-414.

CLEMENT G., 1987. L'amélioration du riz pluvial par hybridation, analyse diallèle de huit caractères quantitatifs dans l'ensemble *japonica* au sens large ; application à la sélection. Thèse, Institut national polytechnique de Toulouse, 173 p.

DECHANET R., RAVATOMANGA J., RAKOTONIRAINY R., 1990. L'amélioration variétale du riz d'altitude à Madagascar. *In* comptes rendus du séminaire sur les contraintes liées à la riziculture d'altitude et l'amélioration variétale. Bujumbura, Burundi, 18-23 avril 1990. Louvain-la-Neuve, Belgique, Université catholique de Louvain, J. BOUHARMONT et J.-P. TILQUIN (éditeurs), 45-53.

JAUNET T., 1992. Rapport de mission au Népal du 17 au 28 septembre 1992. Contraintes liées à la riziculture d'altitude au Népal. CIRAD-CA, 13 p.

JAUNET T., 1995. Caractérisation, pathogénie et épidémiologie de *Pseudomonas fuscovaginae,* agent de la pourriture brune des gaines de riz *(Oryza sativa).* Thèse, université Paris XI, Orsay, 104 p.

VALES M., 1992. Etudes des relations *Oryza sativa-Magnaporthe grisea* et stratégies de sélection de variétés pourvues d'une résistance durable. Rapport final pour la Côte d'Ivoire du projet CEE STD II TS2A-0156 F(CD). IDESSA, 86 p.

VALES M., RAZAFINDRAKOTO J., 1995. Rapport d'activité de l'amélioration variétale du programme riz d'altitude du FOFIFA-CIRAD à Madagascar, campagne 1994-1995. FOFIFA-CIRAD, 72 p.

VALES M., RAZAFINDRAKOTO J., 1996a. Rapport analytique de l'amélioration variétale du programme riz d'altitude du FOFIFA-CIRAD à Madagascar. Contre-saison 1995. FOFIFA-CIRAD, 50 p.

VALES M., RAZAFINDRAKOTO J., 1996b. La sélection récurrente pour le riz d'altitude malgache. Atelier international Point sur la recherche et le développement de la riziculture d'altitude, 30 mars-5 avril 1996. FOFIFA-CIRAD. Antananarivo, Antsirabe, Madagascar, 7 p.

VALES M., RAZAFINDRAKOTO J., SEGUY L., 1996. Croisements pour la qualité du grain et la précocité du riz d'altitude malgache. Atelier international Point sur la recherche et le développement de la riziculture d'altitude, 30 mars-5 avril 1996. FOFIFA-CIRAD. Antananarivo, Antsirabe, Madagascar, 8 p.

POISSON C., RAKOTOARISOA J., (édit.), 1997.
Riziculture d'altitude
Actes du séminaire riziculture d'altitude,
29 mars-5 avril 1996, Antananarivo, Madagascar.
Colloques, CIRAD-CA, Montpellier, France, 272 p.

Croisements pour la qualité du grain et la précocité du riz d'altitude malgache

M. VALES[1], J. RAZAFINDRAKOTO[2], L. SEGUY[3]
1. CIRAD-CA, BP 853, Antananarivo, Madagascar
2. FOFIFA-DRR, BP 1690, Antananarivo, Madagascar
3. CIRAD, a/c Dr. Tasso de Castro, BP 504 Agencia Central CEP 74000 Goiânia, Goiás, Brésil

Résumé — A partir des descendances des premiers croisements introductifs du caractère grain long, des rétrocroisements ont été effectués sur les variétés récurrentes irriguées et pluviales. D'autres croisements introductifs de ce caractère ont été effectués à partir de nouveaux géniteurs. Des croisements ont été également réalisés pour tirer parti de l'extrême précocité de variétés népalaises. Ces croisements seront principalement suivis par des rétrocroisements. Des croisements, notamment à plus de deux voies, visent à associer l'aptitude culturale, la longueur du grain, la précocité et la tolérance au froid, à la pourriture des gaines et à la pyriculariose.
Mots-clés : riz d'altitude, *Oryza sativa*, croisement, rétrocroisement, format du grain, précocité, Madagascar.

Introduction

La sélection généalogique appliquée sur les sorties de populations F2 ou récurrentes permet d'innover en matière variétale, si la base génétique n'est pas trop étroite et les objectifs à portée. Par opposition, la méthode complémentaire des rétrocroisements vise à ne modifier les variétés vulgarisées que pour un caractère. L'objectif est en l'occurrence d'augmenter le format du grain ou la précocité des variétés vulgarisées ou proposées aux paysans. Cela est possible car il s'agit de caractères probablement associés à des allèles dominants (CHATEL et DECHANET, 1980 ; CLEMENT, 1987). Un bon format du grain permet un meilleur prix de vente du paddy dans les grands centres urbains et à l'exportation. La précocité permet d'esquiver le froid accru en fin de cycle et de faciliter les successions avec les cultures de contre-saison, blé et pomme de terre, principalement en irrigué. Les variétés ainsi obtenues sont destinées à la riziculture pluviale, irriguée, et même inondée, d'altitude faiblement et moyennement intensifiée de 1 500 à 2 000 m. Ce programme — conduit par le FOFIFA et le CIRAD — a pu être réalisé grâce, en particulier, à une contribution financière de la CEE.

Matériel et méthodes

Matériel végétal

Hybrides F1 (tableau II) obtenus en saison 1994-1995.

L'examen de ces hybrides F1 déjà obtenus (VALES et RAZAFINDRAKOTO, 1995) fait apparaître les objectifs des croisements, comme le montrent les exemples suivants.

A partir de géniteurs à grain très long, *indica* ou Basmati, les objectifs sont les suivants :
– améliorer le format du grain des variétés irriguées traditionnelles Latsika, Latisibavy/Alicombo, Latsidahy/Alicombo, Latisidahy/Basmati Bre ;
– améliorer le format du grain des variétés pluviales vulgarisées, FOFIFA 62/Alicombo, FOFIFA 116/Alicombo, FOFIFA 116/Apani ou nouvellement créées FOFIFA 151/Alicombo, FOFIFA 151/Apani.

A partir de géniteurs pluviaux à grain long observés dans la collection de comportement, les objectifs sont :
– améliorer le format du grain des variétés irriguées traditionnelles, Latsidahy/CA 148 ;

– améliorer le format du grain des variétés pluviales vulgarisées CA 148/FOFIFA 133.

Quelques croisements ont été également effectués pour obtenir des géniteurs précoces et/ou à grain long pour le riz pluvial IRAT 265 57-2 /Apani, et pour le riz irrigué CA 148/SHIN EI, SHIN EI/Basmati Bre.

L'observation, à Vinaninony, de variétés irriguées beaucoup plus précoces que Latsidahy (VALES et RAZAFINDRAKOTO, 1996), a conduit à les croiser immédiatement avec des variétés irriguées (Latsidahy/Chhomrong Dhan) et avec des variétés pluviales (FOFIFA 62/Chhomrong Dhan, IRAT 265 57-2/Jumli Marshi).

Il a été tenté de reprendre toutes ces descendances en rétrocroisement.

Variétés récurrentes à améliorer

Les variétés récurrentes à améliorer sont :
– en culture irriguée, Latsidahy, Latsibavy, Latsibavy Mangasomotra ;
– en culture pluviale, Cité Planton, FOFIFA 60 (IRAT 283), FOFIFA 64 (IRAT 352), FOFIFA 116 (IRAT 234), FOFIFA 62 (IRAT 351), FOFIFA 113, FOFIFA 151 (CIRAD 391).

Les variétés améliorantes

Il peut s'agir de géniteurs à grain long (VALES *et al.*,1995) qui peuvent être :
– des intermédiaires entre des cultivars irrigués et pluviaux (Alicombo/IRAT 263)-27, (Chokoto/IRAT 263)-48, (Chokoto/IRAT 361)49 ;
– des cultivars pluviaux (IRAT 263/IRAT 361)-60, (IRAT 361/IRAT 263)-72.

Des géniteurs à grains extrêmement longs provenant d'autres multiplications ont été également utilisés en croisements. Il s'agit de lignées réalisées au Brésil, les Luluwini.

Un géniteur pluvial extrêmement productif CIRAD 398 (synonymes : Parecis, Progresso) fait partie des variétés améliorantes : IRAT 216 /IRAT 124 / RHS 107-2-1-2TB-15M.

S'ajoutent également des géniteurs népalais extrêmement précoces (VALES et RAZAFINDRAKOTO, 1996) : Jumli Marshi, Chhomrong Dhan et Raksali.

Méthodes

La levée de dormance éventuelle a été effectuée par mise à l'étuve à 50 °C pendant 5 j (AGRAWAL et NANDA, 1969). Les plantes ont été cultivées à Ivoloina, près de Tamatave, au niveau de la mer. Les conditions de conduite des essais à Ivoloina ont été celles généralement suivies. Des traitements préventifs ont été réalisés contre la pyriculariose avec du Beam® (tricyclazole) et contre les insectes avec du Décis® (deltaméthrine). Les hybrides F1 ont été semés en bacs de culture le 20 juin. Puis ils ont été repiqués jusqu'au 17 juillet, selon une méthode proche du SRI (DE LAULANIE, 1993 ; RAZAKAMIARAMANANA, 1996) :
– le repiquage a été fait à 1 brin par touffe, à l'intervalle de 40 x 40 cm ;
– les plantes ont été repiquées le plus tôt possible.

Mais notamment pour les hybrides dont nous avions peu de semences, aucun risque n'a été pris. Toutes les plantes hybrides ont été repiquées sur des lignes de 3,2 m dans la partie la plus sûre du périmètre irrigué, au milieu (ravageurs, maraude).

Les géniteurs ont été repiqués :
– à 4 brins par touffe, à l'intervalle de 20 x 20 cm ;
– à 6 dates, à intervalle de 10 jours ;
– sur 2 lignes de 3,2 m par date.

Des géniteurs à grain très long et productifs — dont les semences étaient disponibles en petites quantités — ont été conduits comme les F1. Aussi ils n'ont pas fait l'objet de l'ensemble des observations. La méthode utilisée pour les croisements est inspirée de celle de James Taillebois (TAILLEBOIS et CASTRO, 1986). Les croisements ont été effectués à Antsirabe avec des panicules coupées à Ivoloina. Les deux localités sont séparées par 10 h de route et 1 500 m d'altitude. Plusieurs panicules servant de mâle sont placées dans le sachet au-dessus de la panicule castrée. C'est pourquoi, si la variété mâle n'est pas parfaitement homogène, il peut y avoir une ségrégation dès les panicules-lignes F1.

Résultats et discussion

Observations sur les géniteurs et sur les hybrides F1

Les observations sur les géniteurs sont données dans le tableau I. Les caractères morphologiques de ces variétés sont déjà connus. Jumli Marshi a un cycle inférieur d'un mois à celui de Latsidahy à Vinaninony, à 1 875 m. Il est notable que cette différence de cycle se maintienne à quelques mètres au-dessus de la mer. De même, l'écart de précocité de Chhomrong dhan et de Raksali est également maintenu (VALES et RAZAFINDRAKOTO, 1996). Les népalaises, Jumli marshi, Chhomrong dhan et Raksali, se sont montrées beaucoup moins vigoureuses que ne le laissent apparaître les données.

Tableau I. Géniteurs.

Nom	CSEP	CSDF	CSMF	CSMA	HOMO	PORT	FTGR	TALL	HAUT	STER
LATSIDAHY	115	117	124	146	7	3	5	3	70	1
LATSIBAVY	113	115	124	146	7	3	5	3	80	1
LATSIBAVY MANGASOMOTRA	113	115	120	146	7	3	7	3	80	1
ROJOFOTSY VINANINONY	108	110	120	146	7	3	5	3	90	1
CITE PLANTON	92	94	99	133	7	3	7	3	90	1
FOFIFA 60	99	101	108	133	5	3	7	3	90	1
FOFIFA 62	94	99	106	133	5	3	7	3	95	1
FOFIFA 64	94	99	106	133	7	3	7	3	90	1
FOFIFA 116	96	99	110	133	7	1	7	3	100	1
FOFIFA 151	103	105	110	133	7	3	1	3	100	1
DOURADO PRECOCE	103	106	113	133	7	3	5	3	110	1
PRATAO PRECOCE	100	106	110	133	7	3	7	3	120	1
CIAT 20	117	90	124	133	5	3	9	3	130	1
CA 148	103	105	113	133	7	3	5	3	100	1
IREM 239	99	101	106	133	7	3	5	3	90	1
IRAT 265-57-2	99	101	108	133	7	3	5	3	80	1
BASMATI BRE.	92	99	106	133	7	1	9	3	100	3
ALICOMBO	127	128	134	150	5	3	9	5	110	3
APANI	115	117	124	150	7	3	9	3	80	1
CIWINI BLANC	101	103	108	134	7	3	9	3	130	3
LULU 183	92	94	108	134	7	3	5	3	90	3
LULU 285	109	111	115	134	7	3	9	3	120	1
JUMLI MARSHI	71	74	88	114	7	3	3	3	60	3
CHHOMRONG DHAN	89	93	99	125	7	3	3	3	120	3
RAKSALI	94	96	102	134	5	3	5	3	120	3
FOSSA HV	129	130	137	150	7	3	3	3	100	1

CSEP	Cycle semis-début épiaison	en jours
CSDF	Cycle semis-début floraison	en jours
CSMF	Cycle semis-50% floraison	en jours
CSMA	Cycle semis-maturité	en jours
HOMO	Homogénéité	1-9/2, 1 exécrable-9 exceptionnelle
PORT	Port des plantes	1-9/2, 1 très érigé-9 très ouvert
FTGR	Format du grain	1-9/2, 1 petit rond-9 long fin
TALL	Tallage utile	1-9/2, 1 exécrable-9 exceptionnel
HAUT	Hauteur	en cm à maturité
STER	Stérilité	1-9/2, 1 aucune-9 complète

Notamment la première variété est restée très chétive et a présenté des panicules courtes et fragiles.

Les observations sur les hybrides F1 sont fournies dans le tableau II. Il peut être noté le phénomène courant d'hétérobeltiosis pour la précocité. Ainsi, pour la durée du semis à 50 % de floraison, le croisement entre IRAT 265-57-2, 108 j, et Raksali, 102 j, donne une F1 de 92 j. Mais cet avantage de l'hybride sur les deux parents dû à la balance de relation sera en partie perdu par autofécondation.

En revanche, il est décevant de constater que pour le croisement Jumli Marshi/Raksali, l'hybride n'a pas un cycle plus court que ses parents. L'origine génétique de la précocité est peut-être la même.

Les géniteurs source de grain long ont apporté pour ce caractère un progrès en général observable sur les hybrides F1. Le format du grain peut passer complètement, quand le parent à améliorer est un pluvial, comme pour le croisement FOFIFA 116/Apani, ou plus modestement, quand la variété à améliorer est un japonica *sensus stricto,* comme pour Khonorallo/Alicombo.

Croisements et rétrocroisements

Les croisements ont été réalisés avec des panicules coupées, après castration à la main et ensachage. Le taux de réussite des croisements a été d'environ 30 %, sur près d'une centaine de tentatives. Beaucoup de croisements ont été tentés avec les népalaises qui n'ont fourni que de bien maigres panicules. Le tableau III fournit la liste des croisements qui ont donné des semences.

Huit rétrocroisements ont été réalisés. Ils font intervenir comme variété récurrente :
– soit une pluviale de basse altitude, comme pour IRAT 26557/2/APANI//IRAT 265-57-2 ;
– soit une pluviale supportant la haute altitude FOFIFA 116/Alicombo\//FOFIFA 116 ;
– soit une irriguée de haute altitude, comme pour Alicombo/Latsidahy/Latsidahy.

D'autres croisements ont été réalisés pour lancer des rétrocroisements pour améliorer :
– le format du grain, grâce à de nouveaux géniteurs (pour le riz pluvial FOFIFA 151/Luluwini 10 ; pour le riz irrigué, Latsidahy/Luluwini 20) ;
– la précocité, grâce aux népalaises, comme Jumli Marshi/CIRAD 398 et Chhomrong Dhan/Lulu 285.

Tableau II Hybrides F1.

C	femelle		mâle	CSEP	CSDF	CSMF	CSMA	HOMO	PORT	FTGR	TALL	HAUT	STER
503	ALICOMBO	/	LATSIDAHY	118	120	122	139	7	3	7	7	110	5
504	APANI	/	ALICOMBO	125	126	129	139	7	3	9	7	110	1
505	CA 148	/	FOFIFA 133	95	98	103	119	5	3	7	5	80	3
506	CA 148	/	IREM 239	97	101	106	125	5	3	7	5	110	1
507	CA 148	/	SHIN EI	99	101	106	125	5	3	5	7	90	1
510	CHHOMRONG DHAN	/	FOFIFA 62	90	93	99	119	5	3	7	5	80	1
512	CHHOMRONG DHAN	/	JUMLI MARSHI	91	93	99	119	5	3	3	5	90	3
513	CHHOMRONG DHAN	/	LATSIDAHY	99	101	106	125	5	3	5	7	100	3
514	CHHOMRONG DHAN	/	RAKSALI	84	87	94	125	7	5	5	7	120	5
515	CITE PLANTON	/	F8C119-F3-5-5-6-6	91	93	99	119	5	3	7	5	100	1
517	CNA 4102	/	CHHOMRONG DHAN	99	101	108	128	5	3	5	7	120	3
519	DOURADO PRECOCE	/	FOFIFA 60	92	96	106	125	7	3	9	7	100	1
521	F9C29-F316-8-9-9-4-7	/	F9C26-F1-9-3-9-4-3	115	117	120	139	5	3	9	3	100	1
522	F9C8-F317-6-9-8-6-M	/	IRAT 265 57-2	100	101	106	125	7	3	7	3	90	3
523	F9C8-F317-6-9-8-6-M	/	LATSIDAHY	103	104	108	128	7	3	5	7	110	1
524	FOFIFA 60	/	CHMOMRONG DHAN	89	92	101	128	5	3	5	5	110	5
525	FOFIFA 62	/	ALICOMBO	106	108	113	128	7	3	7	7	130	3
526	FOFIFA 62	/	ALICOMBO	102	104	108	128	7	3	7	7	120	3
527	FOFIFA 62	/	CHHOMRONG DHAN	81	85	96	119	5	3	7	7	90	3
529	FOFIFA 62	/	MD2\0\0[+]	100	102	106	125	5	3	7	5	120	3
531	FOFIFA 64	/	APANI	99	101	106	125	7	3	7	5	90	5
532	FOFIFA 64	/	IRAT 265 57-2	96	99	108	128	7	3	7	5	100	1
533	FOFIFA 116	/	ALICOMBO	108	109	117	133	7	3	7	7	140	5
534	FOFIFA 116	/	ALICOMBO	108	109	113	132	7	3	7	7	130	5
535	FOFIFA 116	/	APANI	103	104	113	125	5	3	9	5	90	3
537	FOFIFA 116	/	CHHOMRONG DHAN	89	92	99	119	7	3	7	7	120	1
538	FOFIFA 151	/	ALICOMBO	104	106	108	125	7	3	5	7	100	1
539	FOFIFA 151	/	APANI	99	101	108	125	5	3	5	7	100	1
540	FUJIMINORI	/	IRAT 221	93	95	99	119	7	3	5	7	90	1
541	FUJMINORI	/	CITE PLANTON	89	92	99	119	7	3	5	7	80	1
542	IAC 25-64	/	FOFIFA 133	96	98	108	125	7	3	5	3	100	1
544	IAC 25-64/DANIELA (3854)	/	F8C122-F36-9-9-2	85	87	99	119	7	3	7	5	90	1
545	IR 47686-23-4-1	/	ALICOMBO	132	134	137	150	7	3	9	7	140	1
546	IRAT 114	/	FOFIFA 133	99	101	108	125	5	3	3	3	100	1
547	IRAT 221	/	LATSIDAHY	99	101	106	125	7	3	5	3	110	3
548	IRAT 265 57-1	/	APANI	103	104	108	128	7	3	9	5	100	3
551	IRAT 265 57-2	/	APANI	99	101	108	128	7	3	9	5	100	3
552	IRAT 265 57-2	/	CHHOMRONG DHAN	88	92	99	119	5	3	5	7	120	3
553	IRAT 265 57-2	/	JUMLI MARSHI	88	92	99	119	5	3	5	7	100	1
556	IRAT 265 57-2	/	RAKSALI	75	79	92	125	5	3	7	5	110	5
557	IREM 239	/	CITE PLANTON	88	92	99	125	3	1	7	3	110	1
558	IREM 239	/	IAC 25-64	110	111	115	132	7	3	5	3	110	1
559	IREM 239	/	KHONORALLO	96	99	106	125	5	3	5	3	120	1
560	IREM 239	/	KHONORALLO	99	102	110	128	5	3	5	5	120	5
561	IREM 239	/	LATSIDAHY	94	96	110	132	7	5	5	7	120	3
562	JUMLI MARSHI	/	RAKSALI	85	86	94	119	5	1	5	7	100	5
563	KHONORALLO	/	ALICOMBO	113	115	117	133	7	3	5	7	130	5
564	KHONORALLO	/	ALICOMBO	104	108	115	132	7	3	7	7	130	5
565	KHONORALLO	/	IRAT 265 57-2	93	96	102	119	7	3	5	5	110	3
566	LATSIBAVY	/	ALICOMBO	115	117	124	133	7	3	5	7	130	5
567	LATSIBAVY	/	ALICOMBO	108	109	113	128	5	3	7	3	120	1
568	LATSIBAVY	/	APANI	115	117	121	133	7	3	5	7	120	1
569	LATSIBAVY	/	BASMATI BRE	113	115	120	133	5	3	5	7	130	5
570	LATSIDAHY	/	ALICOMBO	125	128	130	139	5	3	5	5	90	1
573	LATSIDAHY	/	APANI	108	109	113	133	7	5	5	7	100	5
576	LATSIDAHY	/	CA 148	106	108	120	133	7	3	5	7	120	1
577	LATSIDAHY	/	CA 148	113	115	120	133	7	3	5	5	120	1
578	LATSIDAHY	/	CHHOMRONG DHAN	99	102	108	125	5	3	5	7	120	1
579	LATSIDAHY	/	F9C8-F317-6-9-8-6-M	106	108	113	128	5	3	7	3	100	1
580	LATSIDAHY	/	IRAT 114	115	117	124	133	7	3	5	5	90	1
581	LATSIDAHY	/	IRAT 221	103	105	110	125	5	3	5	5	100	1
582	LATSIDAHY	/	IRAT 265 57-2	115	117	120	133	5	3	5	5	120	1
583	LATSIDAHY	/	IREM 239	108	109	121	133	5	3	5	3	110	1
584	LATSIDAHY	/	RAKSALI	99	101	110	122	7	5	5	7	100	7
585	MD1\0\3[ms	/	ALICOMBO	117	120	124	133	7	3	5	7	140	5
587	MD2\0\0[+]	/	CHHOMRONG DHAN	92	94	99	119	7	3	5	3	90	5
590	MD2\0\0[ms]	/	FOFIFA 62	92	96	102	125	5	3	7	3	80	3
592	MD2\0\0[ms]	/	FOFIFA 62	96	100	113	139	7	3	3	7	80	1
594	MD2\0\3[ms]	/	FOSSA HV	113	115	124	133	5	3	5	7	150	5
595	MD2\0\3[ms]	/	TANNIMOCHI	101	102	106	125	5	3	1	5	120	5
597	PRATAO PRECOCE	/	APANI	105	108	110	128	7	3	9	7	110	1
599	PRATAO PRECOCE	/	CHHOMRONG DHAN	86	88	96	119	5	3	5	7	90	5
600	ROJOFOTSY (1285)	/	ALICOMBO	117	121	124	141	7	3	7	7	140	5
601	ROJOFOTSY (1285)	/	APANI	108	110	113	128	7	3	5	7	100	3
604	SHIN EI	/	ALICOMBO	100	102	113	128	7	3	5	7	var.	5
606	SHIN EI	/	APANI	96	102	110	125	3	1	5	3	90	3
607	SHIN EI	/	BASMATI BRE	102	104	108	128	5	3	5	3	70	5
608	SHIN EI	/	FOSSA HV	110	111	113	133	5	3	1	5	90	5
611	TANNIMOCHI	/	CITE PLANTON	89	92	99	125	5	3	1	3	60	1

Tableau III. Croisements.

C	géniteurs					formule développée
612	ALICOMBO	/	LATSIDAHY	//	LATSIDAHY	
613	ALICOMBO	/	LATSIDAHY	//	LATSIDAHY	
614	APANI	/	ALICOMBO	//	LATSIDAHY	
615	CHHOMRONG DHAN	/	BASMATI BRE			
616	CHHOMRONG DHAN	/	CIWINI BLANC			
617	CHHOMRONG DHAN	//	IRAT 265-57-2	/	APANI	CHHOMRONG DHAN //// IRAT 13 /DOURADO PRECOCE // IRAT 13 /// APANI
618	CHHOMRONG DHAN	/	LATSIDAHY	//	LULU 183	
619	CHHOMRONG DHAN	/	LULU 183			
620	CHHOMRONG DHAN	/	LULU 285			CHHOMRONG DHAN // ARAGUAIA / CUIABANA
621	CHHOMRONG DHAN	/	LULUWINI 9			CHHOMRONG DHAN // LULU 285 / DIWINI
622	CHHOMRONG DHAN	/	(CHOKOTO / IDSA 11)-48-M-1			CHHOMRONG DHAN /// CHOKOTO // IRAT 112 / IGUAPE CATETO
623	CHHOMRONG DHAN	/	(CHOKOTO / IDSA 85)-49-M-1			CHHOMRONG DHAN /// CHOKOTO // ARAGUAIA / CUIABANA
624	CIAT 20	/	LATSIDAHY			IRAT 216 / IRAT 124 // RHS 107-2-1-2TB-15M /// LATSIDAHY
625	CITEE PLANTON	//	IRAT 265-57-2	/	JUMLI MARSHI	CITE PLANTON //// IRAT 13 / DOURADO PRECOCE // IRAT 13 /// JUMLI MARSHI
626	FOFIFA 116	/	ALICOMBO	//	CHHOMRONG DHAN / LATSIDAHY	
627	FOFIFA 116	/	ALICOMBO	//	CIAT 20	RS 25 T / IAC 25-64 // ALICOMBO /// IRAT 216 / IRAT 124 // RHS 107-2-1-2TB-15M
628	FOFIFA 116	/	ALICOMBO	//	FOFIFA 116	RS 25 T / IAC 25-64 // ALICOMBO /// RS 25 T / IAC 25-64
629	FOFIFA 116	/	ALICOMBO	//	LATSIBAVY MANGASOMOTRA	RS 25 T / IAC 25-64 // ALICOMBO /// LTSIBAVY MANGASOMOTRA
630	FOFIFA 116	/	CHHOMRONG DHAN	//	LULUWINI 1	RS 25 T / IAC 25-64 // CHHOMRONG DHAN /// CIWINI BLANC //ARAGUAIA / CUIABANA
631	FOFIFA 151	/	APANI	//	FOFIFA 151 HT 1	LATSIDAHY / SHIN EI // APANI /// FOFIFA 151 HT 1
632	FOFIFA 151	/	LULUWINI 10			LATSIDAHY / SHIN EI // LULU 291 / LULU 183
633	FOFIFA 62	/	ALICOMBO	//	FOFIFA 62	IAC 25-64 / DANIELA // ALICOMBO /// IAC 25-64 / DANIELA
634	FOFIFA 62	/	LULU 183			IAC 25-64 / DANIELA // LULU 183
635	IRAT 265-57-2	/	APANI	//	IRAT 65-57-2	IRAT 13 / DOURADO PRECOCE // IRAT 13 /// APANI //// IRA 13 / DOURADO PRECOCE // IRA
636	IRAT 265-57-2	/	JUMLI MARSHI	//	LULUWINI 2	IRAT 13 / DOURADO PRECOCE // IRAT 13 ///JUMLI MARSHI // BSL / CIWINI BLANC
637	JUMLI MARSHI	/	CIAT 20			JUMLI MARSHI /// IRAT 216 / IRAT 124 // RHS 107-2-1-2TB-15M
638	JUMLI MARSHI	//	FOFIFA 116	/	ALICOMBO	JUMLI MARSHI /// RS 25 T / IAC 25-64 // ALICOMBO
639	LATSIBAVY	/	ALICOMBO	//	LATSIBAVY	
640	LATSIBAVY	//	LATSIBAVY	//	ALICOMBO	
641	LATSIBAVY	/	LULUWINI 15			LATSIBAVY / / CIWINI BLANC / CIAT 20
642	LATSIBAVY	/	LULUWINI 19			LATSIBAVY // IRAT 216 / LULU 285
643	LATSIDAHY	/	LULUWINI 20			LATSIDAHY // IRAT 216 / LULU 183
644	LATSIDAHY	/	LULUWINI 9			LATSIDAHY // LULU 285 / DIWINI
645	LULUWINI 11	//	FOFIFA 116	/	CHHOMRONG DHAN	CIWINI BLANC / IRAT 216 // FOFIFA 116 / CHHOMRONG DHAN
646	LULUWINI 17	/	FOFIFA 116			CIWINI BLANC / CICA 10 // FOFIFA 116
647	LULUWINI 22	/	CHHOMRONG DHAN			CIWINI / LULU 285 // CHHOMRONG DHAN
648	RAKSALI	/	FOFIFA 62			RAKSALI // IAC 25-64 / DANIELA
649	(ALICOMBO / IDSA 11)-27-1-1	/	LATSIDAHY			
650	(CHOKOTO / IDSA 85)-49-M-1	/	FOFIFA 116 HT 1			CHOKOTO // ARAGUAIA / CUIABANA /// (RS 25 T / IAC 25-64) HT 1
651	(CHOKOTO / IDSA 85)-49-M-1	/	LATSIBAVY MANGASOMOTRA			CHOKOTO // ARAGUAIA / CUIABANA /// LATSIBAVY MANGASOMOTRA
652	(CHOKOTO / IDSA 85)-49-M-1	/	RAKSALI			CHOKOTO // ARAGUAIA / CUIABANA /// RAKSALI
653	(IDSA 11 / IDSA 85)-60-MA-1	/	LATSIDAHY			IRAT 112 / IGUAPE CATETO // ARAGUAIA / CUIABANA /// LATSIDAHY
654	(IDSA 85 / IDSA 11)-72-M-1	/	FOFIFA 116			ARAGUAIA / CUIABANA // IRAT 112 / IGUAPE CATETO /// RS 25 T / IAC 25-64
655	(IDSA 85 / IDSA 11)-72-M-1	/	FOFIFA 151 HT 1			ARAGUAIA / CUIABANA // IRAT 112 / IGUAPE CATETO /// (LATSIDAHY / SHIN EI) HT1

Ces deux derniers exemples montrent que l'association de plusieurs caractères principaux est souvent tentée. Par exemple, dans ces derniers croisements, en plus de la précocité, est visée :

– la productivité avec CIRAD 398 ;

– le format du grain avec Lulu 285 ;

– la tolérance à la pourriture des gaines et un bon tallage avec Chhomrong Dhan (VALES et RAZAFINDRAKOTO, 1996).

Cela est encore plus net avec les croisements à plus de deux voies, comme IRAT 265-57-2/Jumli Marshi//Luluwini 2 qui associe (pluvial, tolérance à la pyriculariose)/(irrigué, très précoce, tolérance au froid)//(grain très long).

Les semences F2 récoltées seront exploitées en sélection massale en vue des rétrocroisements et/ou pour lancer une sélection généalogique.

Ces croisements ont été lancés, au départ, pour améliorer par rétrocroisements le format du grain des variétés d'altitude. Puis l'opportunité d'utiliser la grande précocité de variétés népalaises a été saisie. Enfin, la tolérance à la pyriculariose a été prise en compte. Le niveau de production et la tolérance au froid, ainsi qu'à la pourriture des gaines, restent bien sûr toujours des critères incontournables. Ces premiers croisements devraient offrir une large gamme de type de plante pour la riziculture d'altitude pluviale, irriguée et même inondée, sur laquelle nous fondons de grands espoirs.

Conclusion

Les graines F1 et BC1 sont semées lors de la campagne 1995-1996. Les plantes obtenues seront :

– directement retrocroisées avec les variétés récurrentes ;

– récoltées en vue d'une sélection en F2 des plantes qui seront recroisées avec les variétés récurrentes. Cela permettra également de lancer une sélection généalogique.

Remerciements

Les auteurs remercient Madame Angeline RAZAKALAMBO (station FOFIFA d'Ivoloina) et Messieurs Sambatra RAZAFINANTOANINA et David RATSITOHAINA RALAISOA (PRA FOFIFA-CIRAD) pour leur collaboration technique et Messieurs Serge BOUZINAC et James TAILLEBOIS (CIRAD Brésil) pour leur appui en matière de géniteurs brésiliens.

Références bibliographiques

AGRAWAL P.K., NANDAR J.S., 1969. A note on dormancy in rice. Il Riso Rassagna Trimestriales di Studi. XVIII (4) : 325-326.

CHATEL M., DECHANET R., 1980. Analyse diallèle de quelques caractères quantitatifs chez le riz. L'Agronomie Tropicale XXXV (4) : 402-414.

CLEMENT G., 1987. L'amélioration du riz pluvial par hybridation, analyse diallèle de huit caractères quantitatifs dans l'ensemble japonica au sens large ; application à la sélection. Thèse, Institut national polytechnique de Toulouse, 173 p.

DE LAULANIE H., 1993. Le système de riziculture intensive malgache. Tropicultura 11 (3) : 110-114.

RAZAKAMIARAMANANA, 1996. Le SRI ou le système de riziculture intensive. Atelier international Point sur la recherche et le développement de la riziculture d'altitude. FOFIFA-CIRAD, 30 mars-5 avril. Antananarivo, Antsirabe, Madagascar, 18 p.

TAILLEBOIS J., CASTRO E.M., 1986. A new crossing technique. Int. Rice Res. Newsl. 11 (3) : 6 p.

VALES M., YOBOUE N'G., BOUET A., 1995. Stratégie de sélection pour l'amélioration de la résistance au virus de la bigarrure jaune du riz à l'IDESSA en Côte d'Ivoire. First International Symposium on Rice Yellow Mottle Virus. September 18-22, 1995. ADRAO/WARDA, Bouaké, Côte d'Ivoire, 8 p.

VALES M., RAZAFINDRAKOTO J., 1995. Rapport d'activité de l'amélioration variétale du programme riz d'altitude du FOFIFA-CIRAD à Madagascar, campagne 1994-1995. FOFIFA-CIRAD, 72 p.

VALES M., RAZAFINDRAKOTO J., 1996. De la précocité népalaise pour le riz d'altitude malgache. Atelier international Point sur la recherche et le développement de la riziculture d'altitude. FOFIFA-CIRAD, 30 mars-5 avril. Antananarivo, Antsirabe, Madagascar, 7 p.

POISSON C., RAKOTOARISOA J., (édit.), 1997
Riziculture d'altitude
Actes du séminaire riziculture d'altitude.
29 mars-5 avril 1996, Antananarivo, Madagascar.
Colloques, CIRAD-CA, Montpellier, France, 272 p.

La sélection récurrente pour le riz d'altitude malgache

M. VALES[1], J. RAZAFINDRAKOTO[2]
1. Programme riz d'altitude du FOFIFA-CIRAD, CIRAD-CA, BP 853, Antananarivo, Madagascar
2. FOFIFA-DRR, BP 1690, Antananarivo, Madagascar

Résumé — Un schéma de sélection récurrente sur lignées S2 est proposé pour l'amélioration du riz d'altitude. Ce schéma permet la sélection récurrente malgré les conditions rigoureuses d'altitude. Il a été commencé pour la population irriguée MD1. En même temps que son exécution, un élargissement de la base génétique de cette population a été réalisé. La population pluviale MD2 a du être relancée à cause du retour vers le type irrigué. Cette relance a été mise à profit pour élargir sa base génétique. Elle devient la population MD3. L'élargissement de la base génétique des deux populations a été fait par l'introduction de nouvelles variétés fondatrices. Les principaux caractères renforcés par ces introductions sont la précocité et un format long du grain.
Mots-clés : riz d'altitude, *Oryza sativa*, sélection récurrente, Madagascar, *Pseudomonas fuscovaginae*, *Sarocladium oryzae*, froid, précocité, format du grain.

Introduction

La sélection récurrente est utilisée pour améliorer de nombreuses espèces, notamment pour leur résistance aux maladies (VALES, 1992a), comme celle de la luzerne vis-à-vis des bactérioses (BARNES *et al.*, 1971). Elle est proposée chez le riz pour améliorer la résistance à la pyriculariose (BUDENHAGEN, 1979 ; VALES, 1983, 1987, 1989), ou celle au virus de la bigarrure jaune du riz (RYMV) (VALES *et al.*, 1995). Elle est également proposée pour accroître les qualités agronomiques du riz (TAILLEBOIS, 1983).

En altitude, le riz doit faire face à la pourriture des gaines due à *Sarocladium oryzae* ou à *Pseudomonas fuscovaginae* et à la pyriculariose. De plus, il est soumis au froid. L'ensemble des qualités nécessaires pour faire face aux diverses agressions liées aux conditions d'altitude revêt un caractère polygénique. C'est pourquoi l'emploi de la sélection récurrente a été envisagé.

Une population pour le riz pluvial d'altitude et une autre pour la culture irriguée ont été lancées (ENJALBERT, 1994). L'acquisition de nouveaux géniteurs et d'une meilleure connaissance des conditions de sélection a conduit à élargir la base génétique de ces populations et à lancer un nouveau schéma de récurrence mieux adapté. Ce travail a pu être entrepris grâce, en particulier, à l'appui de la CEE. Il est à noter qu'il bénéficie de l'expérience acquise dans d'autres projets, aidés également par la CEE en Côte d'Ivoire (VALES, 1992b).

Schéma de sélection récurrente

La sélection récurrente permet d'améliorer progressivement des populations en faisant succéder des phases de sélection modérée et des phases de brassage génétique. Cela permet l'apparition progressive de groupes polygéniques favorables.

Périodiquement, au même titre que des populations F2, ces populations récurrentes fournissent à la création variétale des lignées qui font l'objet d'une sélection, par exemple généalogique, plus forte.

Pour les populations de riz qui nous intéressent, le brassage génétique est facilité par l'utilisation d'un gène de stérilité mâle récessif, ms (SINGH et IKEHASHI, 1991). Il a été apporté par la population CNA-IRAT 1 de James Taillebois (DECHANET et ENJALBERT, 1995).

Le premier schéma mis en œuvre consistait à faire la sélection sur des lignées S1 obtenues par un cycle d'autofécondation, c'est-à-dire par récolte sur des plantes mâles fertiles. Puis un mélange équilibré (ME), c'est-à-dire d'un même nombre de grains par plante mère, des talons des S1 sélectionnées était semé. Le brassage génétique était réalisé par récolte sur les plantes mâles stériles. Un ME de leurs grains était semé. Les plantes mâles fertiles étaient récoltées pour fournir les lignées S1 sujettes à la sélection récurrente (ENJALBERT, 1994).

Une première amélioration du schéma consiste à ne plus effectuer le deuxième ME de semences. La conduite des lignées distinctes permet d'effectuer une légère sélection entre familles de demi-frères (GALAIS, 1990).

Cependant, il est apparu que les conditions de culture d'altitude sont trop sélectives. L'élimination du matériel non adapté au sein des populations est trop brutale pour être compatible avec la sélection récurrente. En effet, elle provoque une baisse trop rapide du polymorphisme qui interdit la constitution progressive d'ensembles génétiques complexes plus performants. Par ailleurs, il est apparu difficile d'effectuer une sélection entre lignées S1, en ségrégation, pour des caractères aussi fluctuants que la stérilité, la pourriture des gaines ou les attaques sur grains.

Ces deux problèmes ont conduit à envisager d'adopter le schéma de sélection récurrente sur lignées S2 proposé à l'Idessa, en Côte d'Ivoire, où il a été lancé pour l'amélioration de la résistance à la pyriculariose du riz pluvial (VALES, 1993a) et au virus de la bigarrure jaune du riz irrigué (VALES *et al.*, 1995).

Ce schéma se divise en deux parties (figure 1). Elles sont simultanées et complémentaires. Dans la première partie du schéma, la fréquence du gène de stérilité mâle est maintenue en même temps que le polymorphisme grâce à des recombinaisons successives par récolte sur les plantes mâles stériles.

Dans la deuxième partie du schéma, il est opéré une fixation du matériel jusqu'à l'obtention de lignées S2 sur lesquelles porte la sélection récurrente proprement dite. Cette sélection est plus aisée et peut s'adresser à des caractères récessifs ou moins héritables. D'autant que la multiplication du matériel permet d'envisager des essais multilocaux (VALES, 1989, 1992c, 1993b).

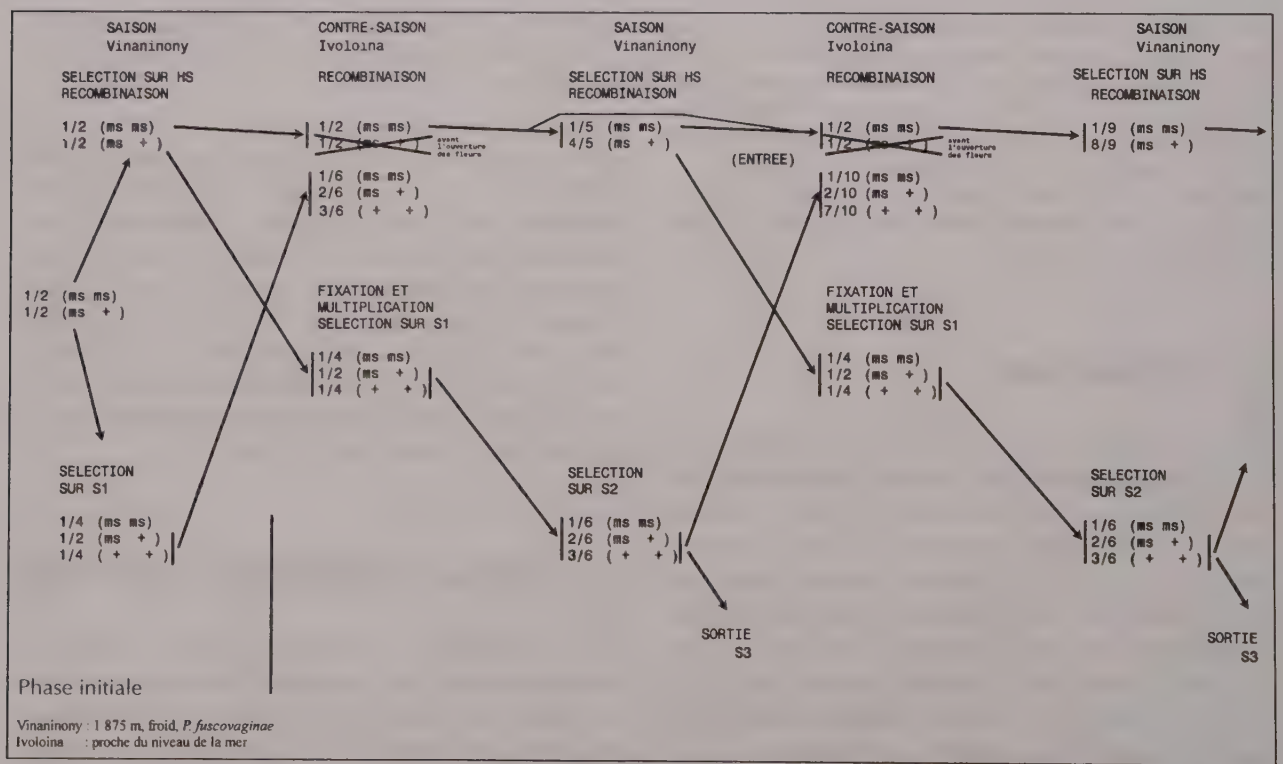


Figure 1. *Sélection récurrente sur famille S2 et de demi-frères.*

Mais la fixation s'accompagne d'une baisse de la fréquence du gène de stérilité mâle. Et la sélection conduit à un effectif efficace réduit et donc à une perte de polymorphisme important par dérive génétique. L'association des parties du schéma résoud ces deux problèmes. Pour ce faire, un ME des semences des plantes sélectionnées à l'intérieur des meilleures lignées S2 est semé avec une part égale d'un ME des grains provenant de la première partie du schéma. Un brassage génétique est effectué par récolte sur les plantes mâles stériles.

Le semis en lignées distinctes des grains récoltés permet d'effectuer une sélection modérée sur familles de demi-frères. Les meilleures lignées fourniront les S1 puis les S2 de la deuxième partie du schéma. La récolte sur les plantes mâles stériles fournira la première partie du schéma.

L'essai de sélection sur lignées S2 est également le lieu de sortie du cycle de récurrence. Il fournit à la création variétale des lignées déjà en S3 (équivalent F4). Les mélanges des semences du reste des lignées retenues peuvent même permettre un essai d'évaluation variétale avancé.

L'entrée de nouveaux matériels génétiques dans le cycle de récurrence se situe à la rencontre des deux parties du schéma, c'est-à-dire le brassage entre plantes S3 issues de la sélection et l'échantillon de la population non appauvri génétiquement.

Il subsiste encore le risque d'étranglement du polymorphisme par un passage de toute la population en haute altitude en saison. Pour éviter encore ce risque, un échantillon de la récolte faite sur les mâles stériles en contre-saison en basse altitude est conservé. Il contribuera pour moitié à la part venant de la première partie du schéma lors de la recombinaison avec les plantes S3.

Ce schéma, un peu compliqué à décrire, a pourtant toutes ces phases exécutées en deux cycles de culture. De plus, ses sorties ont l'équivalent d'une génération d'avance sur des sorties de populations F2 ou récurrente avec sélection en S1, ce qui permet un gain de temps.

La population récurrente irriguée

Ce nouveau schéma de sélection récurrente a été lancé en 1994-1995 sur la population irriguée MD2, à Vinaninony, 1 875 m. Il s'agissait d'effectuer un brassage génétique par récolte sur les plantes mâles stériles. Il fallait également obtenir les lignées S1 par récolte sur les plantes mâles-fertiles.

En contre-saison 1995, à Ivoloina, sur la côte est, ces lignées S1 ont été fixées par récolte dans chacune d'une plante mâle fertile. Les conditions de culture favorisaient la production (VALES et RAZAFINDRAKOTO, 1996a).

En saison 1995-1996, à Vinaninony, 879 lignées S2 sont en phase de sélection récurrente proprement dite. Les meilleures plantes des lignées sélectionnées participeront au brassage génétique en contre-saison prochaine. Les toutes meilleures continueront d'être suivies en sélection généalogique en saison prochaine et les restes des lignées correspondantes entreront en essai d'évaluation variétale avancé.

En contre-saison 1995, à Ivoloina, le ME des grains récoltés, le cycle précédent sur les plantes mâles stériles, ont été semés pour permettre un autre cycle de brassage génétique. Ce brassage génétique a été mis à profit pour élargir la base génétique de la population (tableau I) en y introduisant des variétés très précoces népalaises (VALES et RAZAFINDRAKOTO, 1996b) et de nouveaux géniteurs à grains longs (VALES *et al.*, 1996). Les nouveaux taux de participation des différentes variétés fondatrices sont indiqués dans le tableau II (VALES et RAZAFINDRAKOTO, 1996a).

Un ME des semences des plantes mâles stériles a été conservé pour participer à la recombinaison avec les S3 lors de la contre-saison suivante. En début de saison 1995-1996, le reste des grains obtenu a été semé en 325 lignées distinctes de demi-frères. Un nouveau brassage génétique sera effectué par récolte sur les plantes mâles stériles. Une sélection très modérée sera effectuée parmi les lignées de demi-frères et des plantes mâles fertiles seront récoltées. Elles constitueront les lignées S1 qui seront fixées le cycle suivant pour fournir les lignées S2. Celles-ci feront l'objet de la sélection récurrente proprement dite.

Tableau I. Nouveaux géniteurs introduits dans la population récurrente irriguée MD 1.

Jumli marshi	exceptionnellement précoce à Vinaninony
Chhomrong dhan	extrêmement précoce à Vinaninony 1,85 m
Raksali	très précoce à Vinaninony et grain correct
Ciwini blanc	grain extrêmement long
Chokoto	grain très long
IDSA 85	grain très long, pluvial
Lulu 285	grain très long, pluvial
Basmati Bre.	grain long et fin

Tableau II. Estimation du pourcentage de participation dans la population récurrente irriguée avant et après l'introduction des nouveaux géniteurs.

		Avant	Après
IR 36	S	6,2500	6,025
Palawan		6,2500	6,025
Latsidahy	D	5,7692	5,561
Latsibavy	D	5,7692	5,561
Mitsangana	D	5,7692	5,561
Rojofotsy Vinaninony	D	5,7692	5,561
AS 59	D	5,7692	5,561
AS 92	D	5,7692	5,561
IBPGR 115	D	5,7692	5,561
IBPGR 118	D	5,7692	5,561
IBPGR 138-2	D	5,7692	5,561
IBPGR 141-4	D	5,7692	5,561
AS 40	D	5,7692	5,561
AS 37	D	5,7692	5,561
Tokambana	D	5,7692	5,561
Arroz de campo		1,1350	1,094
CA 435		1,1350	1,094
CNA 4135		1,1350	1,094
Cuiabana		1,1350	1,094
IAC 47		1,1350	1,094
IAC 165		1,1350	1,094
IAPAR 9		1,1350	1,094
IRAT 112		1,1350	1,094
IRAT 237		1,1350	1,094
IREM 238		1,1350	1,094
IREM 247		1,1350	1,094
Jumli Marshi		0	0,905
Chhomrong Dhan		0	0,682
Ciwini Blanc		0	0,682
Raksali		0	0,446
Chokoto		0	0,223
IDSA 85		0	0,223
Lulu 285		0	0,223
Basmati Bre.		0	0,223

S : cytoplasme introduit par SHING et IKEASHI (1991)
D : cytoplasme introduit par DECHANET

La population récurrente pluviale

La population récurrente pluviale MD2 a fait un retour défavorable vers le type de plante irriguée. La recomposition d'une population récurrente entièrement nouvelle différerait trop la création variétale. Aussi, en saison 1994-1995, il a été préféré la reprise de la population MD2, en repartant des premières phases constitutives d'avant la sélection involontaire en favorisant les grains longs. Cependant, le résultat de ce travail n'a pas été jugé suffisant (VALES et RAZAFINDRAKOTO, 1995). C'est pourquoi la contre-saison 1995, à Ivoloina, a été mise à profit pour associer les populations MD2, MD1 et IDSA-IRAT 10 (VALES *et al.*, 1995), auxquelles ont été adjoints quelques géniteurs améliorants, notamment à grain long (tableau III). Le mélange est présenté dans le tableau IV.

Le tableau V fournit une estimation du pourcentage de participation des 95 variétés fondatrices de cette population (MD3 en formation). Cette estimation n'a qu'une valeur statistique. La dérive génétique est sans doute très forte pour certaines variétés. En effet, l'effectif efficace a été parfois très faible pour certains des composants. Ainsi la population CNA-IRAT 1 n'a fourni qu'un peu plus d'une dizaine de plantes pour constituer MD2. De même, la participation des derniers géniteurs introduits n'est pas calculable avec la même certitude que s'ils descendaient de croisements contrôlés avec des plantes mâles stériles comme cela sera fait par la suite. En revanche, pour les introductions de R. Déchanet (D), l'estimation doit être assez proche de la réalité. Entre parenthèses, est donnée l'estimation théorique avec 50 % de plantes mâles stériles dans les composants fournissant le gène de stérilité. Sans parenthèse, il s'agit de l'estimation calculée avec la fréquence observée de plantes mâles stériles.

Conclusion

La réinitialisation de la population pluviale, devenue MD3, a été mise a profit pour commencer à y introduire de nouvelles variétés très précoces à 1 875 m ou à grain très long. La population irriguée a également bénéficié de cet apport.

Un nouveau schéma de sélection récurrente sur lignées S2 a été lancé pour la population récurrente irriguée MD1. Il permet de réaliser la sélection récurrente malgré la très forte pression exercée par les conditions d'altitude tant biotiques qu'abiotiques. Cette sélection fournira dès la fin de la campagne 1995-1996 des lignées S3, équivalentes à des F4, des plus prometteuses.

Tableau III. Nouveaux géniteurs introduits dans la population récurrente pluviale.

CIAT 20	productif, pluvial
IDSA 85	grain très long, pluvial
CA 148	grain assez long, pluvial
IREM 239	grain assez long, pluvial
IRAT 265 57-2	tolérance à la pyriculariose, pluvial
(Chokoto/IDSA 11)-48-M	grain long, pluvial
(Chokoto/IDSA 85)- 49-M	idem
(IDSA 11/IDSA 85)-60-MA	idem
(IDSA 6/Alicombo)-63	idem
(IDSA 6/Chokoto)-64	idem
(IDSA 85/IDSA 11)-72-M	idem
(Tox 1011-4-1/Chokoto)-92	idem
IDSA-IRAT 6\2\FFF//Tox 1011-4-1/Dourado Précoce	
Lignée 131-31	grain long, pluvial
Lignée 131-4-1	idem
Lignée 131-4-2	idem
Lignée 131-8-1	idem
Chokoto	grain très long
Jumli marshi	précocité et tolérance au froid
Chhomrong Dhan	précocité et tolérance au froid
Raksali	précocité et tolérance au froid
Latsidahy	tolérance au froid et à *P. fuscovaginae*
Latsidahy Mangasomotra tolérance au froid et à *P. fuscovaginae*	
Lulu 183	grain très long
Lulu 285	idem
Lulu 288	idem
Lulu 291	idem
Ciwini blanc	idem
MN 1	idem
MN 2	idem

Tableau IV. Mélange constitué pour reformer la population récurrente pluviale MD 3.

Nombre de grains	
MD1 mélange équilibré des semences S0 récoltées en 1994-1995	1 000
MD2 récolte des mâles stériles, phase VI	1 000
MD2 mélange équilibré des S1, tentative de reprise 1994-1995	455
MD2 mélange de toutes les S0, tentative de reprise 1994-1995	45
IDSA-IRAT 10	1 500
Nouveux géniteurs	1 000

Tableau V. Estimation du pourcentage de participation des différents géniteurs dans la population récurrente pluviale MD3.

Latsidahy	D	(5,871)*	5,896**
IR36	S	(5,209)	5,418
Palawan	T	(5,209)	5,418
Latsibavy	D	(5,024)	5,232
Daniela	D	(3,814)	3,972
Shin Ei	D	(3,814)	3,972
F4 C58-10	D	(3,814)	3,972
Rikuto Norin 15	D	(3,814)	3,972
FOFIFA 62	D	(3,814)	3,972
FOFIFA 116	D	(3,814)	3,972
IAC 25	D	(3,814)	3,972
Pratao Précoce	D	(3,814)	3,972
Guarani	D	(3,814)	3,972
Cuiabana	T	(1,869)	1,947
TOX 1011-4-1	V	(1,803)	1,877
Jumli Marshi		(1,780)	1,396
IRAT 237	T	(1,655)	1,724
Mana 1	V	(1,432)	1,491
55-55		(1,271)	1,324
Alicombo		(1,271)	1,324
BG 90-2		(1,271)	1,324
Bouaké 189		(1,271)	1,324
Ceysvoni	V	(1,271)	1,324
Chhomrong Dhan		(1,271)	0,997
Mitsangana	D	(1,210)	1,260
Rojofotsy Vinaninony	D	(1,210)	1,260
AS 59	D	(1,210)	1,260
AS 92	D	(1,210)	1,260
IBPGR 115	D	(1,210)	1,260
IBPGR 118	D	(1,210)	1,260
IBPGR 138-2	D	(1,210)	1,260
IBPGR 141-4	D	(1,210)	1,260
AS 40	D	(1,210)	1,260
AS 37	D	(1,210)	1,260
Tokambana	D	(1,210)	1,260
IRAT 112	T	(1,146)	1,193
IAC 165	T	(1,020)	1,062
IREM 247	T	(0,988)	1,029
Beira Campo		(0,849)	0,885
CNA 4097		(0,849)	0,885
CNA 4145		(0,849)	0,885
IRAT 177		(0,849)	0,885
IRAT 257		(0,849)	0,885
Palha Murcha		(0,849)	0,885
CA 148		(0,847)	0,665
IREM 239		(0,847)	0,665
IRAT 265 57-2		(0,847)	0,665
Rakali		(0,847)	0,665
Latsibavy Mangasomotra			(0,847)
0,665			
Lulu 183		(0,847)	0,665
Luu 285		(0,847)	0,665
Lulu 288		(0,847)	0,665
Lulu 291		(0,847)	0,665
Ciwini Blanc		(0,847)	0,665
MN 1		(0,847)	0,665
MN 2		(0,847)	0,665
IAPAR 9	T	(0,844)	0,879
IREM 238	T	(0,810)	0,843
CNA 4135	T	(0,809)	0,843
IDSA 85		(0,805)	0,795
Arroz de Campo	T	(0,800)	0,833
Chokoto		(0,795)	0,795
CA 435	T	(0,727)	0,757
Abongoua 88		(0,636)	0,662
Fossa Man 2	V	(0,636)	0,662
IDSA 11 = IRAT 263	V	(0,636)	0,662
IDSA 6 = IRAT 216		(0,636)	0,662
IRAT 247	V	(0,636)	0,662
LAC 23		(0,636)	0,662
IAC 47		(0,595)	0,620
Khao Dowk Mali 105(A)	V	(0,478)	0,498
Tangara	V	(0,478)	0,498
CNA 5171		(0,425)	0,442
IRAT 115		(0,318)	0,331
Moroberekan		(0,318)	0,331
CIAT 20 = Progresso		(0,169)	0,133
(Chokoto/IDSA 11)-48-M			(0,169)
0,133			
(Chokoto/IDSA 85)-49-M			(0,169)
0,133			
(IDSA 11/IDSA 85)-60-MA			(0,169)
0,133			
(IDSA 6/Alicombo)-63-M			(0,169)
0,133			
(IDSA 6/Chokoto)-64-M		(0,169)	0,133
(IDSA 85/IDA 11)-72-M		(0,169)	0,133
(Tox 1011-4-1/Chokoto)-92			(0,169)
0,133			
Casca Branca		(0,132)	0,138
CNA 5179		(0,132)	0,138
CNA 770187		(0,132)	0,138
Commun Crioulo		(0,132)	0,138
Jaguari		(0,132)	0,138
L 13		(0,132)	0,138
L 80-24		(0,132)	0,138
Santa America		(0,132)	0,138
IDSA-IRAT 6\2\FFF// Tox 1011-4-1/Dourado Précoce			
Lignée 131-3-1		(0,085)	0,066
Lignée 131-4-1		(0,085)	0,066
Lignée 131-4-2		(0,085)	0,066
Lignée 131-8-1		(0,085)	0,066

D : cytoplasme introduit par DECHANET
S : cytoplasme introduit par SINGH et IKEASHI (1991)
T : cytoplasme introduit par TAILLEBOIS et GUIMARAES, 1989
V : cytoplasme introduit par VALES *et al.*, 1995
* : estimation théorique
** : estimation en fonction du nombre de plantes mâles fertiles observées
(A) : aromatique

Remerciements

Les auteurs remercient Madame Angeline RAZAKALAMBO — de la station FOFIFA d'Ivoloina —, Messieurs Sambatra RAZAFINANTOANINA et David RATSITOHAINA RALAISOA (PRA FOFIFA-CIRAD) pour leur collaboration technique et Messieurs Lucien SEGUY et Serge BOUZINAC — du CIRAD Brésil —, pour leur appui en matière de géniteurs brésiliens.

Références bibliographiques

BARNES D.K., HANSON, C.H, FROSHEISER, F.I. ELLING, 1971. Reccurent selection for bacterial wilt resistance in alfalfa. Crop Science 11 : 545-546.

BUDDENHAGEN I.W., 1979. Rice breeding for tropical african conditions and problems. First Annual Research Conference IITA, Ibadan, Nigeria, October 15-19, 25 p.

DECHANET R., ENJALBERT J., 1995. CIRAD-CA/FOFIFA High altitude rice improvement *In* CHATEL M. and GUIMARAES E.P. Recurrent selection in rice gene pools and populations. CIRAD-CA/CIAT, 30 p.

ENJALBERT J. 1994. Rapport de campagne 1993-1994. FOFIFA-CIRAD, 23 p.

GALLAIS A., 1990. Théorie de la sélection en amélioration des plantes. Masson, 588 p.

SINGH R.J., IKEHASHI H., 1991. Monogenic male-sterility in rice : introduction, identification and inheritance. Crop Science 21 : 286-289.

TAILLEBOIS J., 1983. Une nouvelle perspective pour la production de semences hybrides F1 : le transfert des caractères d'allogamie de l'espèce *O. longistaminata* A. Chev. à l'espèce *O. sativa*. L'Agronomie Tropicale 38 (4) : 303-307.

VALES M., 1983. Des connaissances sur les relations hôte-parasite aux stratégies de lutte contre la pyriculariose du riz. Thèse en amélioration et développement des végétaux. Université Paris XI, centre d'Orsay, 310 p.

VALES M., 1987. La résistance durable : cas de la pyriculariose du riz. II Amélioration variétale de la résistance durable. L'Agronomie Tropicale, 42 (2) : 112-120.

VALES M., 1989. Stratégie pour l'amélioration de la résistance à la pyriculariose du riz. Symposium international sur le rôle de la biologie dans la solution de la crise alimentaire en Afrique. Réseau africain de biosciences, 26-30 juillet 1989, Yamoussoukro, Côte d'Ivoire, 12 p.

VALES M., 1992a. Stratégies de sélection et de lutte génétique contre les phytoparasites. Séminaire FIS-ORSTOM « Interaction plantes microorganismes », Dakar, Sénégal, 17-22 février 1992, 20 p.

VALES M., 1992b. Rapport final du projet CEE : études des relations *Oryza sativa-Magnaporthe grisea* et stratégies de sélection de variétés de riz pourvues d'une résistance durable. IDESSA, 87 p.

VALES M., 1992c. Recurrent selection for partial rice blast resistance in Côte d'Ivoire. Congrès Eucarpia, Angers, France, 5-9/7/1992, 2 p.

VALES M, 1993a. Sélection récurrente sur familles S2 et de demi-frères. Note technique IDESSA, 3 p.

VALES M., 1993b. Strategy for rice blast resistance selection in Ivory Coast. 6e congrès international de phytopathologie 28 juillet-6 août 1993, Montréal, Canada, 1 p.

VALES M., YOBOUE N'G., Bouet A., 1995. Stratégie de sélection pour l'amélioration de la résistance au virus de la bigarrure jaune du riz à l'IDESSA en Côte d'Ivoire. First International Symposium on Rice Yellow mottle Virus. ADRAO/WARDA, Bouaké, Côte d'Ivoire, 8 p.

VALES M., RAZAFINDRAKOTO J., 1995. Rapport d'activité de l'amélioration variétale du programme riz d'altitude du FOFIFA-CIRAD. Campagne 1994-1995, 72 p.

VALES M., RAZAFINDRAKOTO J., 1996a. Rapport analytique de l'amélioration variétale du programme riz d'altitude du FOFIFA-CIRAD à Madagascar. Contre-saison 1995. FOFIFA-CIRAD, 50 p.

VALES M., RAZAFINDRAKOTO J., 1996b. De la précocité népalaise pour le riz d'altitude malgache. Point sur la recherche et le développement de la riziculture d'altitude. Atelier international FOFIFA-CIRAD à Antananarivo, Antsirabe, Madagascar, 30 mars-5 avril 1996, 9 p.

VALES M., RAZAFINDRAKOTO J., SEGUY L. 1996. Croisements pour la qualité du grain et la précocité du riz d'altitude malgache. Point sur la recherche et le développement de la riziculture d'altitude. Atelier international FOFIFA-CIRAD à Antananarivo et Antsirabe, Madagascar, 30 mars-5 avril 1996, 9 p.

POISSON C., RAKOTOARISOA J., (édit.), 1997
Riziculture d'altitude
Actes du séminaire riziculture d'altitude,
29 mars-5 avril 1996, Antananarivo, Madagascar.
Colloques, CIRAD-CA, Montpellier, France, 272 p

A case study of participatory rice breeding in Nepal

B.R. STHAPIT[1], K.D. JOSHI[1], J.R. WITCOMBE[2]
1. Lumle Agricultural Research Centre, Kaski District, PO Box 1, Pokhara, Nepal
2. Centre for Arid Zone Studies, University of Wales, Bangor, Gwynedd LL57 2UW, United Kingdom

Abstract — A case of farmer participatory plant breeding (PPB) was studied in a breeding programme of LARC (Lumle Agricultural Research Centre) for high hills of Nepal since 1992. The objectives were to examine the practicability and success of adopting PPB as a means of minimising resource use, utilising farmers knowledge, developing white-grained cold tolerant rice varieties for high altitude rice production environments and enhancing diversity of *in situ* conservation of landrace rice gene pools. Farmer participation began at the F5 stage with selection of expert farmers. Farmers selected testing sites, input levels, agronomic practices, plant types for yield potential and grain qualities. Breeder train expert farmers for the concept of heritability of specific trait under selection. A modified bulk pedigree breeding method was used. Farmers preference ranking and post-harvest evaluation were conducted through individual household survey and verified by on-farm and on-station yield trials. Breeder monitored the reasons for farmer's selection, adoption and rejection of the breeding lines and their specific circumstances. Progress of the PPB was followed over three seasons in two villages. Results show that farmers are willing to participate, and that some farmer are very skilful in making selections for their target environments. The most preferred material was Machhapuchhre-3 which was also performing well in the formal trials system. The PPB approach also allows farmers to select varieties such as Nilgiri-1 and Himchuli-2 for specific niches and increases genetic diversity which cannot easily be addressed through formal system of crop improvement.
Keywords: participatory, breeding, rice, cold tolerance.

Introduction

Rice varieties bred and released by the NRRP (National Rice Research Programme) in Nepal must pass through a highly centralized process of varietal testing, release and certification system. It takes 13 to 15 years for new cultivars to reach farmers' fields (STHAPIT, 1995). On average less than two varieties are released officially per annum for a wide range of rice ecosystems, and only 41 varieties have been released since 1966 (STHAPIT, 1995). Participatory breeding was perceived to be a means of accelerating the process. Nepal's extreme agro-ecological diversity and the specific ethnic preferences of farmers demand a large number of location and purpose specific varieties. The varietal options available to the farmers are limited and consequently adoption levels of improved rice in Nepal are very poor. This ranged from 10 to 11% in a survey of more than 1688 farming households from 11 districts of Eastern and Western Nepal (LARC, 1995; CHAMJONG *et al.*, 1995). This indicates that improved varieties do not always meet the farmers needs. Farmers' perceptions are not usualiy assessed at an early stage of evaluation (STHAPIT, 1995).

In Nepal, rice improvement programmes have been less successful in high altitude areas (> 1000 m asl) where cold injury is common, and for which limited research resources have been allocated by national and international programmes. Cold tolerant materials from the International Rice Research Institute (IRRI) at Lumle (1450 m) failed to produce grain because of incomplete panicle exsertion or spikelet sterility (STHAPIT, 1992). Nepal has a rich source of genetically diverse, cold-tolerant rice landraces but their utilisation in national breeding programmes has been limited. In 1991, the VRRC (National Variety Release and Registration Committee) released a rice variety Chhomrong Dhan (CD), a pure line selection by LARC from a coldtolerant landrace with resistance to bacterial

Sheath Brown Rot (ShBR), for high-hill areas of Nepal. This is the only officially released cultivar that is well adapted to altitudes above 1500 m. About 25 years ago this variety was introduced from an unknown location in India by an innovative farmer into Ghandruk and Chhomrong villages (> 1900 m) where rice had not been grown previously.

There were several reasons for adopting PPB. LARC did not have sufficient suitable land and resources to justify breeding on-station. There were hundreds of F_4 lines that had been grown on rented land, and the amount of rented land required to grow and screen F_5 progenies in the next year was very large. It was felt that a farmer participatory approach would be more resource efficient and provide a more relevant test of the material. Farmer were given F_5 bulk families, harvested from the most promising F_4 rows, for their evaluation in their fields. The initial success of informal systems of farmer experiments has played an important part in consolidating farmers role in breeding (STHAPIT *et al.*, 1989).

PPB can deliver the wide range of rice varieties suitable for the diverse agro-ecological and socio-economic circumstances of farmers. Conventional approaches which concentrate on grain yield and wide adaptability are not always feasible in developing countries where research resources and trained manpower are limited.

MAURYA *et al.*, (1988), GALT, (1989), SPERLING *et al.*, (1993), STHAPIT *et al.*, (1994) and JOSHI *et al.*, (1995) and WITCOMBE *et al.*, (1996) considered alternative approaches to address these problems. Traditionally, the development of rice varieties has been the task of breeders, and farmers are supposed to wait for the finished products. The objective of the programme was to examine the potential of adopting a farmer participatory approach to high altitude rice breeding as a means of minimising resource use, utilising farmers knowledge, developing suitable varieties and enhancing genetic diversity of rice gene pools.

Materials and methods

The scheme of participatory rice breeding programme for selected crosses is given in Figure 1. The approach emphasised farmers selection of segregating materials from carefully chosen crosses from the on-going high altitude breeding programme.

Identification of site

Chhomrong (2000 m) has a naturally high selection pressure for spikelet sterility caused by cold air and water and ShBR disease caused by

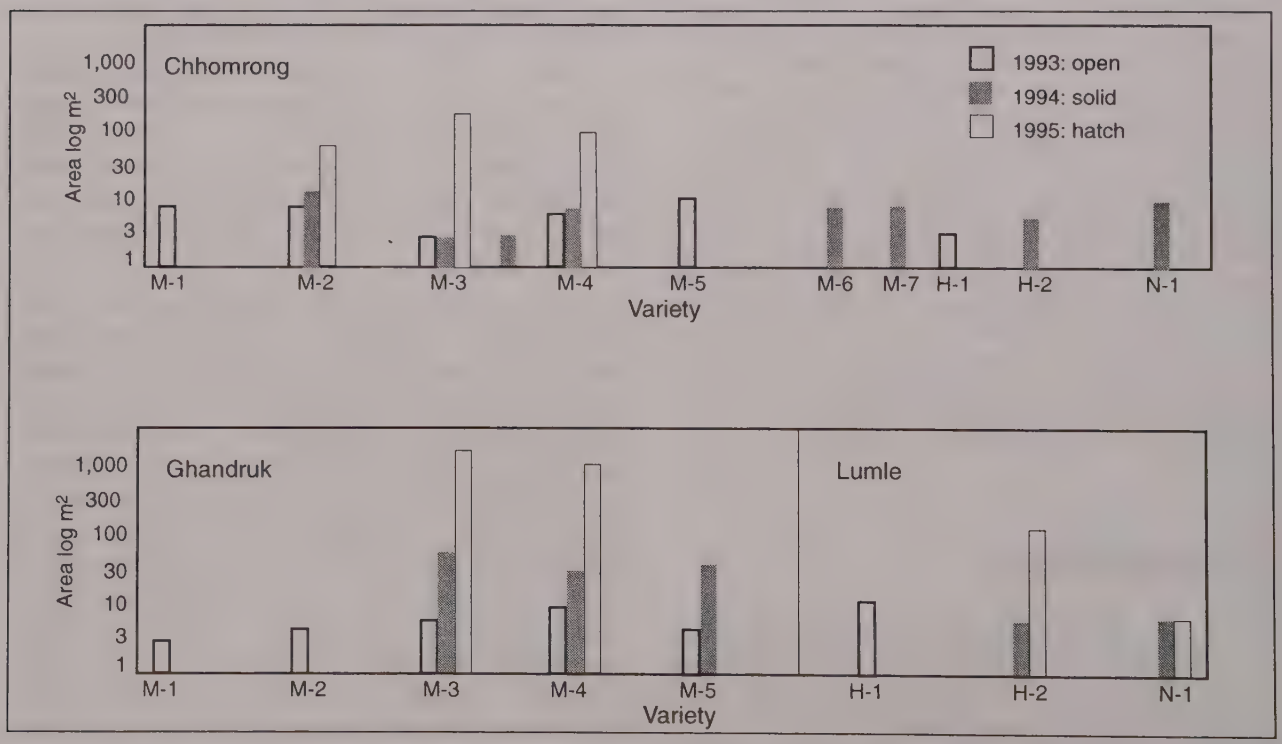


Figure 1. *The spread of farmer-preferred bulks measured by area increased (log m²) under new rice line since PPB was initiated in Chhomrong and Ghandruk villages, 1993-1995.*

Pseudomonas fuscovaginae (STHAPIT *et al.*, 1995) and blast caused by *Pyricularia oryzae* (STHAPIT, 1992). Farmers at Chhomrong were interested in the improvement of grain colour and the quality of their local rice and a good rapport between scientists and farmers had been established over many years of research by LARC in this village.

Identification of segregating materials. Several diverse crosses were used in this study (Table I). Six F_4 lines from two crosses were selected by breeders from the nursery in 1992, and the F_5 bulk rows were harvested. The selected F_5 bulk lines were given local names to make it easier to identify them in discussions with farmers. F_5 bulks had sufficient genetic variability for farmers to select genotypes particularly suited to their requirements.

In 1993, a limited quantity (20-25 g) of seeds of the F_5 bulk were distributed to the expert farmers (Table II). Additional F_5 bulks of Nilgiri-I, Himchuli-2 and Machhapuchhre-6 and Machhapuchhre-7 were included in 1994.

Identification of expert farmers

In October 1992, about 20 rice growers, including previously identified expert farmers, was organised to discuss the programme objectives. The purpose was to develop rice variety with white grain, a

Table I. Information concerning the parentage of the three crosses from which the F_5 bulks were derived.

Genotype	Sub-species	Origin	Source	Important traits
Fuji-102	*Japonica*	Japan	IRCTN	Cold tolerant, dwarf, white grain and good quality; not released in Nepal.
Chhomrong	*Japonica*	Nepal	Local selection	Multiple resistance to cold, ShBR and Blast diseases, medium plant height, red grain; released in Nepal.
K-332	?	India	IRCTN	Cold tolerant, released in Kashmir, blast resistant.
NR-10157-2B-2	*Indica*	Nepal	Breeding line	Early, cold tolerance, fine quality, not released in Nepal but sister line adopted by farmers.
Stejaree-45	*Japonica*	Russia	IRCTN	Cold tolerant, coarse grain.
IR-36	*Indica*	Philippines	IRRI	High yielding, dwarf, slender grain, white.

IRCTN = International Rice Cold Tolerance Nursery (IRRI)

Table II. Details of participatory farmers and genetic materials in the participatory breeding programme in the hills of Nepal, 1993 and 1994.

Parentage	Vernacular name	Name of the cooperating household member			
	of F_5 bulk	Chhomrong	Year[1]	Ghandruk and Lumle	Year[1]
Fuji 102 x CD	Machhapuchhre-1 (M-I)	R.B. Gurung	1993	M.K. Gurung	1993
Fuji 102 x CD	Machhapuchhre-2 (M-2)	K.B. Gurung	1993, 1994	I.B. Gurung	1993, 1994
Fuji 102 x CD	Machhapuchhre-3 (M-3)	J.B. Gurung	1993, 1994	R.B. Gurung	1993, 1994
Fuji 102 x CD	Machhapuchhre-4 (M-4)	C.B. Gurung	1993, 1994	P.B. Gurung	1993, 1994
Fuji 102 x CD	Machhapuchhre-5 (M-5)	R.K. Gurung	1993	K.M. Gurung	1993
K332 x NR10157-2B-2	Himchuli-1 (H-1)	M.B. Gurung	1993	B.B. Paudel[2]	1993
K332 x NR10157-2B-2	Himchuli-2 (H-2)	H.B. Gurung	1994	D.J. Devkota[2]	1994
Stejaree 45 x CD	Nilgiri-I (N-I)	C.B. Gurung	1994	J.N. Devkota[2]	1994
Fuji 102 x CD	Machhapuchhre-6 (M-6)	J.B. Gurung	1994	-	-
Fuji 102 x CD	Machhapuchhre-7 (M-7)	I.B. Gurung	1994	-	-
IR 36 x CD	Lumle-1 (L-1)	H.B. Gurung	1995	-	-
IR 36 x CD	Lumle-2 (L-2)	J.B. Gurung	1995	-	-

[1] : year of first participation
[2] : at Lumle

highly preferred trait by the local community. White grain was and therefore, used as a "catch phrase" to attract farmers. The role of the participant farmers and the level of their knowledge on selection and inheritance of traits was also discussed. Initially 6 farmers from Chhomrong, and 4 from Ghandruk village of VDC (Ghandruk Village Development Committee) were involved in the programme (Table II). The number of farmers was limited due to the shortage of seed in 1993, but whenever possible extra seed was distributed to farmers of adjoining or similar recommendation domains to test the extent of diffusion (Table II). Expert farmers from Chhomrong and Ghandruk villages, with knowledge and skill in rice farming, and willingness to participate in this study, were identified in 1993 with the help of the local community. Four additional participant farmers from Lumle and Sabet village were also involved in the programme.

Gender specific knowledge and perceptions were incorporated by involving both males and females from the same household in the study. Women were automatically included in the post-harvest evaluations, whereas men were more involved in pre-harvest and yield traits.

Farmers' management

The farmers were asked to grow and manage the lines according to their normal practices, except the test entries had to be maintained separately in the field and store to avoid mixing. Farmers were allowed to assess and select as per their own criteria and objectives, and the procedures were monitored and recorded by field staff. Seeding for nurseries and transplanting for all test varieties and landraces were done within a week. Signboards with the name of the variety and farmer were provided by the programme to draw the attention of non-participant farmers.

Training in plant selection

In 1993, farmers were asked to make selections in the field. At the beginning for the selection, farmers were informed that the material would segregate for traits when 2 divergent varieties are crossed, and therefore, the selection for desired traits should be done for 2 to 3 years from the F_5 bulk seed that they had been given, until the traits is fixed. Farmers were offered theoretical training on the principals of genetics and heritability, to complement their indigenous knowledge. Farmers were asked to return half of the selected seed to LARC for on-station testing, and were free to use the rest of the seed for consumption and replanting.

Farmers' preference ranking in 1993, farmers' plots were visited by a group of participant farmers and breeders, but no preference ranking was done. In 1994 and 1995, the on-farm and experimental plots at Chhomrong and Ghandruk villages were jointly monitored by participant farmers and other farmers from the villages with breeders, a socioeconomist and affiliated researchers. Each farmer's plot was labelled with the farmer's name. At the outset of a farm walk, breeder explained the purpose of the field day. Each participant farmer visited all of the plots.

After the field visit, farmers were individually asked to rank varieties from 1 (for excellent) to 7 (for worst). Farmers, with the help of researchers, listed positive and negative characteristics of each variety using an open format questionnaire. The extent of agreement among farmers, and between male and female farmers, based upon preference ranking, was assessed by KENDALL'S W (SIEGEL, 1956), a measure of the concordance among multiple judges. Rank correlation was also used to measure agreement between 2 groups of multiple judges, breeders and farmers, using Spearman's coefficient or rank correlation (STEEL and TORRIE, 1960).

On-farm yield measurement

Fields of all participant farmers were sampled by harvesting a 1 m^2 plot for grain yield measurement which was adjusted to 12% moisture content. Plant height and fresh straw yield at harvest were also recorded.

On-station yield trials

In 1994, the farmer-selected variety Machhapuchhre-3 was included in the first stage of the formal national varietal testing, the NRCTN (National Rice Cold Tolerance Nursery), which was selected by R.B. GURUNG from Ghandruk-6 in 1993, and was considered best in regard to yield potential and resistance to cold and diseases.

The NRCTN were conducted at Chhomrong (2000 m), Shera (1250 m), Khumaltar Agricultural Farm (1350 m) and Kavre Agricultural Farm (1700 m) during the rainy season of 1994. At LARC, 20 varieties supplied by NARC along with the farmers-selected Machhapuchhre-3 at Ghandruk (M-3G), 8 progenies of Fuji 102/CD, and 3 local checks were assessed for cold tolerance and yield using IRRI's standard evaluation system for rice. Trials were designed in a randomised complete

block design with two replicates at Shera and Chhomrong. At Kavre and Khumaltar, the nurseries were non-replicated and had only the 20 entries of NRCTN.

The trials were researcher-managed with standard recommended agronomic practices. The nurseries were transplanted during mid-July 1994 with the application of 60-30-20 kg NPK ha^{-1} except at Khumaltar where 100-40-30 kg NPK ha^{-1} was applied. Plot size varied from 1.2 to 4 m^2. Data on agronomic traits and disease incidence related to cold tolerance were measured. Yield data were not recorded in Khumaltar. Analyses of variance were used in the replicated trials to evaluate the significance of differences between the varieties.

Post-harvest evaluations by women farmers

Post-harvest evaluation was done 3 months after the harvest. In 1994 season, this study was carried out with only those varieties that were to be retained by the farmers for the next season. The questionnaire was designed after discussions with women farmers. Farmers milled and cooked the rice using local methods. Seven household questionnaires on post-harvest evaluation were completed.

Monitoring of varietal spread. Varietal spread was monitored with all participant farmers during 1993, 1994 and 1995. The reasons for the adoption or rejection of varieties were also recorded.

Results and discussion

Farmers' selection of site

The majority of participant farmers conducted their trial in medium fertility conditions, at altitudes from 1400 m to 2000 m. Four cases are used to illustrate the influences on farmers' decisions concerning site selection. H.B. GURUNG transplanted Himchuli-2 rice in small plot where water first enters from the channel and is at its coldest causing severe tip sterility in his local rice. His objective was to avoid risk by experimenting in the worst plot for cold water. He did not continue with Himchuli-2 as its performance was not good. Similarly, R.B. GURUNG also tried M-3 first in the worst parts of his land in the corner of high terrace which received little sunlight and was exposed to cold water. He selected a few good plants from this area and land devoted to the variety has expanded from 6 to 1250 m^2 within two years. D. DEVKOTA evaluated Himchuli-2 under highly fertile conditions. He had 0.4 ha of highly fertile rice fields and the best local varieties under these conditions such as Rakasli (2.9 t ha^{-1}) and Kathe (2.0 t ha^{-1}) were partially sterile. The most extreme example of risk aversion was J.N. DEVKOTA who transplanted Nilgiri-1 into a plot where he had never seen a rice plant produce a single grain. The plot has an inlet of cold water from the mountain stream which carries animal manure with it. Cold water in presence of high fertility induces high spikelet sterility (STHAPIT, 1992). The variety yielded 3.3 t ha^{-1} at 12% mc. Mr. DEVKOTA was excited by this unexpected result. He decided to grow NL in better land in larger areas, but later changed his mind because of the high shattering, poor straw quality, and the poor taste of N-1.

Crop performance

In Chhomrong in October 1994, 14 farmers from 10 farming households visited individual plots examining crop performance, inherent soil fertility and water sources. In 1993, most of the entries included in the participatory programme were cold tolerant, however, the performance of Himchuli-1 was not very satisfactory due to high panicle degeneration and sterility. Among the Machhapuchhre lines M-1 was very dwarf and was more sterile than Chhomrong Dhan and M-5 performed poorly so the farmers dropped them after the first year of testing. The performance of M-2 was average and therefore, farmers gave it one more chance for evaluation. From one year of testing M-3 and M-4 appeared promising and farmers retained seed of them and that of M-2 for a further test in the 1994 season.

In the 1994 season, the comparative performance of the three retained varieties from 1993, and the 4 additional varieties given in 1994 (Table II) was judged by preference ranking by the groups of male and female farmers, and breeders. The overall performance of M-3 was the best followed by M-2 and M-4. Himchuli-2 was rank worst (Table III) because of sterility and small panicles.

There was significant agreement between the evaluation scores of men and women farmers in Chhomrong village (Table III). Agreement between breeders was higher than amongst farmers but this could well be due to the small number of breeder judges. Agreement between breeders and farmers was high (0.82). This is not unexpected because the farmers were carefully chosen for their skills, and

the breeders had been exposed to farmers' preferences. Out of 14 participating farmers, 2 at Ghandruk and 3 at Chhomrong, retained seeds for further testing and evaluation (Table II).

In the 1995 season, the comparative performance of 3 retained varieties from 1994 and the 2 additional varieties given in 1995 was also judged by preference ranking by the groups of male and female farmers, and researchers (Table IV). The overall performance of M-3 was again the best and a new entry, Lumle-1 was the worst. Agreement between the groups of male and female farmers was perfect (1.0) whereas between farmers and breeders was high (0.7) except in the case of another new entry Lumle-2. It was a F_5 progenies of IR36 and CD cross with plants still segregating for grain colour and plants types. It was grown in small plots and perhaps it was unfair to compare with large plots of M-3 and sister bulks. Only one farmers recognised the potential of this population and showed interest to carry out further selection. His reasons for preference was slender grain like IR36, white and long impressive panicles with cold tolerance and plant height similar to local and M-3

Farmer-managed yield data

Grain yields and other agronomic traits were measured from a 1 m^2 sample of the on-farm plots used for the preference ranking (Table V). Single crop cut data cannot be statistically analysed and interpreted but there was good agreement between farmers' perception of the variety and crop cut results. The most-preferred, farmer-selected variety, M-3, produced a higher yield than Chhomrong Dhan that produced 4.1-6.4 t ha^{-1} in 1994 from crop cuts in 10 adjacent fields (Table V). The other test varieties yielded less than the local. Besides grain yield, the plant height and straw yield of M-3 was superior to the local

Table III. Comparative performance of rice lines under farmers-managed conditions in Chhomrong in 1994, as judged by the farmers preference ranking at the near maturity.

Variety	Preference ranking				
	Mean male farmers' n = 9	Mean female farmers' n =5	All farmers' n = 14	Breeders n = 2	Overall n = 16
Machhapuchhre-2	2	2	2	2	2
Machhapuchhre-3	1	1	1	1	1
Machhapuchhre-4	3	3	3	3	3
Machhapuchhre-6	4	6	4	3	4
Machhapuchhre-7	6	4	5	4	5
Himchuli-2	7	7	7	5	7
Nilgiri-1	5	5	6	4	6
Kendall's W*	0.81	0.83	0.67	0.96	0.77

*Kendall's W is measured on the scale 0 (no agreement) to 1 (perfect agreement)
Rank correlation (p) between male and female farmers, p = 0.82, and breeders and farmers, p = 0.82

Table IV. Comparative performance of rice lines under farmers managed in Chhomrong in 1995, as judged by the farmers preference ranking at the near maturity.

Variety	Preference ranking				
	Mean male farmers' n = 6	Mean female farmers' n = 7	All farmers' n = 13	Breeders n = 5	Overall n = 18
Machnapuchhre-2	2	2	2	2	2
Machhapuchhre-3	1	1	1	1	1
Machhapuchhre-4	3	3	3	3	3
Lumle-1	5	5	5	5	5
Lumle-2	4	4	4	2	4
Kendall's W* t	0.97	0.97	0.94	0.95	0.85

*Kendall's W is measured on the scale 0 (no agreement) to 1 (perfect agreement)
Rank correlation (p) between male and female farmers, p = 1.0, and breeders and farmers, p = 0.70

In 1995 season, there were no significant differences observed between crop cut yields of M-3 with CD but M-3 was significantly superior to M-2 and M-4 (Table X). Difference in grain quality, and fodder quality with addition of genetic variation with the location was the obvious advantages.

Farmers methods of plant selection

Farmers used various criteria to select the best plants. At maturity some farmers selected for grain colour without considering plant height or how early the plants matured. This resulted in an

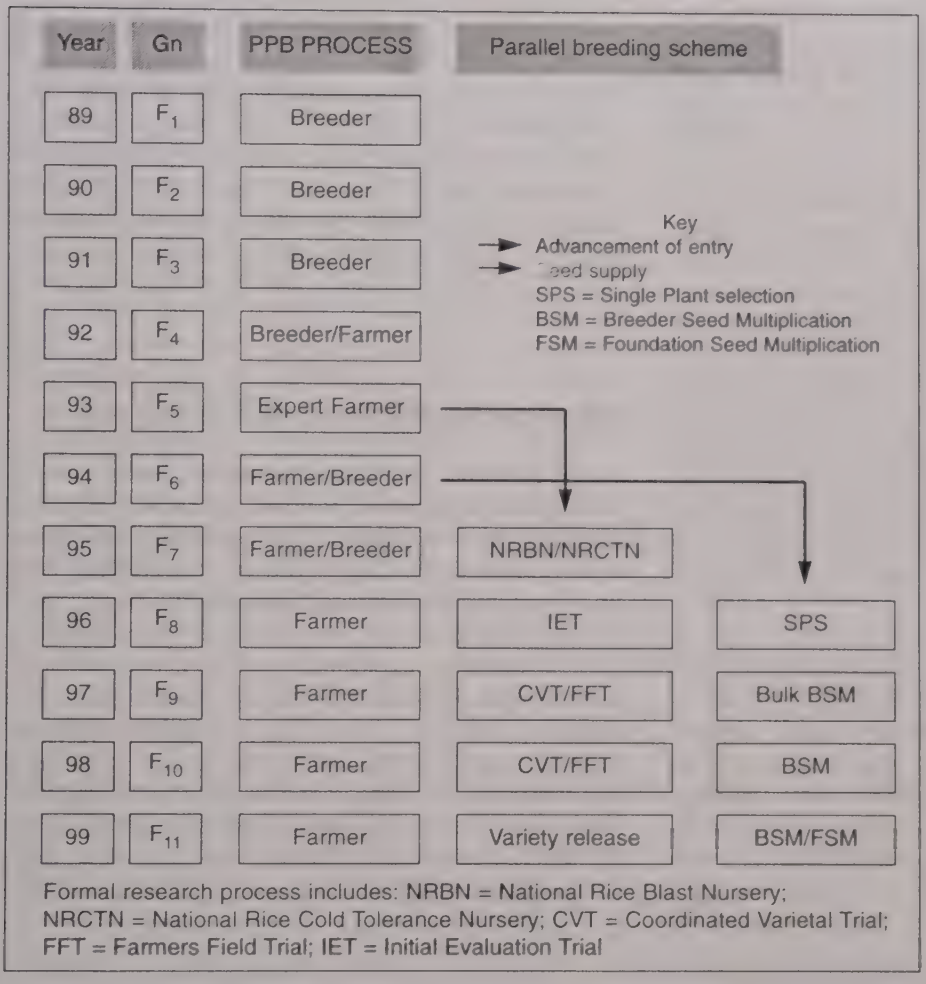


Figure 2. *Detailed description of participatory plant breeding using a parallel breeding scheme.*

Table V. Grain yield and other agronomic traits measured from 1 m^2 (crop cut) from farmers fields at Chhomrong and Ghandruk (1700-2000 m), 1994.

Variety	Grain yield (t ha^{-1}) at 12% mc		Plant height (cm)		Straw yield (t ha^{-1}) at harvest		Tiller No $plant^{-1}$	
	Chhomrong	Ghandruk	Chhomrong	Ghandruk	Chhomrong	Ghandruk	Chhomrong	Ghandruk
Machhapuchhre-2	5.22 (6.35)[1]	-	1.16 (1.18)		20.0 (18)	-	8.0 (5)	-
Machhapuchhre-3	6.35 (5.06)	6.50 (6.50)	1.23 (1.10)	1.30 (1.19)	24.0 (17)	29.0 (24.0)	6.7 (4)	7.0 (2.5)
Machhapuchhre-4	3.55 (5.06)	3.35 (3.03)	1.14 (1.16)	1.18 (1.20)	11.2 (25)	9.2 (10.0)	5.6 (5)	6.2 (3.0)
Machhapuchhre-6	3.14 (4.09)	-	1.00 (1.16)	-	5.0 (5)	-	5.2 (6)	-
Machhapuchhre-7	3.23 (4.72)	-	1 11 (1.20)		16.0 (11)	-	6.0 (4)	-
Himchuli-2	1.43 (5.06)	-	1.17 (1.25)		20.0 (26)	-	4.0 (5)	-
Nilgiri-1	3.52 (5.06)	-	1.10 (1.06)		18.0 (18)	-	5.6 (5)	-
Mean	3 77 (5 05)		1.13 (1.16)		16.3 (17)		5.8 (5)	

[1] Figures in parenthesis represent grain yield data of Chhomrong local grown adjacent to a test variety, n = 1

unimpressive crop in the next year with a segregating population. Others only bulked seeds from plants of similar plant height, maturity time and grain colour. Apart from grain colour, farmers' criteria for selecting plants were that they should have long, compact and drooping panicles, good grain setting, and freedom from Sheath Brown Rot (ShBR) disease.

For example, M.B. GURUNG selected M-3 plants with intermediate height, compact panicles and filled grains, and selected plants where the flag leaves remained green after maturity, as he thought the straw quality of such plants would be better. He also considered the maturity of the test plants in comparison to the local that was grown alongside. P.B. GURUNG firstly removed undesirable plants; that were too dwarf, too tall or diseased. He then selected panicles from white-grained plants with high grain density and long panicles. He is a retired livestock field officer of LARC, who has some knowledge of selection and heritability. Another farmer, R.B. GURUNG, who tested M-3 in the worst plots of his land, harvested the best tall plants. He examined the grain colour of each selected plant and bulked the seed from those plants with whitegrained panicles. He planted this seed in 1994 in his best field.

The major criteria for plant selecting in the field were grain colour, yield, plant height, and maturity relative to local. Besides grain yield, farmers considered how densely grain has set in a panicle, panicle length and tillering ability. If the overall appearance of an entry was poor then farmers rarely bothered to select the few best plants from it. Single plant selection was usually done in plots that were generally considered to be superior. Farmers showed willingness to spare time and care in selection, though the degree of care and time increased in the third year of participation after they had appreciated the potential value of the exercise in the first two years.

In 1995 harvesting time, R.B. GURUNG isolated two populations from his M-3G plots; one early and another late maturing types to spread harvesting time of M-3G. He and his wife spent days in the field to select individual panicle for maturity time and grain colour to make sure that all selected panicles have white grain. In 1995, P.B. GURUNG asked some seeds from R.B. GURUNG and tested under upland rainfed conditions which he found satisfying and wants to replace M-4 with his new find.

Monitoring of spread and biodiversity

Good varieties selected by farmers have spread substantially within 2 years of their introduction (Figure 3). M.B. GURUNG, who got half of the seed from his friend J.B. GURUNG, successfully selected from M-3 (his selection is identified as M-3C) and he has increased the area under it from 3 m^2 to 150 m^2 within a year. Similarly, R.B. GURUNG also selected M-3 (identified as M-3G) and increased the area from his 6 m^2 plot to 50 m^2 in 1994, and has sown a nursery for 1995 for about 1250 m^2 (Figure 3). This variety occupied 2.5% of his rice fields after the first year of selection and 62.5% after the second. Farmers from both villages from similar ethnic groups and farming backgrounds selected

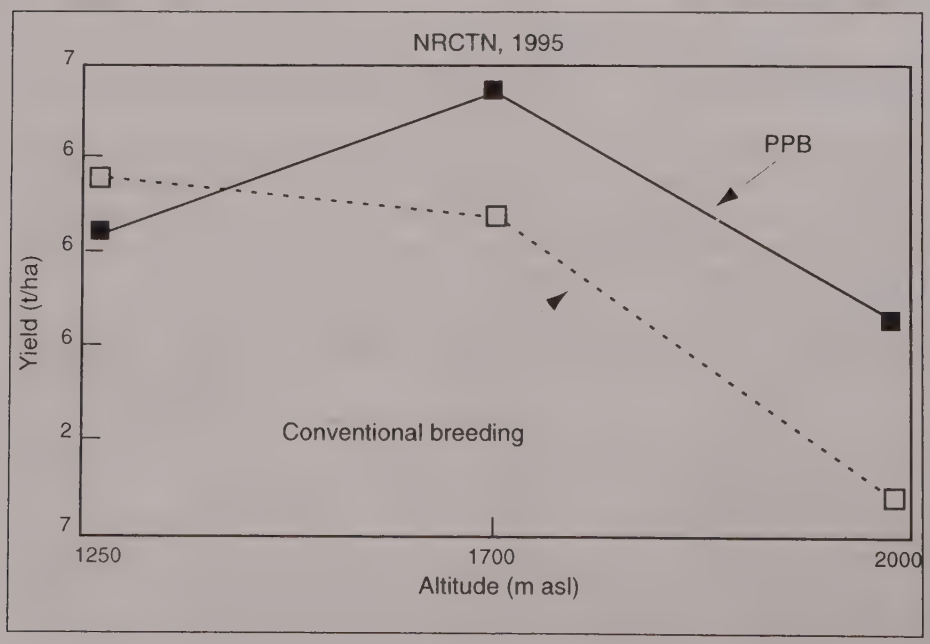


Figure 3. *Comparison of conventional and participatory plant breeding in Nepal.*

two different varieties, M-3C and M-3G, from the same F_5 bulk seed. The F_5 bulk seed of the Fuji 102 x CD cross had important genetic variation which farmers selected in different ways. PPB has allowed farmers to produce biodiversity in fields where only CD has been grown for the last 25-30 years.

Farmers' perception of the programme

At the beginning of the programme, farmers were not very enthusiastic. They were accustomed to conventional, labour-intensive researcher managed on-farm trials. However, farmers' participation increased as the programme progressed and they saw encouraging results. Comments made during field visits and reflect the satisfaction of the participant farmers (Table VI). P. SHRESTHA, a LARC staff member involved in the programme reported that, "In the beginning it was very difficult to find a farmer willing to participate but now the whole community is willing to offer their help" In 1995, village workshop in which a group of 35 farmers attended made it very clear that they wanted the PPB programme to continue when ODA advisors visited the place.

Post-harvest assessment by women farmers

Women farmers said they would like to decide which were the best varieties after post-harvest evaluation. They used several qualitative criteria to assess the quality of rice (Tables VII and VIII). Varieties M-6 and M-7 scored poorly for several traits, while M-2, M-3 and M-4 were liked for most traits. Farmers were willing to expand the area under M-2, M-3 and M-4. In Chhomrong, consumers preferred white-grained rice over red-pericarped rice as it saves women time in milling (Table VI, comment 2). The post-harvest evaluation is the ultimate criterion upon which farmers either reject or adopt the varieties. For example, J.N. Devkota was very impressed with the yield of Nilgiri-1 but decided not to grow it outside his problem plots because of its poor taste.

The milling percentage of all the rice varieties was generally poor — 40 to 56% by volume with 1.3 to 5% broken rice (Table VII). Farmers considered 50% milling recovery acceptable. M-4 had the highest milling recovery (56%) with the lowest percentage of broken rice and was easier and quicker to mill by *Dhiki* (local method of dehusking which is usually

Table VI. Farmers' perceptions of the participatory breeding programme for white-grained rice in Chhomrong and Ghandruk, 1994.

Location	Date	Gender	Size of group	Comments
Chhomrong	7 October 1994	Male	9	"Any rice variety that grows at this altitude is good. We need a vanety which yields more and gives more straw. If variety has white grain colour it is a bonus. We will further select the plants to grow in larger plots next year."
Chhomrong	7 October 1994	Female	5	"If we can change our local rice into white grain rice it will save a lot of our (women) time. We spend one to two hour extra time to dehusk rice until we get white grain." "Machhapuchhre-3 has both more grain and more straw. It has long panicles and grains are plenty. It matures with local and plant is taller If it tastes good I would like to continue this variety."
Ghandruk	9 October 1994	Male	1	"In the beginning, I was not interested to involve myself but when LARC scientists told me that it has white grain then I became curious. I first tried in worst parts of my land. I saw tall plants producing really good panicle. I selected all best plant with white grain and maturity similar to our local variety. This year it looks really good and better than last year Now I am happy to grow in all my plots. I have no plan to share the seeds until I fullfill my requirement."

done by 2 women working together) as it has very thin husk cover. P.B. GURUNG was so impressed with this that he planted all the seed of M-4 he had, both selected and unselected. Milling recovery of the other cultivars did not differ significantly from the local variety. The best panicles selected by farmers were kept for seed whereas the grains from the late tillers and small panicles were used for the post-harvest evaluation. This resulted in a relatively lower milling percentage and a high proportion of broken rice. Farmers, therefore, believed that a variety with a similar milling percentage to the check variety should have better recovery if the best panicles had been evaluated. Farmers were reluctant to continue with M-7 as its milling recovery was quite poor (40%) (Table VII). M-6, which performed reasonably in the field, was rejected by farmers because of the peculiar smell of the cooked rice. In 1996, women farmers again assessed post harvest quality of various rice in large quantity. M-3C was found superior in milling as compared to M-3G (Table VIII). M-4 continued to score the highest milling (57%).

Table VIII. Post-harvest assessment[+] of various rice varieties measured relative to local check (Chhomrong Dhan) at Chhomrong and Ghandruk, 1995.

Traits[++]	M-2	M-3C	M-3G	M-4
Milling %	50.0	55.4	51.3	57.1
Broken rice %	2.0	1.6	6.3	1.1
Water-absorbance capacity	=	+	+	+
Elongation capacity	=	+	+	+
Aroma	+	-	-	-
Dryness	+	+	+	+
Stickiness	=	-	-	-
Taste	+	+	+	+
Appetite delay	=	+	=	=

[+] Assessment was done by farmers after cooking in their own way and relative to check variety Chhomrong Dhan.
[++] Better than local check,
= Equivalent to local check,
- Inferior to local check

On-station yield trial

The performance of farmers' selected varieties were compared in on station yield trials to varieties bred through centralized breeding programmes. These trials could be used to validate participatory onfarm data with on-station data to satisfy the variety release regulations. At Chhomrong, M-3 performed at par with the check variety CD ($P > 0.05$) (Table IX). Both varieties showed better resistance to ShBR disease (Table IX) and cold at anthesis. At Kavre, farmer-selected M-3 out-yielded the check CD (5.4 t/ha). It also out-yielded other superior local varieties known for their better cold tolerance in Nepal (Table IX). M-3 also showed a comparable incidence of ShBR and neck blast under natural inoculum pressure as compared to most breeder selected varieties. One of the farmer-selected rice varieties M-3G (Machhapuchhre-3 Ghandruk) has now been multiplied and included in the national varieties testing system of the NARC (1994) (Table X). It is now promoted to Initial Evaluation Trial (IET) as a promising entry. It was selected by breeders up

Table VII. Post-harvest assessment[+] of various rice varieties measured relative to local check (Chhomrong Dhan) at Chhomrong, 1994.

Traits[++]	M-2	M-3	M-4	M-6	M-7
Milling %	50.0	45.0	56.0	45.0	40.0
Broken rice %	1.9	5.0	1.3	5.0	5.0
Water-absorbance capacity	+	+	+	-	+
Elongation capacity	+	=	+	-	+
Aroma	+	-	-	-	-
Dryness	+	+	+	+	+
Stickiness	+	+	+	+	+
Taste	+	+	+	+	+
Appetite delay	+	+	+	+	+

[+] Assessment was done by farmers after cooking in their own way and relative to check variety Chhomrong Dhan. Asterisk (*) indicates peculiar aroma of rice which was not preferred by farmers.
[++] Better than local check,
= Equivalent to local check,
- Inferior to local check

Table IX. Comparative performance of Machhapuchhre-3 with the mean yield of best yielders from CBM of other local rice varieties in NRCTN during 1994 summer at Shera (1250 m), Kavre (1700 m) and Chhomrong (2000 m) under researcher-managed conditions.

Variety	Grain yield (t ha^{-1})			Days to 50% heading			Plant height (cm)			ShBR* (%)		
	1250 m	1700 m	2000 m	1250 m	1700 m	2000 m	1250 m	1700 m	2000 m	1250 m	1700 m	2000 m
M-3 (W)	5.2	6.7	4.3	96	118	156	120	136	119	11	10	2
CD (R)	6.1	5.4	4.9	91	105	147	130	116	127	4	12	5
Darmali (W)	1.9	5.0	0	111	123	180	137	116	129	5	4	2
Jumli Marshi (W)	1.6	6.0	2.7	90	145	131	119	109	141	13	36	12
CBM**												
Best (n = 5)	5.8 ± 0.38	5.4 ± 1.1	2.4 ± 0.5	99.0 ± 2.1	117.0 ± 4.8	151.0 ± 5.7	133.0 ± 4.0	100.0 ± 3.3	124.0 ± 5.9	5.8 ± 2.2	15.2 ± 3.6	8.5 ± 2.5
Overall (n = 10)	4.7 ± 0.4	3.9 ± 0.8	0.5 ± 0.3	94 ± 2.2	115 ± 2.0	154 ± 3.5	127 ± 4.0	101 ± 2.9	105 ± 4.9	5.7 ± 1.2	17.1 ± 2.9	19.4 ± 8.0
Mean	4.1 ± 0.21	-	2.2 ± 0.3	134 ± 0.6	-	186 ± 1.2	129 ± 1.5	-	121 ± 2.4	7.0 ± 0.7	-	11.9 ± 2.2
SE for variety	1.03	-	0.87	1.94	-	1.88	7.87		7.8	4.38	-	14.4

* Bacterial Sheath Brown Rot disease in incidence (%) at maturity

** CBM = Conventional breeding method i.e., NARC selection from IRRI nurseries and NARC breeding materials (mean of best five entries). CD, Darmali and Jumli Marshi are standard local check varieties. R = Red grain and W = White grain

Table X. Grain yield and other agronomic traits measured from 1 m^2 (crop cut n = 3) from farmers fields at Chhomrong and Ghandruk (1700-2000 m), 1995.

Variety	Farmer	Grain Yield (t/ha) at 12% mc	
		Chhomrong	Ghandruk
Machhapuchhre-3	1	5.24 ± 0.05 (5.15 ± 0.03)[1]	5.8 ± 0.11 (6.4 ± 0.58)
	2	6.21 ± 0.19 (6.10 ± 0.35)	3.5 ± 0.21 (3.6 ± 0.26)
	3		3.7 ± 0.01 (2.6 ± 0.02)
Machhapuchhre-4	1	4.79 ± 0.16 (5.71 ± 0.25)	3.3 ± 0.01 (2.6 ± 0.02)
	2	3.99 ± 0.11 (4.93 ± 0.42)	

to the F_4 for cold tolerance and ShBR resistance by the pedigree-bulk method of selection.

According to the standard evaluation system for rice (IRRI, 1988), varieties receiving a rating between 1 and 3 are considered desirable for parental sources, and for commercial varieties. At Khumaltar, the farmer-selected variety M-3G was evaluated and showed a scored of 1 for cold tolerance and phenotypic acceptability (data not shown). At Shera, the yield performance of a farmer-selected variety was superior to other white-grained local cultivars.

Conclusions

Many workers have advocated decentralization of research policy (MAURYA *et al.*, 1988; FARRINGTON and MARTIN, 1988; GALT, 1989; JOSHI and STHAPIT, 1990; ASHBY and SPERLING, 1994; SPERLING *et al.*, 1993; STHAPIT *et al.* 1994; JOSHI and WITCOMBE, 1996, WITCOMBE *et al.*, 1996). It is well documented that formal research system in developing countries is highly centralized and does not reflect the problems of resource-poor farmers. Poor adoption of officially released rice varieties in India (MAURYA *et al.*, 1988; JOSHI and WITCOMBE, 1996) and Nepal (LARC, 1995, STHAPIT, 1995; CHEMJONG *et al.*, 1995) is evidence of this. The slowness of the formal producers, their capacity to generate only a few new varieties every year against the need of farmers for a basket of varieties to address diverse and complex farming systems has encouraged the LARC to try alternative, participatory methods

This is the first well-documented example of participatory plant breeding (PPB). It has successfully produced excellent cultivars which are spreading in farmers' fields. In a conventional breeding system, material such as M-3G and M-3C

would have still been in every preliminary stage of varietal screening in very small plots and still at least 7 years away from being given to farmers for them to grow in minikit tests. Even if time is allowed to select for greates uniformity in a farmers' cultivar to satisfy seed certification requirements, a release proposal can be submitted three years earlier than in the conventional system.

The rate at which the area of cultivation of selected cultivars has increased has been high in the first three years. This compares with the conventional system where there is a long period, typically 5-6 years, before appreciable adoption occurs (MORRIS *et al.*, 1992). Some farmers have already started distributing seed of the preferred varieties to other farmers. We anticipate that M-3G will be widely cultivated in domains similar to Ghandruk and Chhomrong by the time the variety is released through the formal system.

This work shows for the first time, that a farmer-selected variety cannot only be farmer acceptable but also yield well in the formal varietal testing system. This is in part, due to the trials system having test locations appropriately situated and trial arrangement that does not differ too radically from farmers' management.

A large number of exotic, cold-tolerant rice varieties have been supplied from IRRI through the IRCTN (International Rice Cold Tolerance Nursery) and many have been included in the NRCTN (National Rice Cold Tolerance Nursery). This nurseries was evaluated at Chhomrong and the majority of the entries failed to set grain in high altitude villages (STHAPIT, 1992). In comparison, the varieties developed jointly with farmers were far superior and outperformed the best entries from the conventional system (Table VIII). The advantage of using locally adapted parents and selection in the target environment can be seen over the introduction of international nurseries. PPB is found to be resource efficient, problem oriented research where the role of farmers is not merely limited to providing land and supplying labour and is aimed at directly decentralising a variety evaluation process.

There were significant differences among farmers' and researchers' strategies for site selection of testing. It is a common practice in formal research system to use good, uniform land for trials, rather than to select for the target environment. In contrast, farmers avoid risk by first testing the materials on their worst land (stressed environments) and then grow the variety in better fields. CECCARELLI (1989) suggested that when the stress environment has a much lower yield potential, direct selection in the environment is the most efficient breeding strategy. PPB is more likely to produce varieties adapted to specific agro-ecological niches.

The farmer strategies show how difficult it is to present heterogeneous environments of farmers' field conditions in uniform onstation conditions. Any cultivar from the centralised system will first have to pass the test of being grown in the nearest fields. The farmer strategies also show that they are not exposed to unjustified risk, which is a common criticism of participatory approaches. Decentralising the selections of site, management, and variety has helped to generate useful information about the specific requirement of farmers, which formal research cannot afford to consider.

Farmer methods of plant selection varied with the farmers own expert knowledge and circumstances. The segregating line of Machhapuchhre-3 was given to three farmers but only 2 of them succeeded in selecting superior types. Farmers who failed to identify superior types from the same F_5 seed had just concentrated on mass selection for grain colour. Therefore, as LOEVINSOHN and SPERLING (1995) suggest, a basis of collaboration can be found once the respective strengths of the two parties are recognised. The study found that expert farmers could be identified within a year of preliminary work.

Women farmers were particularly skilful in assessing post-harvest traits such as milling recovery, cooking and eating quality of rice. Mean farmers showed more skill in the assessment of standing crops for yield potential, management requirement and threshing criteria. Breeders and field staff need to interact with farmers frequently and stay in the village for a considerable time in order to identify such gender differences, and any differences between groups in the village.

Farmers evaluate new varieties at different stages of crop growth, particularly near to maturity and also at threshing, milling and consumption. Monitoring indicated that farmers continually change their decisions with the availability of new information. At present, farmers involvement in formal variety testing in Nepal is limited to preference ranking at maturity, but, most of farmers make the final decision of retaining or rejecting the variety after milling, cooking and eating. For example, the area under M-4 expanded due to its good milling recovery whereas M-2 was rejected due to its peculiar smell when cooked. M-3 was preferred at all stages because of its yield potential and straw height. Nilgiri-1 was first selected by a farmer in Lumle village, who later rejected his plan to expand the variety in the remaining good fields, because of high shattering and poor taste. In the end, he wished to grow it only in one plot where an inlet of cold

stream-water causes high sterility. Himchuli-2 was rejected by farmers at Chhomrong, Ghandruk and Lumle where rainfall is very high at the time of maturity and causes pre-germination before harvest. In contrast, Himchuli-2 was liked by farmers of Patlekhet village (1500-1700 m), where rainfall and humidity at maturity is less. In Lumle, the mother of D. DEVKOTA selected non-sprouted panicles and planted the seed from them in a 100 m^2 area to see whether the problem of sprouting would continue. Such examples support the decentralisation of selection and should be disseminated to outreach or extension staff.

The study also found that high altitude farmers have their own way to assess the eating and cooking quality of rice. Rice with soft white grain, with ability to expand after cooking is preferred. Whether these criteria can be related to standard grain quality testing procedures needs to be investigated, in order to use this method more frequently in such breeding programmes. The present varietal testing systems do not have mechanisms to consider farmer relevant traits such as post-harvest varietal qualities. Laboratory measurement of such grain quality traits are important as these are important criteria for selection or rejection of varieties by farmers. Grain quality is often not assessed in the formal varietal testing system of Nepal until it reaches to final stage of release (STHAPIT, 1995).

As anticipated PPB can increase biodiversity (WITCOMBE *et al.*, 1996). Varietal diversification has been achieved within 3 years and a dynamic form of genetic diversity will persist as farmers select plants for specific niches. Although phenotypically cultivars derived from the same F_5 bulks may look similar they may contain significantly different latent genetic variation with the population (BERG *et al.*, 1991). This approach has resulted in a dynamic form of in-situ genetic conservation of biodiversity by involving farmers and using materials generated from landrace x exotic crosses (WITCOMBE *et al.*, 1996)

The decentralised selection of segregating material from a few carefully chosen crosses, draws on the active participation of expert farmers, and presents an attractive prospect for fostering a more sustainable and productive agriculture for diverse risk-prone environments. This would consequently lead to identifying farmer needbased technologies in a cost effective manner. This new approach could be of considerable significance in developing other crop varieties suitable for diverse and complex situations. The prerequisite of the method is that objective be clearly identified and breeders be flexible enough to learn and reciprocate with the farmers

As ASHBY and SPERLING (1994) anticipated, the institutionalisation of accountable sharing of decentralising technology development is the most challenging issue. However, PPB has already been institutionalised within Nepal on the basis of the work reported in this paper. If the success of these initial efforts is to be sustained, research management should ensure a congenial environment for field staff who work in difficult areas. This is often forgotten by policy makers or research managers, who have tried to replicate successful and innovative approaches from elsewhere.

Acknowledgments

Authors are thankful to all the participants farmers of the rice breeding programme in different parts of the LARC Research Command Area, who have contributed to the success of this approach. We are grateful to Pitamber SHRESTHA and Mahendra CHAUDHARY of the Crop Science Section for their technical assistance.

Lumle Agricultural Research Centre is funded by the ODA (Overseas Development Administration) of the British Government, and works in close collaboration with HMGN (His Majesty's Government of Nepal). The support of both government is gratefully acknowledged.

References

ASHBY J.A., SPERLING L., 1994. Institutionalising participatory, client-driven research and technology development in agriculture. ODI Network Paper 49. London, UK. ODI Agricultural Administration (Research and Extension) Network, p. 19.

BERG T., BJORNSTAD A., FOWLER C., SKROPPA T., 1991. Towards an integrated plant breeding. *In* Technology options and the gene struggle. A report to the NAVF (Norwegian Research Council for Science and Humanities), Oslo, Norway. Agricultural University of Norway, p. 128-141.

CECCARELLI S., 1989. Wide adaptation: How wide? Euphytica 40: 197-205.

CHEMJONG P.B., BARAL B.H., THAKURI K.C., NEUPANE P.R., NEUPANE R.K., UPADHAYA M.P., 1995. The impact of Pakhribas Agricultural Centre research in the Eastern Hills of Nepal: Farmer adoption of nine agricultural technology. Dhankuta, Nepal, Pakhribas Agricultural Centre, 102 p.

FARRINGTON J., MARTIN A., 1988. Farmer participation in agricultural research: a review of concepts and practices. ODI Occasional Paper 9 London, UK. ODI, p. 79.

GALT D., 1989. Joining FSR to commodity programme breeding efforts earlier: Increasing plant breeding efficiency in Nepal. ODI Network Paper 8., p. 195-206.

JOSHI A., WITCOMBE J. R., 1996. Farmer participatory cultivar improvement II: Participatory varietal selection in India. Experimental Agriculture, 32 : 461-478.

JOSHI K.D., RANA R.B., SUBEDI M., KADAYAT K.B., STHAPIT B.R., 1995. Addressing diversity through farmer participatory variety testing and dissemination approach: A case study of Chaite rice in the Western Hills of Nepal. LARC Seminar Paper No. 95/5 Pokhara, Nepal, Lumle Agricultural Research Centre, 20 p.

JOSHI K.D., STHAPIT B.R., 1990. Informal research and development (IRD): a new approach to research and extension. LARC Discussion Paper No. 90/4 Pokhara, Nepal, Lumle Agricultural Research Centre, 116 p.

LARC, 1995. The adoption and diffusion and incremental benefits of fifteen technologies for crops, horticulture, livestock and forestry in the Western Hills of Nepal. LARC Occasional Paper 95/1 Pokhara, Nepal, Lumle Agricultural Research Centre, 69 p.

LOEVINSOHN M.E., SPERLING L., 1995. Using diversity: Conserving crop genetic resources by meeting farmers' needs. Paper presented at the National Seminar on Biodiversity Conservation Patna, Bihar, India: Asian Development Research Institute. Feb. 18-19, 1995.

MAURYA D.M., BOTTRALL A., FARRINGTON J., 1988. Improved livelihoods, genetic diversity and farmer participation: A strategy for rice breeding in rainfed areas of India. Experimental Agriculture 24: 311-320.

MORRIS M.L., DUBIN J.H., POKHREL T., 1992. Returns to Wheat Research in Nepal. CIMMYT Economics Working Paper 92-04, Mexico, CIMMYT, 25 p.

SIEGEL S., 1956. Non-parametric statistics for the behavioral sciences. Tokyo: McGraw-Hill Kogakusha, 250 p.

SPERLING L., LOEVINSOHN M.E., NTABOMVRA B., 1993. Rethinking the farmer's role in plant breeding: Local bean experts and on-station selection in Rwanda. Experimental Agriculture 29: 509-519.

STEEL R.G.D., TORRIE J.H., 1960. Principles and procedures of statistics with special reference to the biological sciences London, UK, McGrawHill Book Com. Inc, 385 p.

STHAPIT B.R., DHITAL B.K., JOSHI K.D., GURUNG J., 1989. Achievements of farmer participation in agricultural research: A case study of an early rice variety NR 10158-2B-2. Prabidhi Sangalo (Nep) 4(2): 1.

STHAPIT B.R., 1992. Chilling injury of rice crop in Nepal: A review. J. Inst. Agric. Anim. Sci. 13: 1-32.

STHAPIT B .R., JOSHI K.D., SUBEDI K.D., 1994. Consolidating farmers role in plant breeding: A proposal for developing cold tolerant rice varieties for the Hills of Nepal. LARC Discussion Paper No. 94/1 Pokhara, Nepal, Lumle Agricultural Research Centre, 16 p.

STHAPIT B.R., 1995. Variety testing, selection, and release system for rice and wheat crops in Nepal. Seed Regulatory Frame Works: Nepal. UK, ODI/UK, CAZS/Pokhara, Nepal, Lumle Agricultural Research Centre, 54 p.

STHAPIT B.R., PRADHANANG P.M., WITCOMBE J.R., 1995. Inheritance and selection of field resistance to Sheath brown rot disease in rice. Plant Disease, 79 (11): 1140-1144.

WITCOMBE J. R., JOSHI A., JOSHI K. O., STHAPIT B. R., 1996. Farmer participatory cultivar improvement. I. Methods for varietal selection and breeding and their impact on biodiversity. Experimental Agriculture, 32 : 445-460.

POISSON C., RAKOTOARISOA J., (édit.), 1997
Riziculture d'altitude
Actes du séminaire riziculture d'altitude
29 mars-5 avril 1996, Antananarivo, Madagascar
Colloques, CIRAD-CA, Montpellier, France, 272 p.

Genealogical analysis of IRAT upland rice varieties

HU FENGYI, TAO DAYUN, YANG GUIFEN, YANG JIANGYI
Food Crops Research Institute, Yunnan Academy of Agricultural Sciences, Kunming 650205,
The Peoples's Republic of China

Abstract — Totally, 164 upland rice varieties were bred by IRAT (Research Institute for Tropical Agriculture and Food Crops, now CIRAD-CA) from 1963 to 1992, among which 59% was *japonica* rice, pureline selection and hybridization were major breeding methods. Genealogical analysis indicated that 63-83, Moroberekan and IAC 25 were the core parents. Among 40 diversified cytoplasm resources, 63-83 played remarkable role.
Keywords: core parent, genealogy, cytoplasm, upland rice, IRAT.

From 1962 to 1992, CIRAD (International Centre of Agronomic Research for Development, France) had bred 208 different cultivars from IRAT 2 to IRAT 380, among which 164 were upland rice and other 44 varieties belonged to irrigated, floating or rainfed lowland type. Among 164 upland rice varieties, 59% was *japonica* rice. Because of so many upland rice cultivars bred, long breeding history and great role of IRAT upland rice on production and breeding over the world, it is necessary to analyse the genealogy of IRAT upland rice varieties so as to utilize them better and improve present breeding efficiently.

Materials and methods

Based upon information of CIRAD-CA varieties descriptive forms, Rice, supplied by Seeds laboratory, CIRAD-CA, September 1993, genealogical relationship, situation of parents utilization and cytoplasmic resources were systematically analysed. In order to analyse conveniently, four breeding periods were divided : I (19621975), II (1976-1980), III (1981-1985), IV (1986-1992).

Results

Situation of parents utilization and breeding method

First, it is obvious that the breeding process was actually the utilizing course of parents. From I to IV, compared with variety number bred, there was a course of used parents of rising-decling-rising again, which explained that the course of using parents was a process of fumbling, establishing and fumbling again. During the course, some parents which played great role, named core parents, were firmly established.

Second, bred cultivar number was much more than the cross combination number, which indicated that among the bred IRAT varieties, there existed much more sisters lines, such as IRAT 107, IRAT 108, IRAT 109, IRAT 110, IRAT 111, IRAT 133, IRAT 134, IRAT 141 and IRAT 142 all from the same combination IRAT 13/IRAT 10.

Third, as to breeding method, single cross and pedigree breeding played dominant role among the bred varieties, several varieties were bred by haplomethod breeding, mutation breeding or pureline selection.

Core parents analysis

Among the 164 varieties bred, only 68 different parents were used and 63-83, Moroberekan, IRAT 10, Dourado Précoce, IAC 25, Daniela, Makouto had great contribution to the genetic composition of IRAT upland rice varieties

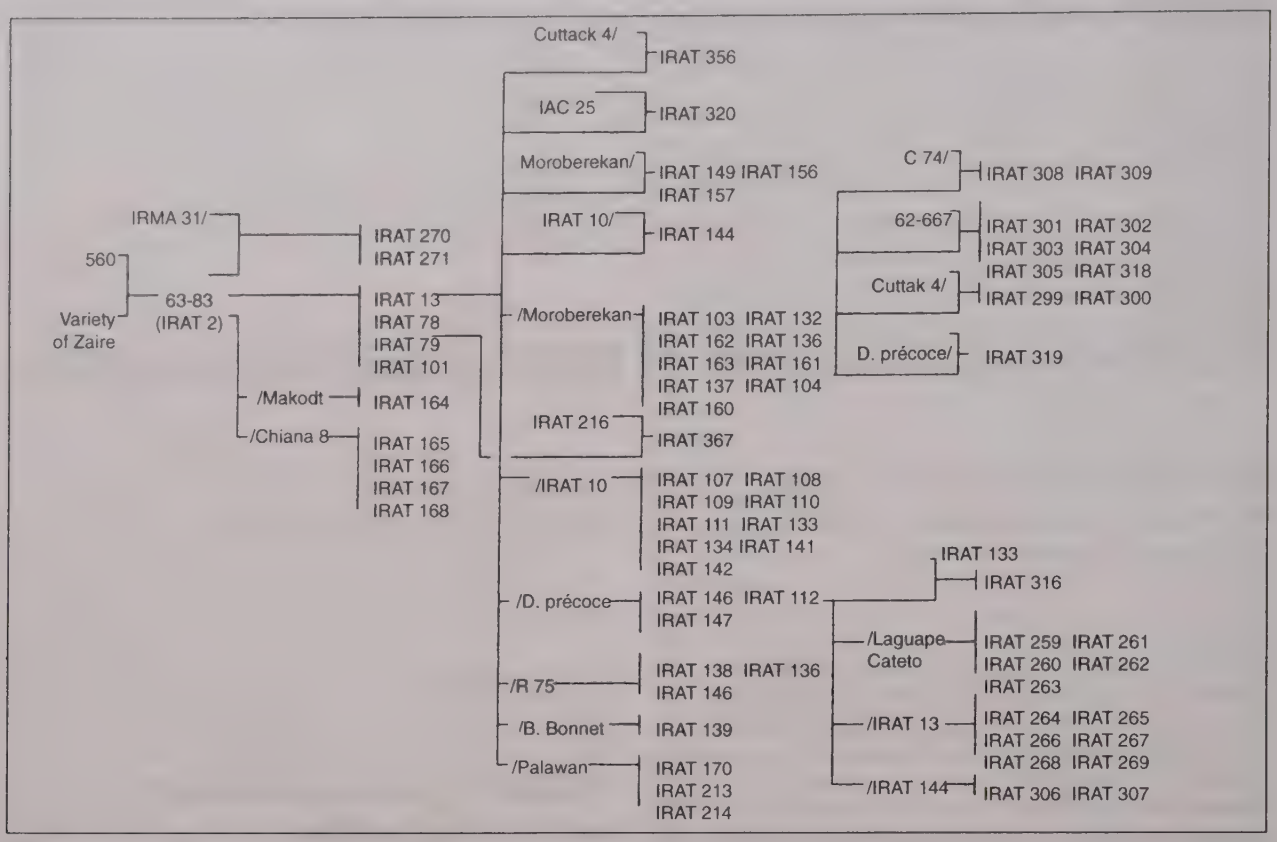


Figure 1. *Varieties genealogy of IAC 25 derivative.*

and more than half of IRAT varieties was from mutation, derivative or evolution of 7 core parents. 63-83, Moroberekan and IAC 25 played important role in the whole period. For instance, five generations and 77 varieties were derived from 63-83.

Forming course of IRAT core parents was a seeking for course. During period I, 9 varieties bred were from 8 cross combinations made from 13 different parents. And during period II, 39 bred varieties were only from 13 combinations made from 11 different parents. From I to II, core parents position of 63-83 and Moroberekan was established.

After the formation of core parents, breeder could breed a number of varieties within a short time. If integration of different core parents occurred, some unique varieties or new core parents would be bred, for example, IRAT 104 was from the combination of IRAT 13 and Moroberekan, and a number of varieties were derivate of IRAT 104. After introduced to Yunnan, China, IRAT 104 became both planting varieties and core parents of promising lines in Yunnan Province.

With the change of breeding objective and breeding level, some new parents were introduced and used. In the 1970's, IAC 25, introduced from Brazil, gradually became a new core parent of IRAT upland rice. Meanwhile, the role of individual core parents

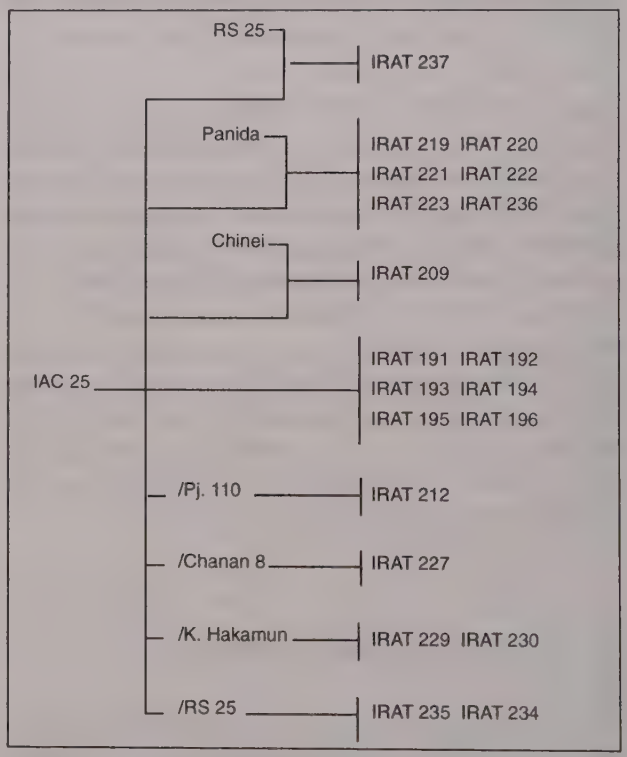


Figure 2. *Varieties genealogy of IAC 25 derivative.*

was changing. Generally speaking, after the establishing of core parents position of 63-83, Moroberekan and IAC 25, making up and renewing of new genetic germplasm resources made IRAT upland rice be full of vitality and wide-spread role in the world.

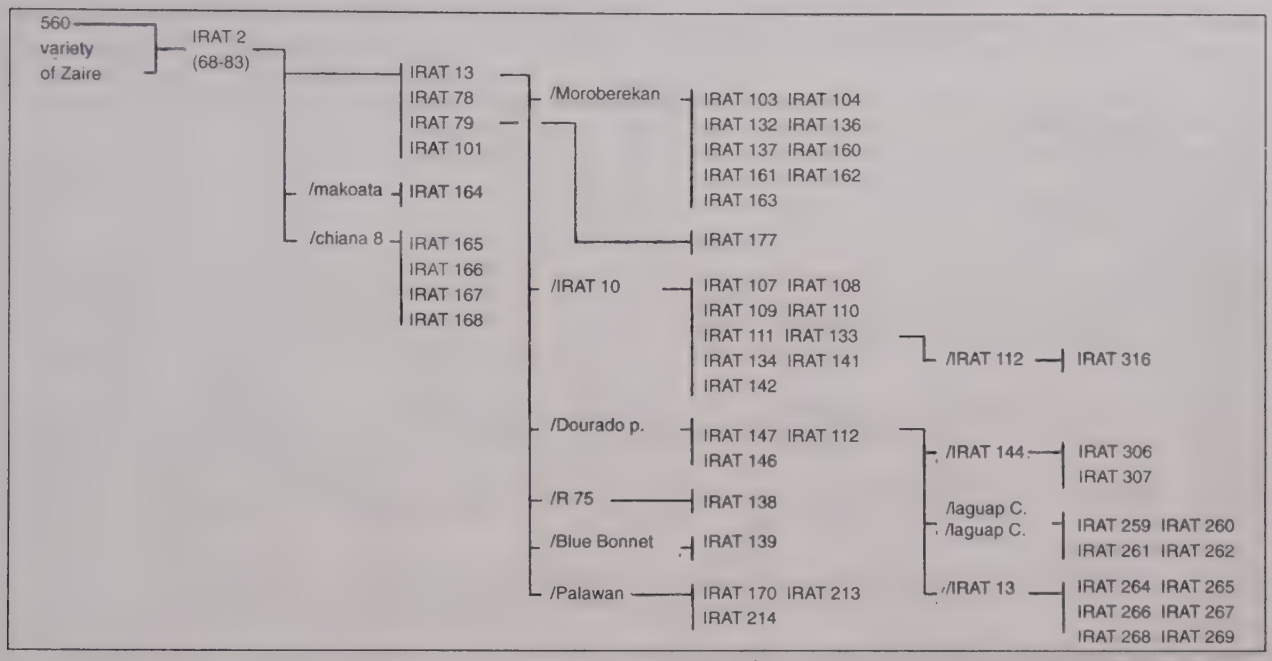


Figure 3. *Varieties genealogy of cytoplasm resource of 63-83.*

Analysis of cytoplasmic resource

Among all IRAT upland rice varieties, there were 40 different sources of cytoplasm. Despite so many cytoplasmic sources took part in, only 63-83, Moroberekan, IAC 25, Daniela were the main sources of cytoplasm. Based upon the cytoplasm of 63-83, 4 generations 51 different varieties were bred. Besides 63-83, there were different main cytoplasm at different period. Like this, not only did main sources of cytoplasm permeate the whole breeding course, but also some new sources of cytoplasm were took part in, which could ensure both the stability of breeding direction and supplying or renewing some new sources of cytoplasm that broadened the genetic background of IRAT upland rice.

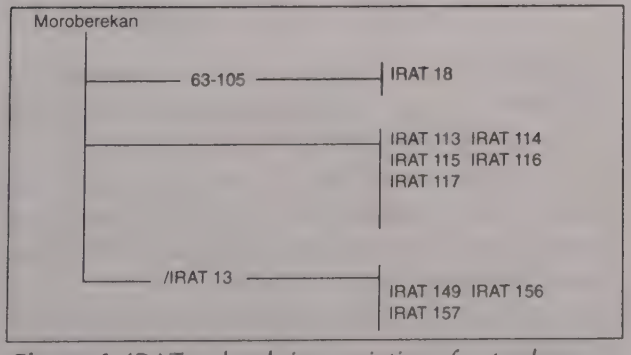


Figure 4. *IRAT upland rice varieties of cytoplasm resource of Moroberekan.*

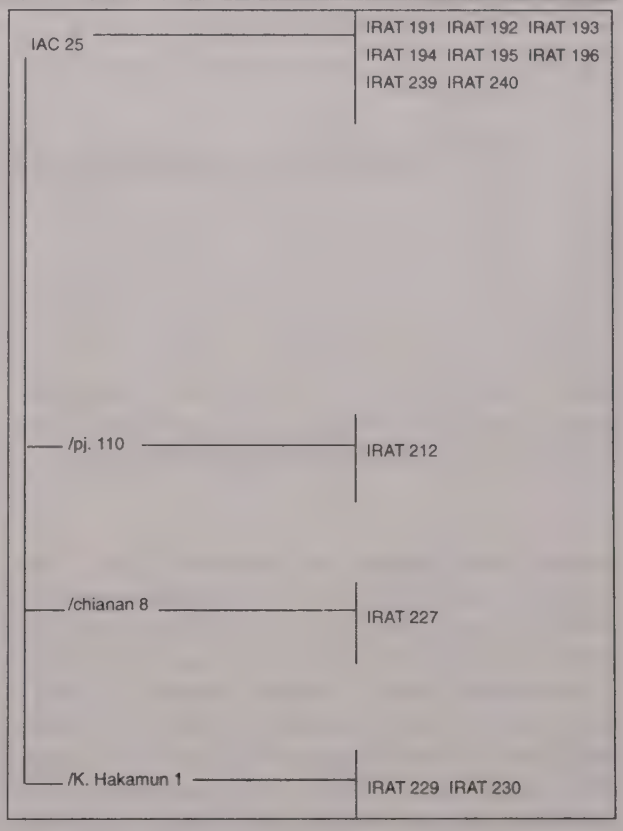


Figure 5. *IRAT upland rice varieties of cytoplasm resource of IAC 25.*

Discussion

After the analysis of parents utilization, core parents and cytoplasm resources of IRAT upland rice varieties, something such as breeding route, breeding method and genetic basis could be understood further, which would be useful in the

Table I. Situation of parents utilization and bred varieties at different periods.

	I	II	III	IV	Total
Number of used parents	13	11	35	27	68
Number of combinations of bred varieties	8	13	36	18	75
Number of bred varieties	9	38	95	22	164
Number of cytoplasm resources	6	6	21	16	40

Table II. Core parents at different period and their role.

Core parents	I varieties number	(%)	II varieties number	(%)	III varieties number	(%)	IV varieties number	(%)	Total varieties number	(%)
6383	1	12.5	29	76.3	41	43.2	6	27.3	77	46.9
Moroberekan	1	12.5	19	50.0	12	12.6	2	9.1	34	20.7
IRAT 10			10	26.3	3	3.2	1	4.6	14	8.5
Dourado précoce			4	10.5	13	13.7			17	10.4
IAC25					32	33.7	5	22.7	37	22.6
Daniela					14	14.7	3	13.6	17	10.4
Makouta					12	12.6	5	22.7	17	10.4
Total	8	100	38	100	95	100	22	100	164	100

Table III. Main sources of cytoplasm of IRAT upland rice.

Period	Variety number	Number of different cytoplasm	Cytoplasm sources and their role							
			63-83	%	Moroberekan	%	ICAC 25	%	Danielo	%
I	9	6	2	22.2	1	11.1				
II	38	6	26	68.4	9	25.0				
III	95	21	22	23.2			13	13.7	12	12.6
IV	22	16	1	4.5			2	9.1	3	13.6
Total	164	40	51	31.9	10	6.1	15	9.1	15	9.1

future. But because of information limitation, something such as whether 63-83 and 63-104 were same origin or not could not be understood clear.

Second, some studies indicated that it was a fact that there existed the core cytoplasm resources which played great role in different breeding program, such as Aizizhan, Nantehao, Shenglixian, Cina were the leading cytoplasm resources of *indica* rice varieties in Southern China; cytoplasm resources of named IR varieties was from Cina, Cina, Latisail and DGWG were main sources of cytoplasm of varieties in Latin-America and the Caribbean and as mentioned above, 63-83 was the main sources of cytoplasm of IRAT upland rice varieties. All the facts could not be explained by chance. On favorable side, by using present main sources of cytoplasm, a number of varieties could be bred within a short time; on unfavorable side, uniformity of cytoplasm resources might lead to detructive insect and disease epidemics in the future. Of course, research and utilization of fine and diversified cytoplasm resources should be an important issues in the future.

References

CIRAD-CA, 1993. CIRAD-CA varieties descriptive forms, rice. CIRAD-CA seeds laboratory, Montpellier, France.

CUEVAS-PEREZ F., GUIMARAES E.P., BERRIO L.E., GONZALES O.I., 1992. Genetic base of irrigated rice in Latin America and the Caribbean, 1971-1989. Crop Sci. 34 (4): 1054-1059.

GU MINGHONG, 1986. Genetic analysis of genealogy of fine *indica* rice varieties in Southern China, Chinese Journal of Agricultural Sciences (1): 41-48.

HARGROVE T.R., COFFMAN W.R., CABANILLA V.L., 1979. Genetic interrelationships of improved rice varieties in Asia. IRPS 23: 1-34.

TAO DAYUN, HU FENGYI, ZHOU NENG, HE YANG, 1993. Introduction of upland rice from abroad. Journal of Shaanxi Normal University, Nature Science Edition 21: 32-38.

YANG RENCHUI, LU HAORAN, 1989. Studied on interaction effect of nucleus and cytoplasm in *Oryza*. Chinese journal of agricultural sciences 22 (2): 56-63.

Session 2

Acquis de la recherche dans les domaines scientifiques se rapportant à la riziculture d'altitude

Techniques culturales

POISSON C., RAKOTOARISOA J., (édit.). 1997
Riziculture d'altitude
Actes du séminaire riziculture d'altitude.
29 mars-5 avril 1996, Antananarivo, Madagascar
Colloques, CIRAD-CA, Montpellier, France, 272 p.

Gestion de la fertilité des rizières d'altitude à Madagascar, exemple de la plaine de Vinaninony (1 875 m)

A. CHABANNE[1], L. SEGUY[2], M. RAZAKAMIARAMANANA[3]
1. CIRAD-CA, BP 853, Antananarivo, Madagascar
2. CIRAD-CA, BP 504, Goiânia, Brésil
3. FOFIFA/DRR, BP 1690, Antananarivo, Madagascar

Résumé — Une population locale de haute altitude, Latsidaby, présente un comportement intéressant malgré la pression des contraintes pédoclimatiques. Cependant, à cause des conditions du milieu (sol et climat), ce comportement est sujet à une variabilité importante. Ce sont principalement les conditions de croissance, traduites par les nombres de grains par unité de surface, qui expliquent au mieux les variations observées. Différentes techniques culturales ont été testées afin d'assumer une croissance en tallage optimale sans que les autres composantes du rendement en soient perturbées. Parmi celles-ci, la pratique de l'écobuage sans intrants, ainsi que le recours à une culture de contre-saison (pomme de terre, triticale, blé...), permettent une meilleure croissance. Les rendements obtenus sont équivalents à ceux observés avec un apport de fertilisation minérale. Certaines des nouvelles variétés créées dans le cadre du projet valorisent bien les différents systèmes de culture reproductibles mis au point.
Mots-clés : riz, altitude, froid, matière organique, allophane, écobuage, culture de contre-saison.

Le comportement variétal multilocal et pluriannuel

Le comportement multilocal de la population locale, Latsidahy, est analysé. En effet, seules les populations issues de ce milieu hautement sélectif présentent une adaptation aux contraintes. Toutes les variétés malgaches de moyenne altitude ou les variétés introduites pour leur résistance au froid ont été fortement affectées par les problèmes de stérilité due au froid et/ou à la bactériose *(Pseudomonas fuscovaginae)*.

Sources des données

Les données sont tirées des différents essais agronomiques et variétaux conduits depuis le début du projet sur la plaine de Vinaninony (1 875 m). Les données relatives aux rendements sont déduites des pesées parcellaires, chaque parcelle élémentaire représentant entre 10 et 20 m^2. Celles relatives aux facteurs du rendement sont estimées à partir de prélèvements de 1 m^2 au centre des parcelles (CHABANNE, 1985 à 1995).

La population locale Latsidahy

Le tableau I résume le comportement pluriannuel et multilocal de la population sur 8 années.

En raison de son adaptation au milieu, Latsidahy présente des niveaux de rendement satisfaisants. Cependant, elle souffre d'une assez forte variabilité de comportement. Il semble que c'est le nombre de grains par unité de surface qui explique au mieux cette variabilité.

La figure 1 montre les variations des rendements en fonction des variations du nombre de grains par m^2. Ceux-ci ont été limités à 25 000. En effet, au-delà, la relation entre les deux variables n'existe plus du fait de la diminution de la fertilité des épillets et du poids des grains. Les efforts de recherche ont donc porté sur l'amélioration de la productivité et surtout sur une meilleure régularité des rendements. La

Tableau I. Rendements et facteurs du rendement de la population locale, Latsidahy. Moyennes, écart-types et coefficients de variation sur l'ensemble des données.

	Moyenne	STD	CV
Rendements (kg/ha)	3 656	1 166	32
Nombre de panicules par plante	10,5	3,1	29
Poids de 100 grains (g)	2,64	0,19	7
Nombre de grains par m^2	18 175	6 217	34
Nombre de grains par panicule	71	13	19
Fertilité des épillets (%)	78	11	14

variabilité interannuelle due aux fluctuations de la fertilité des épillets (froid et bactériose) a été abordée par la voie de l'amélioration variétale. La variabilité, occasionnée par les conditions de croissance et traduite par les nombres de grains par unité de surface, a été abordée par la mise au point de systèmes de culture reproductibles à niveaux d'intrants variables.

Le comportement multilocal

Les expérimentations conduites en différents points de la plaine de Vinaninony ont permis d'identifier deux supports différentiels (CHABANNE *et al.*, 1991) correspondant à deux types de sol représentatifs des sols humiques à gley oxydé. Les résultats obtenus en essai décrivent le comportement de Latsidahy sur ces deux types, I et II (CHABANNE, 1995). Les résultats moyens obtenus sont résumés par le tableau II.

Les variations des rendements sont bien expliquées au niveau de leurs composantes (figure 2). Sur le sol de type 1, les effets positifs de la fertilisation minérale sur l'augmentation du tallage fertile et le nombre de grains par panicule sont nettement moins marqués.

Les contraintes physico-chimiques

Les fortes teneurs en aluminium amorphe présentes dans le sol 1 diminuent la biodégradabilité des substrats organiques (CHABANNE, DE GIUDICI, 1996 ; DE GIUDICI, 1991). L'aluminium est aussi responsable du fort pouvoir fixateur du sol vis-à-vis du phosphore, ce qui pourrait être à l'origine de déséquilibres nutritionnels pour les végétaux et la microflore. Cet aspect de la fertilité semble présenter une influence déterminante dans le comportement agronomique des sols d'altitude.

Tableau II. Productions en kg/ha de la population locale, Latsidahy, sur 2 types de sol et 2 niveaux de fertilisation minérale, F0 sans apport et F1 avec apport de 60-60-60 unités de N-P-K.

	Fertilisations minérales	
	F0	F1
Sol 1	2 480a	3 050a
Sol 2	2 292 a	3 605b

Sur la même ligne, les nombres suivis d'une même lettre ne sont pas significativement différents au seuil de 5 %.

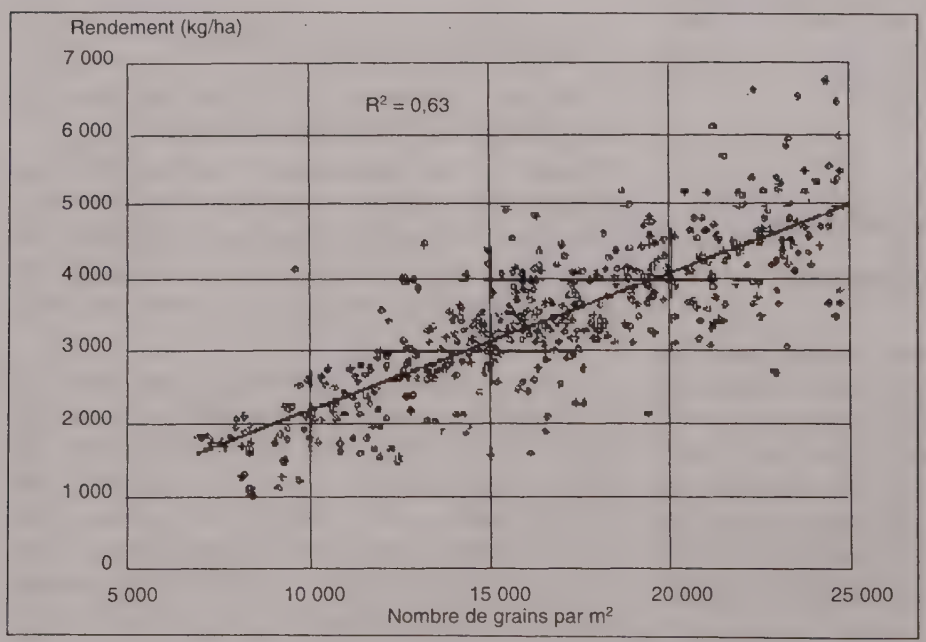


***Figure 1**. Variations des rendements selon le nombre de grains par m^2.*

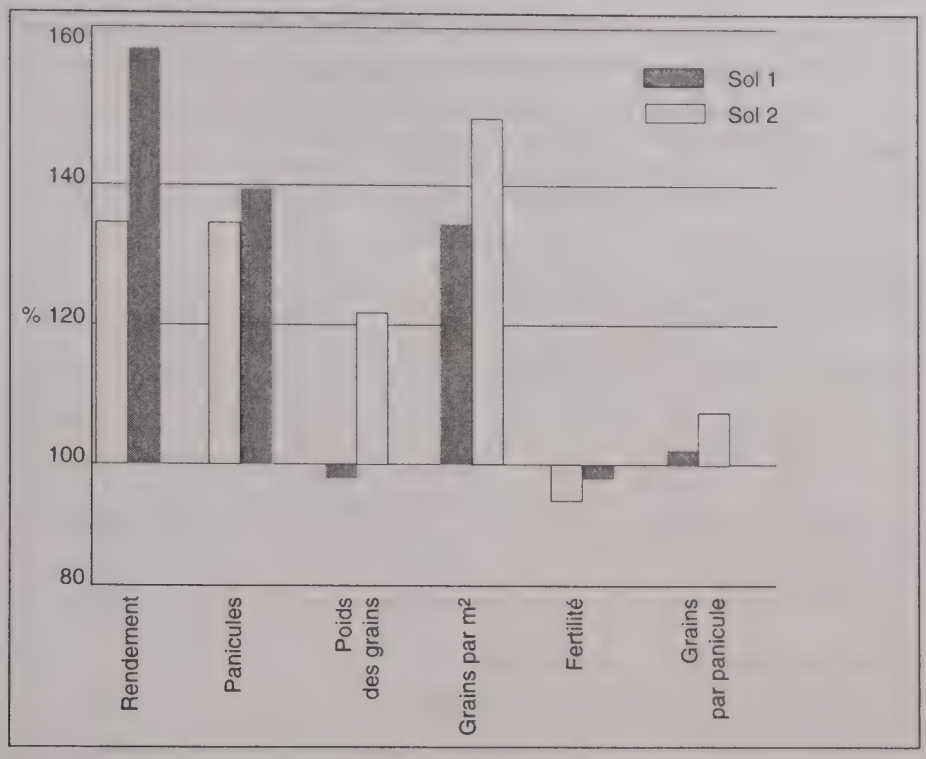


Figure 2. *Effets de la fertilisation minérale sur les facteurs du rendement et selon les deux types de sol (en % de F0).*

Conclusion

Nous nous attacherons donc à augmenter les nombres de grains par unité de surface par l'intermédiaire de techniques culturales adaptées aux contraintes socio-économiques. Pour ce faire, il convient d'esquiver les contraintes dûes aux blocages nutritionnels rencontrés dans les sols à forte teneur en matière organique et aluminium amorphe. Différentes techniques et pratiques culturales sont mises au point. On s'attachera à assurer un bon équilibre entre le nombre de grains par unité de surface, d'une part, et la fertilité des épillets et le poids des grains, d'autre part.

La pratique de l'écobuage

Le principe

Cette pratique utilisée habituellement sur les collines (hautes terres malgaches, ouest du Cameroun) consiste à réaliser une combustion contrôlée du sol. Pour ce faire, des andains sont réalisés tous les 0,70 m à l'aide de la paille disponible (résidus de récolte, végétation naturelle à base de graminées...). Ensuite ces endains sont recouverts d'une certaine épaisseur de terre de la rizière, puis le feu est allumé à la paille. La quantité de paille apportée et l'épaisseur de la terre de couverture conditionnent le tirage et la durée de cuisson qui doit atteindre 12 à 24 h. On constate alors qu'une partie de la terre entourant l'andain a été consommée et présente un aspect rougeâtre. Le but de cette pratique est d'accélérer par forte oxydation la minéralisation de la matière organique qui libère les éléments minéraux alors disponibles pour la plante (P,O, K, Ca, Mg...).

Modifications chimiques

Des analyses de sol écobué ont été réalisées sur deux sites et selon deux situations d'écobuage :
– sol organique (tourbe de Vinaninony) avec écobuage de forte intensité ;
– sol humifère (sol brun rouge, ferme Kobama) avec écobuage modéré.

Les résultats sont résumés par le tableau III.

L'écobuage se traduit par une diminution des taux en matière organique, azote total, et des rapports C/N. Calcium, magnésium et potassium sont libérés, ainsi que le phosphore assimilable. On note de même une augmentation du pH. En provoquant, de manière brutale, la minéralisation d'une partie de la matière organique, il peut également stimuler la réponse de l'activité microbienne et augmenter l'efficacité des engrais. Il est actuellement difficile de déterminer s'il s'agit d'une action purement chimique (libération de substances minérales par combustion des pailles et de la matière organique des sols) ou microbiologique, ou les deux à la fois.

Tableau III. Effets de l'écobuage sur les caractéristiques chimiques de deux sols malgaches d'altitude.

		Sol organique (tourbe, Vinaninony) écobuage brutal		Sol humifère (sol brun rouge, ferme Kobama) écobuage modéré	
		témoin	écobué	témoin	écobué
Matières organiques	MOT (%)	45,81	1,19	10,40	9,89
	N total	15,32	1,49	4,06	4,15
	C/N	17	4,6	15	14
pH	eau	4,40	6,70	4,20	4,30
	KCl	3,95	6,15	4,05	4,25
Complexe Adsorbant meq/100 g	Ca^{++}	9,59	14,79	0,55	1,04
	Mg^{++}	1,22	1,36	0,21	0,52
	K^{+}	0,07	0,11	0,21	0,78
	Na^{+}	0,17	0,06	0,14	0,14
	T (S/T)	15,53	6,07	4,46 (25 %)	4,03 (61 %)
Phosphore assimilable (Olsen) ppm		16	80	8	8

La pratique de l'écobuage doit être très surveillée sur les sols très organiques (tourbes à plus de 30 % de matière organique), la somme des cations libérés pouvant dépasser de beaucoup la capacité de fixation du sol et les éléments pourraient être entraînés par les nappes circulantes. Il convient donc de réaliser un écobuage modéré contrôlable.

Méthodes

Deux essais en Split-Plot ont été installés sur les deux sites de la plaine (sols 1 et 2). Il s'agit d'essais à 5 répétitions avec les niveaux de fertilisation minérale en sous-blocs (CHABANNE, 1995). Les parcelles élémentaires sont de 20 m^2. Les observations concernent les rendements parcellaires et les facteurs du rendement estimés par des prélèvements de 1 m^2. Les traitements qui combinent les niveaux de fertilisation minérale et l'écobuage sont les suivants.

Fertilisations minérales

F0, aucun apport

F1, 60 (30 + 30) - 60 - 60 unités de N-P-K sous forme d'urée, Hyper Réno et KCl

F2, mêmes doses sous forme d'urée, phosphate d'ammoniaque et KCl

F3, mêmes doses et mêmes formes fractionnées en 3 apports

F4, sur le sol 1 seulement, 90-90-90 unités de N-P-K sous forme d'urée, phosphate d'ammoniaque et KCl fractionnées en 3 apports.

Ecobuages

0, pas d'écobuage

ECO, écobuage à raison de 20 t/ha de pailles.

Les semis ont eu lieu en pépinière à raison de 10 kg à l'are ; 60-60-60 unités de N-P-K ont été apportées. Les repiquages ont eu lieu à 60 jours et ont été réalisés en poquets 0,20 x 0,20 m à 4-5 brins.

Résultats

On a noté une plus grande précocité sur le sol 2 où la population Latsidahy a effectué son cycle semis-maturité en 185 jours alors que sur le sol 1, il fut de 200 jours.

Les résultats concernant les productions obtenues sont présentés dans le tableau IV. On notera les meilleurs niveaux de productivité sur le site 2. La fertilisation minérale a un effet significatif sur les deux sites ainsi que l'écobuage. Les gains de rendement obtenus par les différents traitements sont plus marqués sur le sol 2. La seule interaction observée concerne le site 1. L'écobuage a toujours un effet positif quelle que soit la fertilisation minérale sauf sur F4. Les formes de fertilisation plus solubles (phosphate d'ammoniaque) semblent avoir un effet bénéfique mais le dispositif n'a pas permis de mettre en évidence des différences significatives. L'écobuage équivaut sur les deux sols à un apport de fertilisation minérale de niveau F1 ou F2.

Les effets des différents traitements étant identiques sur les deux sols, on a représenté sur une même figure l'action de l'écobuage sur les rendements et les facteurs du rendement pour le témoin F0 et la moyenne des fertilisations minérales (figure 3).

Tableau IV. Rendements obtenus sur chaque traitement (kg/ha) et chaque type de sol.

	Sol 1			Sol 2		
	0	écobuage	moyenne	0	écobuage	moyenne
F0	1 763 a	2 816 b	2 290 x	2 045	3 512	2 778 a
F1	2 789 a	3 290 b	3 039 y	3 144	4 431	3 787 b
F2	2 768 a	3 300 b	3 034 v	3 634	4 295	3 964 b
F3	3 000 a	3 549 b	3 274 y	3 604	4 619	4 112 b
F4	3 584 a	3 673 a	3 628 z	-	-	-
Moyenne	2 781 a	3 326 b	3 053	3 107 a	4 214 b	3 660

* Les chiffres suivis de la même lettre ne sont pas significativement différents au seuil de 5 %.

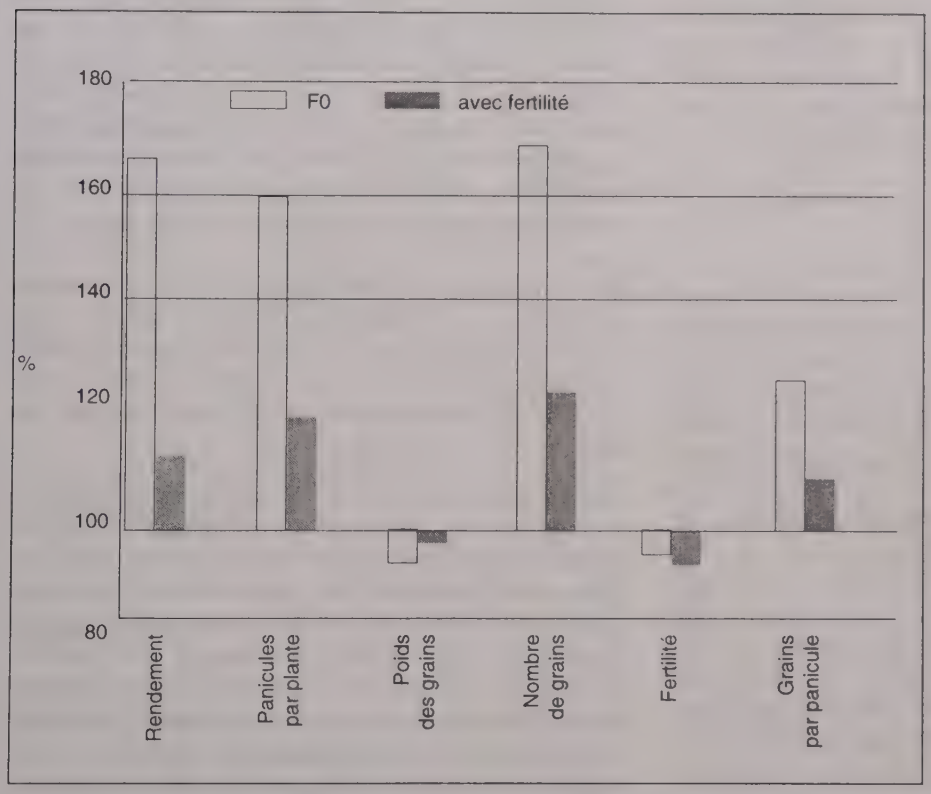


***Figure 3**. Effets de l'écobuage sur les facteurs du rendement et selon les fertilisations minérales (en % du témoin non écobué).*

L'augmentation des rendements est largement dûe à une augmentation notable du nombre de grains par unité de surface — nombre de panicules par plante et nombre de grains par panicule — malgré une faible diminution du poids des grains et de la fertilité des épillets.

Discussion

L'action bénéfique de l'écobuage sur les deux types de sol est très nette. Elle s'explique par une augmentation globale du potentiel productif. Pour un nombre de grains par m^2 de 11 000 à 13 000 sans fertilisation minérale, l'effet de l'écobuage se traduit par une augmentation de ce facteur jusqu'à 20 000. Or, nous avons vu précédemment que les rendements et le nombre de grains étaient fortement corrélés jusqu'à ces niveaux (20 000 à 25 000 grains par m^2). Il semble donc que le blocage de la production identifié précédemment puisse être résolu par la pratique de l'écobuage.

La campagne 1994-1995 n'a pas été particulièrement sélective vis-à-vis du froid et de la bactériose (la fertilité des épillets est comprise entre 70 et 80 %). La baisse de la fertilité des épillets observée sur écobuage pourrait laisser supposer un effet dépressif en année sélective. Cependant, les résultats obtenus les campagnes précédentes où les taux de fertilité étaient plus faibles (60 %) ont toujours montré un effet positif global de la pratique.

La pratique d'une culture de contre-saison

Principes

La pratique de la culture de contre-saison sur les hauts plateaux malgaches tend à s'intensifier ces dernières années. Elle est à l'actif d'organisations d'Etat, ou non gouvernementales, travaillant sur le développement rural en général ou dans le but d'assurer l'approvisionnement en une culture spécifique. Ainsi, les cultures de blé, triticale (Kobama), orge (Malto-Star), pomme de terre et les diverses cultures maraîchères et fourragères s'intensifient fortement. Sur certains petits périmètres irrigués jusqu'à 70 %, des exploitations peuvent procéder à cette pratique. L'effet bénéfique sur la culture de riz suivante est important.

Méthodes

Un essai a été conduit sur le sol le plus favorable à une culture de contre-saison. Il s'agit du sol 1 où les possibilités d'irrigation permettent cette pratique. L'essai est un Split-Plot à 5 répétitions conduit depuis 3 années. Les niveaux de fertilisation minérale sont conduits en sous-blocs. Les traitements expérimentés sont les suivants.

Fertilisations minérales

F0, aucun apport sur la culture de riz

FI : apports de 60 (30 + 30) - 60 - 60 unités de N-P-K sous forme d'urée, Hyper Réno et KCl

Systèmes de culture

0, aucune culture de contre-saison et pas d'écobuage

TTC, culture de triticale en contre-saison

PDT, culture de pomme de terre en contre-saison

ECO, aucune culture de contre-saison, écobuage avec 20 t/ha de pailles.

Les parcelles élémentaires sont de 20 m^2. Les rendements correspondent aux productions parcellaires et les facteurs du rendement sont estimés à partir de prélèvements sur 1 m^2. Les semis ont été réalisés en pépinière à raison de 10 kg à l'are et avec un apport de 60-60-60 unités de N-P-K. Les repiquages ont été réalisés à 60 jours et aux poquets 0,20 x 0,20 m à 4 ou 5 brins. Les cultures de contre-saison ont été conduites selon les fiches techniques culturales vulgarisées dans la région.

Les résultats

Le tableau V résume les résultats obtenus durant la campagne 1994-1995 (CHABANNE, 1995). Nous retrouvons ici les résultats évoqués précédemment, c'est-à-dire l'effet positif sur tous les systèmes de culture de la fertilisation minérale qui, sur cet essai, apporte un surplus de production de 43 % en moyenne. De même, l'écobuage a un effet fortement positif et apporte environ 60 % de production supplémentaire sur les deux niveaux de fertilisation minérale. C'est avec l'écobuage et la fertilisation minérale que les meilleurs rendements ont été obtenus. Les systèmes de culture comportant une culture de contre-saison donnent toujours un effet bénéfique sur la productivité du riz suivant. Sans fertilisation minérale, le rendement est de 42 % pour le triticale et de 70 % pour la pomme de terre. Avec fertilisation minérale, il est de 37 % pour le triticale et de 42 % pour la pomme de terre. La production moyenne de ces deux cultures a été de 2,37 t/ha de triticale et 13,4 t/ha de pomme de terre.

La figure 4 traduit l'action moyenne des systèmes de culture sur les facteurs du rendement. L'action positive des différents systèmes sur les niveaux de production se traduit par une meilleure croissance globalement exprimée par un plus grand nombre de grains par m^2. C'est l'écobuage qui permet d'atteindre les plus forts rendements. Cependant, des nombres de grains par m^2 de l'ordre de 25 000 sont atteints et la fertilité des épillets en est légèrement affectée. On notera enfin le meilleur

Tableau V. Les productions obtenues sous les différents systèmes de culture et fertilisations minérales.

	F0	F1	Moyenne
0	1 947	3 011	2 478 a
TTC	2 768	4 137	3 453 b
PDT	3 305	4 284	3 795 bc
Ecobuage	3 179	4 631	3 905 c
Moyenne	2 800 a	4 016 b	3 408

* Les chiffres suivis de la même lettre ne sont pas significativement différents au seuil de 5 %.

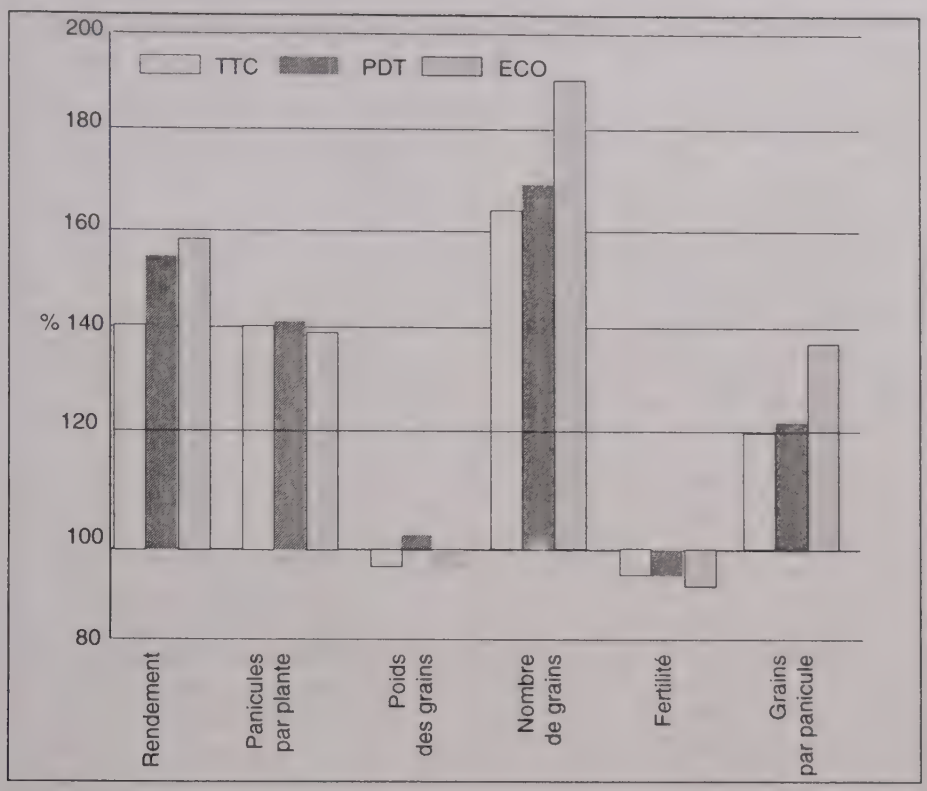


Figure 4. *Effets des systèmes de culture sur les facteurs du rendement (en % du témoin).*

arrière-effet de la culture de la pomme de terre qui, de plus, assure une production très rémunératrice de plus de 13 t/ha.

Discussion

L'effet bénéfique d'une culture de contre-saison est très net. Cependant, il nous est actuellement difficile de préciser ses mécanismes de fonctionnement. Ce peut être soit un arrière-effet direct de la fertilisation minérale et organique apportée sur la culture de contre-saison (ou des cendres de paille de l'écobuage), soit un meilleur fonctionnement microbiologique des sols cultivés grâce à la culture d'hiver. Il convient de préciser les conséquences socioéconomiques des différentes pratiques proposées, ce qui n'a pu être réalisé dans le cadre du programme. Cependant, il faut noter que la pratique de l'écobuage ne nécessite aucun achat d'intrants puisqu'elle est réalisée à partir des disponibilités en paille (résidus de récolte et végétation naturelle). Enfin, en ce qui concerne les cultures de contresaison, plusieurs organismes de développement appuient des systèmes de crédit de campagne. L'effet bénéfique de cette pratique sur la culture de riz suivante est un auxiliaire précieux pour le calcul de rentabilité du crédit.

Les formes, doses et fractionnements de la fertilisation minérale

En ce qui concerne les différentes formes et doses de la fertilisation minérale, les essais précédents n'avaient pas montré de différences significatives entre les traitements, exceptée la fertilisation 90-90-90 à base de phosphate d'ammoniaque qui avait eu un effet significatif. Ceci s'explique par le choix des dispositifs retenus qui nous a fait privilégier le maximum d'information sur la pratique de l'écobuage facile à pratiquer sans intrants. Cependant, il nous a semblé utile de préciser la tendance à l'augmentation des rendements observée avec le fractionnement de la fumure minérale. Des tests non statistiques ont été conduits en remplissage des parcelles pour apporter quelques précisions à ce sujet.

Les formules suivantes ont été testées :

– I, aucune fertilisation (F0) ;

– II, 60 (30 + 30)-60-60 unités de N-P-K sous formes d'urée, Hyper Réno et KCl (FI) ;

– III, mêmes doses sous formes durée, phosphate d'ammoniaque et KCl (F2) ;

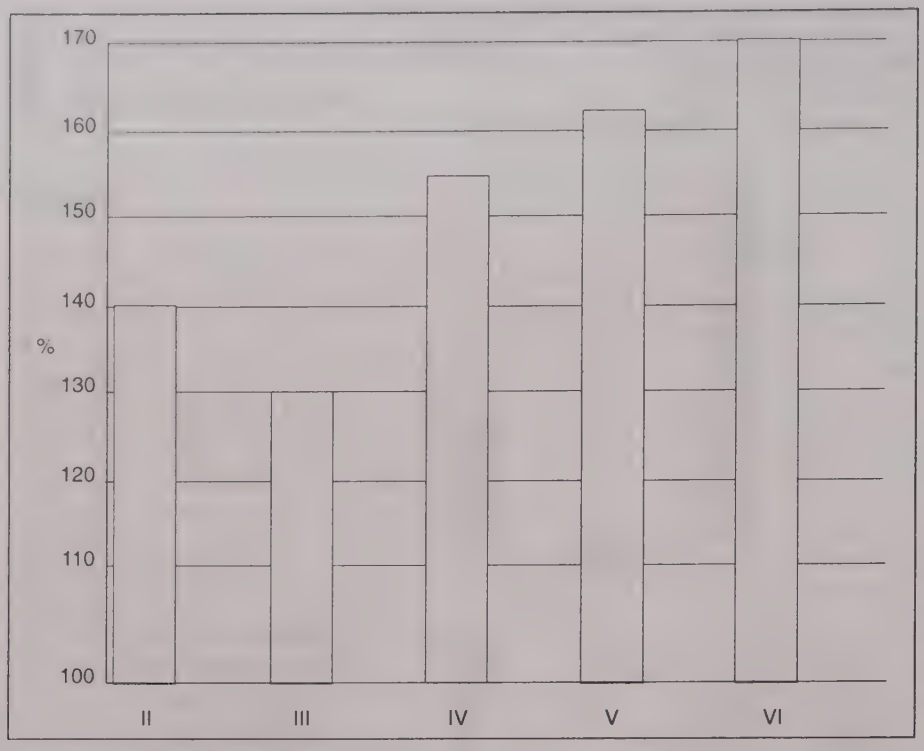


Figure 5. *Les effets de différentes formes et modes d'apport de fertilisation minérale (en % du témoin non fertilisé F0).*

– IV, 60-60-60 unités de N-P-K sous formes d'urée, phosphate d'ammoniaque et Kcl fractionnées en 3 apports (F3) ;

– V, 90-90-90 unités de N-P-K sous les mêmes formes fractionnées en 3 apports ;

– VI, 120-120-120 unités de N-P-K sous les mêmes formes fractionnées en 3 apports. Les résultats sont présentés sur la figure 5.

La fertilisation minérale a toujours un effet positif sur les rendements. Le fractionnement des formes solubles au phosphate d'ammoniaque est celui qui augmente le plus la productivité. Les plus fortes doses (V et VI) ont un effet marqué mais relativement limité du fait d'une plus grande stérilité des épillets et d'un poids des grains amoindri.

Le comportement variétal

Objectif

Il convient d'apprécier l'intérêt des innovations proposées en matière de systèmes de culture en relation avec les résultats acquis par l'amélioration variétale. En effet, contrairement à la riziculture pluviale, il existe une population locale, Latsidahy, relativement bien adaptée. L'objectif premier en riziculture aquatique est donc d'assurer une meilleure régularité des rendements. Il convient donc de vérifier si le bon comportement de quelques créations variétales se confirme dans les systèmes de culture les plus performants.

Méthodes

Un essai de type Split-Plot à 5 répétitions a été mis en place sur le sol de type I. En sous-blocs, 3 niveaux d'intensification ont été conduits. Les traitements sont les suivants.

Niveaux

F0, aucun apport de fertilisation minérale

F2, 60 (30 + 30)-60-60 unités de N-P-K sous formes d'urée, phosphate d'ammoniaque et KCl

ECO, écobuage à 20 t/ha de pailles sans fertilisation minérale.

Variétés

V1 = C9 - MB - F1/3

V2 = C9 - MB - F4/9

V3 = C9 - MB - F5/7

V4 = C9 - MB - F7/6

Témoin Latsidahy.

Ces 4 nouvelles variétés sont issues d'un croisement entre deux variétés/populations locales, Latsidahy et AS 40, issues du milieu de haute altitude. Les parcelles élémentaires sont de 10 m^2. Les semis ont été réalisés en pépinière à raison de 10 kg à l'are et sous une fertilisation de 60-60-60 unités de N-P-K.

Tableau VI. Rendements obtenus en fonction des différents systèmes de culture.

	F0	F2	Ecobuage	Moyenne
Latsidahy	1 960	3 204	3 238	2 801 a
V1	2 280	4 383	4 064	3 576 b
V2	2 599	4 647	4 427	3 891 c
V3	1 960	3 568	3 392	2 974 a
V4	2 467	4 141	4 295	3 634 b
Moyenne	2 253 b	3 989 a	3 883 a	3 375

Les chiffres suivis de la même lettre ne sont pas significativement différents au seuil de 5 %.



Figure 6. *Les composantes du rendement (en % de Latsidahy).*

Les repiquages ont été réalisés à 60 jours et en poquets 0,20 x 0,20 m à 4 ou 5 brins.

Résultats

Les résultats antérieurs au sujet de l'influence des niveaux d'intensification sont confirmés : l'écobuage a un effet similaire à un apport de fertilisation minérale (tableau VI). Il n'y a pas d'interactions significatives entre les facteurs, ce qui signifie que le classement variétal est le même selon ces niveaux. La variété 2 est nettement supérieure au témoin et elle présente des rendements supérieurs de 40 %. V4 et VI sont aussi significativement supérieures au témoin tout en présentant des niveaux de production légèrement inférieurs à V2. V3 ne présente pas d'intérêt particulier. La figure 6 présente leurs composantes du rendement dans les différents systèmes.

Les 4 nouvelles variétés se distinguent par des nombres élevés de grains par unité de surface expliqués soit par un tallage fertile plus élevé et/ou un plus grand nombre de grains par panicule. Cependant, elles diffèrent nettement dans la fertilité des épillets. Seules V2 et VI présentent sur ce point un comportement proche du témoin. V3 et V4 voient leur taux de fertilité diminuer. Ceci explique pourquoi V3 présente un rendement proche du témoin.

Discussion

L'influence des pratiques culturales sur les rendements est confirmée. En revanche, il apparaît un comportement variétal différencié en fonction des itinéraires techniques. Il conviendrait donc de mettre en place les dernières phases de dévaluation variétale sur une gamme différentielle de supports agronomiques. Enfin, le très bon comportement de nouvelles créations variétales est confirmé. De nouvelles variétés seront proposées à la vulgarisation.

Conclusion

Un ensemble de techniques culturales et systèmes de culture a été mis au point. Outre la confirmation de la reproductibilité interannuelle de l'effet des composantes des systèmes sur le rendement, certains d'entre eux qui utilisent la pratique de l'écobuage sans intrants ou des cultures de contre-saison très rémunératrices associées à de nouvelles variétés plus performantes, présentent un intérêt de tout premier plan pour le développement de la riziculture de haute altitude dans les conditions socio-économiques de Madagascar. Il conviendrait maintenant de procéder à une pérennisation du dispositif de recherche-action pour étudier son évolution à plus long terme et notamment mieux préciser, hiérarchiser l'importance des facteurs physico-chimiques et biologiques sur la nutrition du riz, sa résistance au froid et aux maladies. Ces différentes actions avaient été envisagées lors de la préparation de la troisième phase du projet. Cependant, les réductions de financement n'ont pas permis d'en assurer pleinement la réalisation.

Références bibliographiques

CHABANNE A. Rapports de campagnes de 1985 à 1995, rapports semestriels, analytiques et finaux destinés à la CEE. FOFIFA/CIRAD.

CHABANNE A., RAZAKAMIARAMANANA M., DE GIUDICI P., 1991. Les actions agronomiques pour la riziculture de haute altitude à Madagascar. Communication présentée à l'atelier international Riz d'altitude, Antananarivo, Madagascar, avril 1991.

CHABANNE A., 1995. Rapport de campagne 1995-1996, volet agronomie. FOFIFA/DRR, CIRAD-CA, 182 p.

CHABANNE A., DE GIUDICI P., 1996. Physico-chimie des rizières d'altitude à Madagascar, exemple de la plaine de Vinaninony. Communication présentée à l'atelier international Riz d'altitude, du 30 mars au 5 avril 1996, Antananarivo, Madagascar, 9 p.

DE GIUDICI P., 1991. Facteurs limitants de la fertilité des sols malgaches d'altitude. Laboratoire des radio-isotopes, université de Madagascar, avril 1991.

DE GIUDICI P., 1991. Physico-chimie et fertilité des sols rizicultivés malgaches d'altitude. Communication présentée au séminaire sur les contraintes liées à la riziculture d'altitude. Antananarivo, Madagascar, avril 1991.

SEGUY L., 1986. Rapport de mission d'appui. CIRAD-CA.

SEGUY L., 1987. Rapport de mission d'appui. CIRAD-CA.

SEGUY L., 1988. Rappots de mission d'appui. CIRAD-CA.

SEGUY L., 1989. Rapport de mission d'appui. CIRAD-CA.

SEGUY L., 1990. Rapport de mission d'appui. CIRAD-CA.

SEGUY L., 1991. Rapport de mission d'appui. CIRAD-CA.

SEGUY L., 1992. Rapport de mission d'appui. CIRAD-CA.

SEGUY L., 1993. Rapport de mission d'appui. CIRAD-CA.

POISSON C., RAKOTOARISOA J., (édit.), 1997
Riziculture d'altitude
Actes du séminaire riziculture d'altitude,
29 mars-5 avril 1996, Antananarivo, Madagascar.
Colloques, CIRAD-CA, Montpellier, France, 272 p.

Influence du temps de submersion et de la fertilisation azotée en riziculture de moyenne altitude au Burundi

A. NDAYIRAGIJE
Faculté des sciences agronomiques du Burundi, Bujumbura, Burundi

Résumé — Au Burundi, les facteurs limitant la riziculture d'altitude sont multiples. La maîtrise de l'eau et la fertilisation figurent parmi les plus importants. Sur un régosol du marais de Bukemba (1 203 m d'altitude), la submersion du sol pendant six semaines avant le repiquage a eu une influence positive sur la nutrition minérale du riz et a par conséquent augmenté le rendement. L'essai sur la fertilisation azotée a montré que l'efficacité des LGU (larges granules d'urée) appliquées en profondeur par rapport à la PU (perlurée) appliquée en surface est effectivement due au placement en profondeur et non à leur taille. De plus, le bore contenu dans les LGU (LGU + B) a prouvé son effet d'inhibiteur sur l'hydrolyse de l'urée et partant augmente l'efficacité des LGU + B par rapport à la PU et aux LGU, tous étant appliqués en surface.
Mots-clés : riz d'altitude, temps de submersion, urée, Burundi.

Introduction

Au Burundi, les marais sont en général acides comme c'est le cas pour la plupart des terres. Cependant, l'on sait en riziculture que l'effet global de la submersion d'un sol est d'augmenter le pH dans les sols acides. Cette conséquence remarquable de l'inondation revient à une opération de chaulage automatique et entraîne un pH optimal pour la disponibilité de plusieurs nutriments au bout de 2 à 6 semaines selon le type de sol ; libération de P, K, Ca, Fe, Mn, Si, hydrolyse des protéines (DE DATTA, 1981). Ces différents changements qui s'opèrent dans le sol conduisent en général à une bonne nutrition minérale du riz. Les transformations physico-chimiques causées par la submersion se font sous l'action des microorganismes anaérobies à la suite de l'épuisement en oxygène, et dans le processus de respiration biologique, certains éléments ou leurs ions doivent servir d'accepteurs d'électrons. Pourtant, l'état de réduction du sol causé par la submersion bloque la minéralisation de l'azote à la forme ammoniacale, laquelle ne sert plus d'accepteur d'électrons aux bactéries dénitrifiantes. Le nitrate, qui dans la couche aérobie de surface, est stable et n'est pas sujet à la dénitrification, diffuse facilement vers le bas dans la couche anaérobie et subit une dénitrification (PATRICK *et al.*, 1978). C'est pour cette raison que les nitrates, comme sources fertilisantes, n'ont donc aucune efficience et ne sont plus recommandés alors que l'urée — les supergranules en particulier — donne de meilleurs résultats quand ils sont enfouis dans la zone réduite.

Néanmoins, la proportion effectivement utilisée de l'azote des engrais ne dépasse guère 60 à 64 %, même dans des conditions de cultures très favorables, cela étant dû aux pertes qui se produisent dans le système air/eau/sol de la rizière : volatilisation, oxydation, dénitrification (DE DATTA, 1978). Depuis plusieurs années, des recherches sont faites pour la mise au point des sources d'urée à plus grande efficacité. La présente communication parle du cas du marais de Bukemba (1 203 m d'altitude), un marais qui est déjà aménagé et dominé par des collines calcaires. Les paysans y pratiquent la culture du riz une fois par an avec des rendements médiocres ne pouvant pas justifier un quelconque amortissement. En outre, par ignorance de l'importance de la submersion en riziculture, les

paysans labourent à sec juste avant le repiquage. Ces problèmes manifestes dans ce périmètre aménagé de Bukemba devraient être résolus. C'est dans le cadre du contrat TSD3 CEE-TS 3-CT 92-0095 que l'étude a été entreprise à la faculté des sciences agronomiques et s'inscrit dans le volet agrophysiologie, prévu dans le cahier des charges. L'objectif de cette note vise d'abord à démontrer l'importance du *puddling* (défrichement, mise sous eau le lendemain, premier labour profond et mise sous eau définitive) avant le repiquage ; recherche ensuite des facteurs limitant les rendements dans ce périmètre aménagé ; et enfin, étude de la source d'urée et de la forme d'application des plus efficaces pour limiter les pertes azotées dans le sol.

Influence du temps de submersion sur le rendement : essai en champ

Protocole de travail

Cet essai est mené en vue de comparer avec une variété moderne répondant bien à l'azote (Facagro 59), un bon *puddling* lié à un faible niveau d'intensification à la pratique habituelle des paysans (mise sous eau le jour du repiquage, pas de fertilisation). Six traitements ont été effectués à trois répétitions : 0, 3, 6 semaines de submersion avant le repiquage avec ou sans application du DAP (diammonium phosphate : 1846-0) au repiquage. Le DAP est appliqué à raison de 122,5 kg/ha. Les paramètres physico-chimiques du sol avant l'application des traitements et au repiquage avant l'application du DAP ont été mesurés. Le rendement et les indicateurs économiques ont fait l'objet de cette étude.

Le sol

Le sol est un régosol « typique ». Celui-ci est caractérisé par un développement sur matériau récent à fraction argileuse composée de minéraux 2/1 avec une CEC argile à pH 7 supérieure à 25 méq/100 g de sol ; la kaolinite est absente, les traces d'hydromorphie absentes, CE < 4 mS/cm (SOTTIAU *et al.*, 1988). Le tableau I présente les caractéristiques physico-chimiques du sol (sol séché) avant la submersion. Les résultats sont les moyennes de toutes les parcelles à traiter, le traitement statistique n'ayant pas montré de différences entre elles. L'analyse de ces paramètres révèle que le sol est déficient en phosphore avec une faible teneur en azote. En revanche, il est riche en bivalents mais avec un rapport Ca/Mg insuffisant montrant une dominance du Mg sur le Ca.

Résultats et discussion

Toutes les parcelles traitées ont fait objet d'analyses physico-chimiques. Le prélèvement du sol a été effectué le jour du repiquage avant l'application du DAP. Le tableau II montre les résultats. On remarque que les parcelles sont toujours pauvres en phosphore (< 10 ppm) avec de faibles teneurs en azote (< 0,25 % à pH 5,5). Elles sont riches en bivalents dans un périmètre entouré d'un massif dolomitique ; ce qui implique l'arrêt de l'utilisation de l'eau d'irrigation pendant et juste après les pluies, car cette eau a un pH trop élevé et présente un aspect laiteux à la suite du lessivage des collines, le phosphore pouvant se fixer au calcium, il est moins disponible dans ces conditions.

Les rendements et le calcul de l'analyse économique

Le rendement en riz paddy des différents traitements a été mesuré. Le test de Newman-Keuls pour le classement en groupes homogènes des différents traitements a été effectué (tableau III). Les indicateurs économiques comme le bénéfice net et la valeur sur coût (V/C) ont été déterminés comme le montre le tableau IV. Les rendements sont passés de 1,6 t/ha (pratique habituelle des paysans) à 3,02 t/ha pour 6 semaines de submersion (tableau III). Un *puddling* de 6 semaines par rapport au témoin (pratique habituelle des paysans), mais

Tableau I. Paramètres physico-chimiques du sol avant la submersion.

pH eau	pH kcl	C (%)	N total (%)	C/N	P-bray (ppm)		
5,58	4,16	2,27	0,22	11,22	2,71		
Ca	Mg	Na	K	Al	H	CEC (méq/100 g de sol)	Ca/Mg
4,56	5,56	0,05	0,27	0,25	0,05	22,8	0,82

avec application du DAP, fait passer les rendements de 2,7 t/ha à 4,2 t/ha. Le classement en groupes homogènes indique que la submersion pendant 6 semaines avec application du DAP s'isole des autres traitements d'une manière significative. Les traitements sans DAP diffèrent d'une manière significative ; le rendement ayant augmenté avec le temps de submersion. Bien qu'il n'existe pas de différences significatives entre les traitements, 3 semaines de submersion avec application du DAP et 0 semaine de submersion avec application du DAP, on remarque que le rendement a tendance à augmenter avec le temps de submersion pour les traitements ayant reçu le DAP. Pour deux traitements ayant été submergés en même temps mais différents par l'application du DAP, celle-ci a provoqué une augmentation significative de rendement, pris donc généralement, le DAP a prouvé son efficience (tableau IV).

On peut attribuer en « partie » cette efficience du *puddling* associé à un faible niveau d'intensification à l'état de réduction du sol qu'il cause, lequel permet la disponibilité du phosphore et une meilleure efficience de l'azote (pas de dénitrification), les analyses classiques ayant montré que le sol manifestait une pauvreté extrême en phosphore avec de faibles teneurs en azote.

Tableau II. Paramètres physico-chimiques des parcelles avant l'application du DAP.

P	pH eau	pH kcl	C (%)	N tot (%)	C/N	P-bray (ppm)	Ca*	Mg*	Na*	K*	Al*	H*	CEC*	Ca/Mg
6SS	5,91	4,47	2,52	0,22	11,6	4,87	4,64	5,61	0,05	0,27	0,14	0,08	33,12	0,82
3SS	5,64	4,42	2,46	0,21	11,71	2,82	4,60	5,70	0,04	0,30	0,19	0,08	25,00	0,80
0SS	5,60	4,43	2,43	0,23	10,59	2,75	4,65	5,55	0,05	0,25	0,25	0,05	22,39	0,83

P : paramètre
6SS : 6 semaines de submersion avant le repiquage
3SS : 3 semaines de submersion avant le repiquage
0SS : mise sous eau le jour du repiquage
* : en méq/100 g de sol

Tableau III. Rendements de l'essai en champs à Bukemba et classement en groupes homogènes (t/ha).

Traitements	6SS (+DAP)	6SS (-DAP)	3SS (+DAP)	3SS (-DAP)	0SS (+DAP)	0SS (-DAP)
Rendements	4,22 a	3,02 b	3,12 b	2,26 c	2,71 b	1,62 d

Tableau IV. Calcul de l'analyse économique.

Traitement	UF	R (t/ha)	A (kg/ha)	PI	Coût engrais	VA	BN	V/C
6SS (+DAP)	78,4	4,22	1 196,7	15,3	15 925,0	59 835	43 910	3,75
6SS (-DAP)		3,02						
6SS (+DAP)	78,4	4,22	2 595,0	33,09	15 925,0	129 750	113 825	8,14
0SS (-DAP)		1,62						
3SS (+DAP)	78,4	3,12	865,4	11,0	15 925,0	43 270	27 345	2,72
3SS (-DAP)		2,26						
3SS (+DAP)	78,4	3,12	1 502,0	19,16	15 925,0	75 100	59 175	4,71
0SS (-DAP)		1,62						
0SS (-DAP)	78,4	2,71	1 085,6	13,8	15 925,0	54 280	38 355	3,40
0SS (-DAP)		1,62						
a	b	c	d	e	f	g	h	i

a : traitement
b : unités fertilisantes
c : rendement en riz paddy (t/ha)
d : accroissement du rendement par rapport au témoin (kg/ha)
e : indice de productivité = d/b
f : coût de l'engrais (DAP = 130 FBu/kg)
g : valeur de l'accroissement = accroissement (kg/ha)*50 FBu/kg de riz paddy
h : valeur accroissement - coût engrais
i : rentabilité économique des engrais

Le rapport valeur supplémentaire sur coût supplémentaire (V/C) est un indice d'attractivité. En d'autres termes, il montre l'intérêt d'un investissement-engrais. La FAO estime que le rapport V/C doit être supérieur à 2 pour que la technologie soit adoptée.

Le tableau IV montre que le rapport V/C est toujours supérieur à 2 démontrant encore une fois l'efficience du DAP dans un sol pauvre en phosphore et en azote. La combinaison d'un *puddling* de 6 semaines et du DAP par rapport au témoin absolu (pratique des paysans de Bukemba) donne un rapport extraordinaire : il est de 8,34, prouvant que ce traitement est le meilleur à adopter quand on le compare à la pratique habituelle des paysans.

Essai soustractif

But

Les sols en voie d'alcalinisation par les bivalents peuvent présenter une carence induite en phosphore qui pourrait être un facteur limitant à la productivité de la Facagro 59, celle-ci donnant des rendements supérieurs sans engrais dans bien d'autres marais.

Protocole de travail

L'essai soustractif nous permet de définir les éléments minéraux insuffisamment présents ou non assimilables qui limitent le rendement dans le sol de l'essai en champ : N, P, K, Mn, Cu, Zn, B, Ca, Mg, Ca-Mg, Fe. L'essai est effectué en pots sur la Facagro 59 (variété moderne) à la faculté des sciences agronomiques.

Résultats et discussion

La biomasse totale sèche après 6 semaines de végétation a servi d'indicateur et est présentée au tableau V. Les chercheurs utilisant habituellement cette technique comme premier stade du processus d'évaluation de la fertilité d'un sol considèrent la production de matière sèche d'un traitement inférieur à 40 % du traitement complet comme un problème de déficience sérieuse (SANCHEZ, 1976). Le sol provenant du marais de Bukemba — marais où s'est effectué l'essai en champ — manifeste une carence très nette en phosphore et probable en zinc. En revanche, il est riche en bivalents. C'est sur la base de cette faible teneur en phosphore et en zinc que nous avons mené un autre essai en pots pour suivre l'évolution de la concentration en phosphore et en zinc dans la solution du sol après divers temps de submersion. Les résultats sont présentés ci-après.

Résultats

Protocole de travail

L'essai en pots, réalisé à la faculté des sciences agronomiques, vise à suivre l'évolution de la concentration du phosphore et du zinc en solution du sol dans la zone réductrice après différents temps de submersion : 0, 1, 2, 3 semaines de submersion avant le repiquage sur le sol provenant du marais où s'est effectué l'essai en champ (sol 1) et sur le même sol mais enrichi avec une solution nutritive complète (sol 2). Trois trous latéraux correspondant à la zone réductrice ont été percés pour le prélèvement des échantillons de l'eau dans chaque pot, 1 jour après le repiquage. La variété utilisée est toujours la Facagro 59. Une analyse foliaire a été effectuée au stade tallage. Le rendement a fait également l'objet d'étude.

Tableau V. Production biomasse totale sèche par rapport à la production biomasse totale sèche du traitement complet (solution nutritive complète).

SN	C	(-)N	(-)P	(-)K	(-)Mn	(-)Cu	(-)Zn	(-)B	(-)Ca	(-)Mg	(-)Ca-Mg	(-)Fe
BT	2,44	2,73	1,36	2,63	3,66	2,49	2,07	2,69	2,94	3,11	3,91	2,77
R (%)	100,0	111,8	55,5	107,8	149,7	102,2	84,6	108,4	120,5	127,4	160,0	113,4

SN : solution nutritionnelle
BT : biomasse totale
R : rapport
C : complète

Résultats et discussion

Evolution de la concentration en phosphore et en zinc

L'évolution de la concentration en phosphore et en zinc est donnée dans les figures 1 et 2. La concentration en phosphore est nettement plus grande en solution du sol enrichi par rapport au sol non enrichi (figure 1). Pour le sol 1 et le sol 2, la figure 1 montre un effet linéaire significatif ; le traitement statistique par l'étude des contrastes donne F = 14,31 pour un F (1,16) = 8,53 à 1 %. Plus le temps de submersion augmente, plus la concentration en phosphore tend à augmenter.

La figure 2 montre, que, outre un effet linéaire moyen pour le sol 1 et le sol 2, l'effet quadratique est hautement significatif, F = 16 pour un F (1,16) = 8,53 à 1 %. Plus le temps de submersion augmente, plus la concentration en zinc tend aux faibles valeurs, aux valeurs critiques ; désavantage connu de la submersion sur une variété moderne dans un sol riche en bivalents ; ceux-ci conduisant à l'alcanisation du sol, la carence en zinc étant liée en partie à cette dernière (FRANS et NICO VAN, 1978). Pour essayer de déterminer les causes du comportement des cultures par rapport à la fertilité du sol, il semble tout à fait logique d'analyser par des moyens chimiques une partie de la plante elle-même afin de déterminer la quantité d'éléments minéraux que la plante a pu tirer du sol. Le phosphore et le zinc ont fait objet d'analyse foliaire au stade tallage et les résultats sont présentés sur les figures 3 et 4. L'analyse foliaire confirme l'effet global de l'évolution de la concentration en phosphore et en zinc de la solution du sol avec des concentrations en phosphore significativement plus élevées et des concentrations en zinc significativement moindres pour les temps de submersion les plus élevés et ce, pour le sol non enrichi.

Les rendements en grains

Les rendements sont présentés au tableau VI. Le sol enrichi présente de meilleurs résultats par rapport au sol non enrichi. Pour chaque type de sol, la submersion n'a pas eu d'influence significative sur le rendement bien qu'on remarque une tendance de l'effet positif de la submersion.

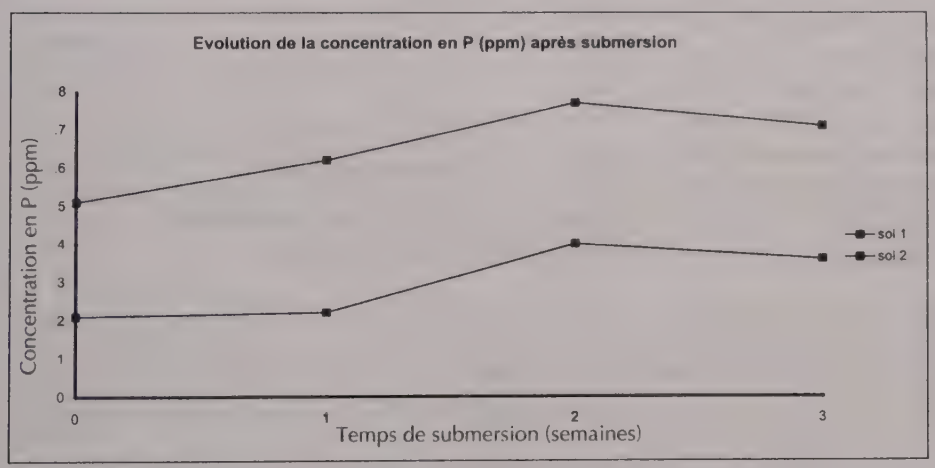


Figure 1. *Evolution de la concentration en P (ppm) après submersion.*

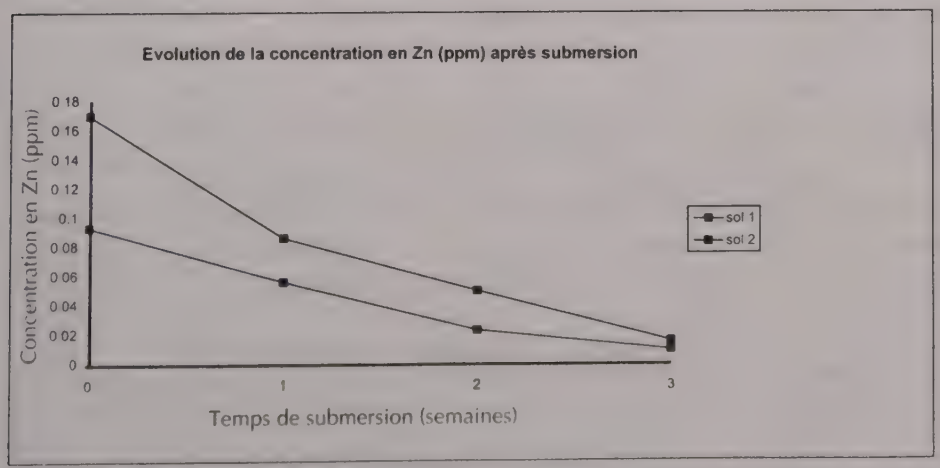


Figure 2. *Evolution de la concentration en Zn (ppm) après submersion.*

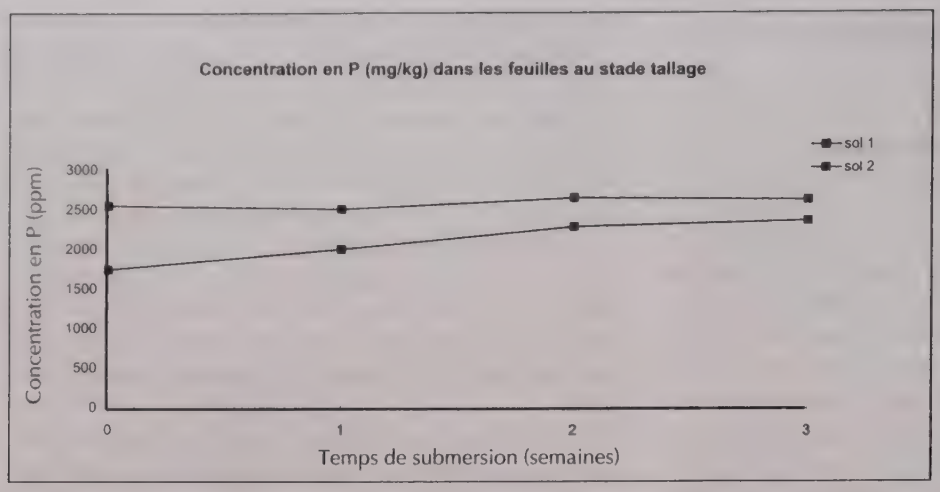


Figure 3. *Concentration en phosphore (mg/kg) dans les feuilles au stade tallage.*

Essai sur la fertilisation azotée

Protocole de travail

Des recherches antérieures au Burundi avaient prouvé que les larges granules d'urée appliqués en profondeur (LGUP) étaient supérieurs à la perlurée appliquée en surface (PU) comme le montre le tableau VII. Un essai en pots a été réalisé dans le but de voir si la supériorité des LGU est due effectivement au placement en profondeur (7 cm) ou à leur taille. L'influence du bore, 3 % de B contenu dans les larges granules d'urée (LGU + B), sur la diffusion et l'hydrolyse de l'urée a été également étudiée. Le sol provient du marais de Bukemba et la variété utilisée est la Facagro 59. Les traitements ont été appliqués au stade tallage à raison de 300 ppm pour chaque source d'urée — Témoin, LGUP, LGUS*, LGU + B, PU — (LGUS : larges granules d'urée appliquée en surface). La cinétique de l'urée dans l'eau de submersion a été suivie pendant les huit premiers jours après application des traitements. Les rendements en grains ont également fait l'objet de cette étude.

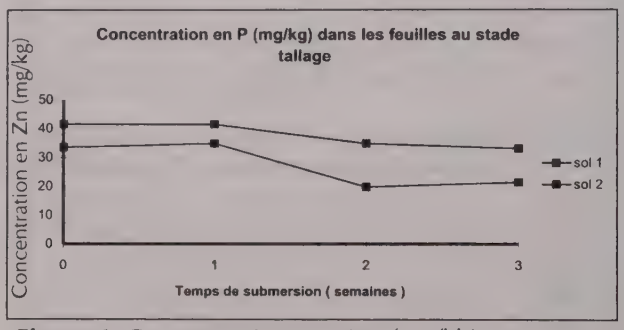


Figure 4. *Concentration en zinc (mg/kh) dans les feuilles au stade tallage.*

Tableau VI. Rendements en grains par pot des différents traitements (en grammes).

Semaines de submersion	0	1	2	3
Sol 1 (rendement en g.)	4,71 a	5,27 a	6,22 a	7,22 a
Sol 2 (rendement en g.)	9,28 a	9,61 a	10,5 a	10,74 a

Tableau VII. Résumé des recherches antérieures au Burundi sur la fertilisation azotée (CHRISTOPHE, 1982).

Auteur	Lieu	Variétés	Traitement	Fumure	Rendement (t/ha)
B. CHRISTOPHE	Kireka (Kirundo)	57-59	Témoin	0	4,63-6,11
			PU	60 unités N	4,63-6,69
			LGU en profondeur	60 unités N	6,05-7,45

PU : perlurée appliquée en surface
LGU : larges granules d'urée

Cinétique de l'urée dans l'eau de submersion

La cinétique de l'urée dans l'eau de submersion est présentée respectivement dans les tableaux VIII et IX et dans les figures 5 et 6.

La dissolution de l'urée provenant des LGU appliqués en surface a été plus lente que celle provenant de la perlurée. La concentration en urée a été réduite par l'application des LGUS, et encore plus par celle des LGU + B en surface. Une très faible quantité d'urée des LGU placés à 7 cm de profondeur a été retrouvée dans l'eau de submersion (figure 5).

La figure 6 montre, comme pour l'azote uréique, que la concentration en azote-ammoniacal est presque nulle dans l'eau de submersion avec le placement en profondeur des LGU. Elle est pour le traitement LGU + B inférieure à celle des traitements LGUS et PU, la présence du bore ayant bien agi comme inhibiteur de l'uréase. Une différence moins importante est également observée entre les LGUS et PU, la concentration en azote ammoniacal étant plus élevée pour le traitement PU.

Les rendements en grains

Les résultats des rendements sont présentés au tableau IX. Les rendements et le classement en groupes homogènes montrent que les LGU placés en profondeur sont supérieurs aux LGU placés en surface. Cette supériorité fut confirmée par un autre

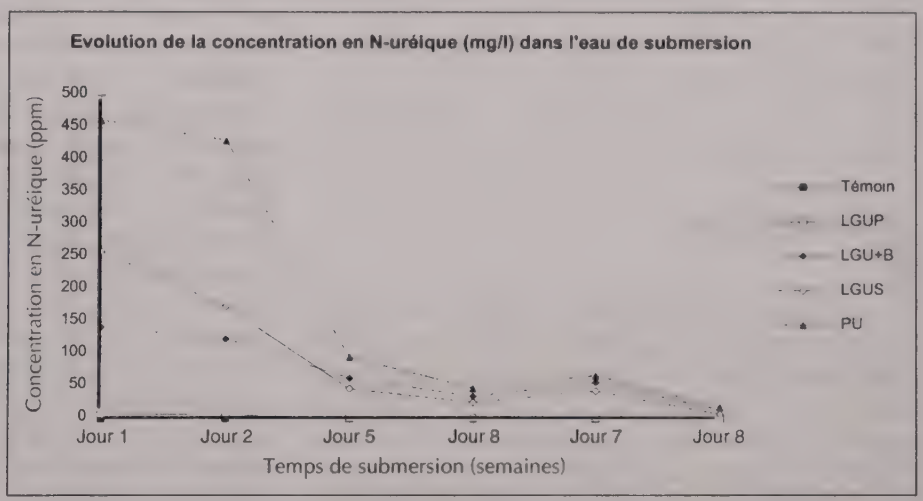


Figure 5. *Evolution de concentration en azote uréique (mg/l) dans l'eau de submersion.*

Tableau VIII. Concentration en N-uréique (mg/l) des différents traitements pendant les huit jours après leur application.

Traitement	Jour 1	Jour 2	Jour 5	Jour 6	Jour 7	Jour 8
Témoin	0	0	0	0	0	0
LGUP	6,87	5,38	1,19	0,64	1	0,13
LGU + B	141,89	123,43	62,48	34,57	56,03	14,48
LGUS	258,99	173,43	45,99	25,32	42,83	7,06
PU	462,12	431	95,32	46,88	66,9	18,43

Tableau IX. Concentration en N-NH4 + (mg/l) des différents traitements pendant les huit jours après leur application.

Traitement	Jour 1	Jour 2	Jour 5	Jour 6	Jour 7	Jour 8
T	0	0	0	0	0	0
LGUP	0,017	0,054	0,038	0,031	0,053	0,062
LGU + B	0,914	0,559	1,057	1,174	1,345	1,129
LGUS	1,3	0,895	1,769	1,87	2,046	1,922
PU	1,375	1,387	2,114	2,207	2,371	2,137

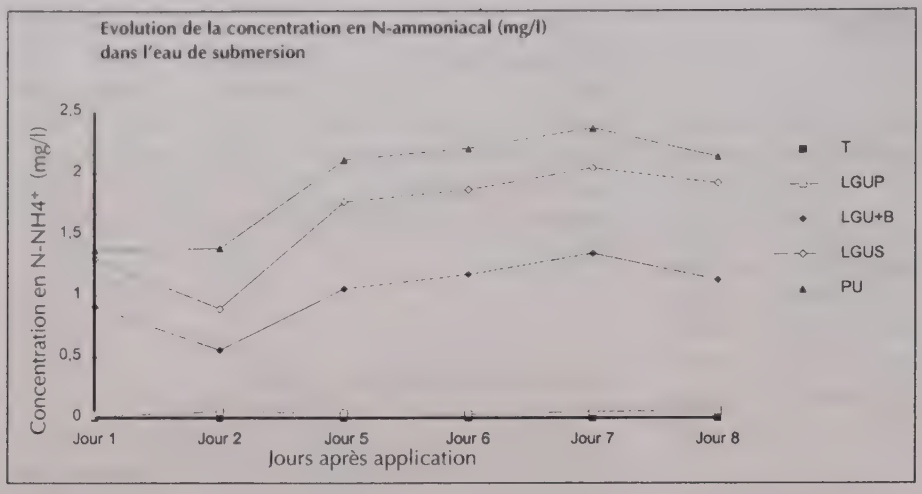


***Figure 6**. Evolution de concentration en azote ammoniacal (mg/l) dans l'eau de submersion.*

essai sur terrain à Bukemba (FLORENCE, 1992). Bien que, statistiquement, il n'y ait pas de différences entre les LGU + B et les LGUS (tableau X), on remarque que le rendement des LGU + B est supérieur à celui des LGUS. Il en est de même pour les LGUS qui ont un rendement supérieur à celui de PU.

Conclusion

Les analyses classiques du sol du marais de Bukemba ont montré qu'il est pauvre en azote et en phosphore, riche en bivalents mais avec une dominance du magnésium sur le calcium. Elles ont montré, en outre, que la submersion n'a pas eu d'influence sur les propriétés chimiques jusqu'au jour du repiquage. Cependant, on peut remarquer une augmentation de la concentration du phosphore après 6 semaines de submersion qu'on peut attribuer en « partie » à la réduction des phosphates ferriques en phosphates ferreux plus solubles. Les transformations physico-chimiques, ainsi que les intéractions entre les éléments nutritifs qui s'opèrent dans le sol, sont très complexes et ne sont pas encore clairement comprises. Mais dans le marais de Bukemba, l'essai sur terrain a prouvé que la submersion a eu une influence positive sur la nutrition minérale du riz. Le rendement a augmenté avec le temps de submersion. Cette pratique — *le puddling* —, doit être vulgarisée chez les paysans, en particulier ceux de Bukemba, mais elle doit être associée à l'application des engrais, l'efficience du DAP ayant été prouvée dans ce marais. L'action du *puddling* a donc été intéressante sur l'efficience des investissement-engrais. La carence en zinc doit être surveillée étant donné que le marais est riche en bivalents, danger lié à l'alcalinisation par un massif dolomitique, celle-ci induisant cette carence en zinc. L'essai sur la fertilisation azotée a prouvé que la supériorité des LGU appliqués en profondeur, par rapport aux LGU et PU appliqués en surface, est effectivement due au placement en profondeur et non à la taille des LGU. Ces derniers sont légèrement supérieurs à la PU, tous étant appliqués en surface. Le bore contenu dans les LGU + B a prouvé son effet d'inhibiteur sur l'hydrolyse de l'urée et confirme que les LGU + B sont plus efficaces que les LGU et PU, les trois traitements étant appliqués en surface.

Tableau X. Rendements par pot des différents traitements et classement en groupes homogènes (en grammes).

Traitement	Témoin	LGUP	LGU + B	LGUS	PU
Rendement (en g.)	2,72 d	11,05 a	8,11 b	6,89 bc	6,46 c

Tableau XI. Résumé des recherches antérieures au Burundi sur la fertilisation azotée (FLORENCE, 1992).

Auteur	Lieu	Variété	Traitement	Fumure	Rendement (t/ha)
D. FLORENCE	Bukemba (Rutana)	59	Témoin	0	1,83
			PU	70 unités N	2,70
			LGU en surface	70 unités N	2,87
			LGU en profondeur	70 unités N	3,67

Références bibliographiques

ABROL I.P. *et al.*, 1985. Influence of salinity and alcalinity on properties and management of ricelands. Int. Rice Res. Inst., Los Baños, Philippines. Soil Physics and Rice : 183-198.

BLACK C.A., 1957. Soil-plant relationships. New York, Etats-Unis, John Wiley et Sons, 332 p.

BOELS C., 1992. Fertilisation azotée en riziculture d'altitude irriguée au Burundi. Mémoire de fin d'étude, ULB, 124 p.

BROADBENT F.E., 1978. Nitrogen transformation in flooded soils. Int. Rice Res. Inst., Los Baños, Philippines. Soils and Rice : 543-559.

DE DATTA S.K., 1978. Fertilizer management for efficience use in wetland rice soils. Int. Rice Res. Inst., Los Baños, Philippines. Soils and Rice : 671-681.

DE DATTA S.K., 1981. Principes and practices of rice production. New York, Etats-Unis, John Wiley et Sons, 102 p.

DERAY F., 1992. Fertilisation azotée en riziculture d'altitude irriguée au Burundi. Mémoire de fin d'étude, ULB, 102 p.

FRANS R.M., NICO van B., 1978. Rice : Soil, Water, Land. Int. Rice Res. Inst., Los Baños, Philippines, 185 p.

PONNAMPERUMA F.M., 1972. The chemistry of submerged soils adv. Grono. 24 : 29-26.

PONNAMPERUMA F.M., 1978. Electrochemical changes in submerged soils and the growth rice. Int. Rice Res., Inst. Los Baños, Philippines. Soils and Rice : 361-436.

PATRICK W.H., REDDY J.R., C.N., 1978. Chemical changes in rice soils. Int. Rice Res. Inst., Los Baños, Philippines. Soils and Rice : 361-427.

SANCHEZ P., 1976. Properties and management of soils in tropics. New York, Etats-Unis, John Wiley, 618 p.

SOTTIAUX G., OPDECAMP L., BIGURA G., FRANKART R., 1988. Carte des sols du Burundi (1/250000). Notice explicative et annexes analytiques. Publ. Serv. Agricole n° 9. AGCD, Bruxelles, Belgique, 83 p.

YOSHIDA S., 1981. Fundamentals of rice crop science. Int. Rice Res. Inst., Los Baños, Philippines, 269 p.

POISSON C., RAKOTOARISOA J., (édit.). 1997
Riziculture d'altitude
Actes du séminaire riziculture d'altitude.
29 mars-5 avril 1996, Antananarivo, Madagascar.
Colloques, CIRAD-CA, Montpellier, France, 272 p.

Le semis direct pour résoudre le problème de maîtrise de l'eau en riziculture de bas-fond sur les hautes terres malgaches

P. RASOLOFO, X. RAKOTONJANAHARY, J. RAVATOMANGA, D. RAVOHITRARIVO
DRR/FOFIFA, BP 1690, Antananarivo 101, Madagascar

Résumé — Sur les hautes terres centrales malgaches, la riziculture de bas-fond dépend surtout du régime pluviométrique pour son irrigation. Depuis un certain temps, des changements erratiques du régime pluviométrique ont incité la recherche à trouver une ou des techniques appropriées pour résoudre les problèmes liés au retard de mise en place des cultures et à la submersion des rizières après repiquage. Bien que le semis direct soit une pratique traditionnellement peu suivie par les paysans sur les hauts plateaux où la maîtrise de l'eau ne permet qu'une seule culture de riz par an, cette méthode de culture paraîtrait moins risquée que le repiquage. En saison *vakiambiaty* — de novembre à mai —, le rendement en paddy obtenu sur des cultures semées directement en poquets-lignes, ou en lignes, est nettement plus élevé par rapport au repiquage. Par ailleurs, des opérations en amélioration variétale ont permis de disposer de quelques lignées/variétés prometteuses, comme X 265 (IR15579-24-2) et 2822, adaptées à ces conditions de culture. Toutefois, beaucoup d'efforts restent encore à déployer dans ce domaine.
Mots-clés : riziculture, pyriculariose, semis, Madagascar.

Introduction

Sur les hautes terres centrales malgaches, conventionnellement définies comme d'altitude > 1 000 m, où la densité de population est la plus élevée par rapport au reste de l'île, — environ 39 personnes/km^2 —, la riziculture aquatique couvre une surface de environ 400 000 ha (RAKOTONJANAHARY, 1995) sur les quelques 1 200 000 ha de surfaces rizicultivées réparties dans toute l'île.

Cependant, il est généralement admis que la riziculture sans maîtrise d'eau est de loin la plus importante à Madagascar et couvrirait une superficie estimée à 70-80 % de la superficie totale des rizières aquatiques (RAVATOMANGA *et al.*, 1995). Le rendement, toutefois, y est faible — en moyenne 2,0 t/ha —, et de surcroît stagnant, et n'arrive pas à suivre le rythme d'une démographie toujours croissante.

Formulation du problème

Ayant considéré que des augmentations notables de rendement n'étaient possibles qu'avec des conditions idéales de culture et notamment une maîtrise complète de l'eau, la recherche a tout d'abord porté ses efforts sur la riziculture irriguée. Des techniques d'intensification ont été préconisées, pépinière améliorée, respect du calendrier cultural avec repiquage de plants jeunes, bonne conduite de l'irrigation, fertilisation minérale et organique à dose moyenne à élevée, emploi de variétés améliorées à haut rendement, etc. Mais l'adoption de ces techniques s'est toujours révélée difficile pour la majorité des paysans ; leur vulgarisation n'ayant également touché que les rizières à très bonne maîtrise d'eau. Ce qui a amené la recherche à revoir

son approche, à considérer les conditions réellement vécues sur le terrain et telles qu'elles le resteraient encore pendant très longtemps : des rizières à mauvaise maîtrise de l'eau étroitement liée à des problèmes très complexes et très variables dans le temps et l'espace. De tels problèmes sont en général d'ordre climatique, socioéconomique et hydro-agricole, c'est pourquoi le calendrier rizicole s'étend d'août à mai en trois saisons culturales : le *vary aloha,* le *vary siha* (saison intermédiaire) et le *vakiambiaty.*

En *vakiambiaty,* ces rizières sans maîtrise d'eau se caractérisent par un régime hydrologique fluctuant, étroitement lié à la pluviométrie et caractérisé par une irrigation tardive et/ou une alternance de sécheresses et d'inondations. Tel régime hydrologique occasionne très souvent un retard sur le calendrier cultural dû à l'existence de trous de sécheresse pendant la période normalement observée de mise en place. De plus, de fortes pluies orageuses — qui durent parfois deux à quatre jours après cette période —, peuvent engendrer une submersion relativement longue et profonde des rizières (RAVATOMANGA *et al.,* 1995). Telle submersion se passe, dans la majorité des cas, avant que les jeunes plants ne s'enracinent fermement dans le sol entraînant ainsi un nombre considérable de manquants dans la parcelle fraîchement repiquée (RAKOTONJANAHARY, 1995). Par ailleurs, le repiquage de plants âgés peut affecter significativement le rendement en paddy des cultivars utilisés lorsque ceux-ci sont de cycle court (FOFIFA-DRA, 1987). Et l'utilisation de variétés traditionnellement à cycle long peu tolérant au froid en conjugaison avec une submersion prolongée et l'effet du froid pendant les dernières phases de végétation, favorise la stérilité paniculaire (RAKOTONJANAHARY, 1995). A tout cela peuvent également s'associer des problèmes de carences minérales, notamment en phosphore et en soufre (RABESON, 1991), parfois de toxicité ferreuse et de pyriculariose sur ces rizières des hautes terres centrales.

Justification du semis direct

Face à cette situation, la recherche s'est demandée quel paquet technique pourrait être cédé aux paysans pour pouvoir se subvenir à leurs besoins à travers un rendement meilleur et stable. Qu'en est-il du semis direct ?

Sur les hautes terres centrales la pratique du semis se justifie par des raisons bien précises : soit pour pallier l'insuffisance de main d'œuvre agricole, soit pour éviter tout retard dans le calendrier cultural. En général, c'est le semis en foule dans une rizière préalablement submergée, donc à plus ou moins bonne maîtrise d'eau, qui est le mode le plus suivi. Toutefois, dans cette communication, l'accent sera surtout mis sur le mode de semis direct « à sec » (culture pluviale exondée en début de cycle) pour la saison *vakiambiaty* pour profiter des premières pluies de novembre à décembre dans les rizières où le repiquage n'est possible qu'en janvier et février pour éviter l'effet néfaste des inondations de janvier et février.

Méthodologie

Approche pluridisciplinaire tant en amélioration variétale qu'en agrotechnie. En amélioration variétale, des essais de criblage utilisant plus d'une centaine de lignées/variétés ont été faits pour identifier celle(s) qui peuvent le mieux s'adapter aux conditions de mauvaise maîtrise d'eau et qui présentent une bonne tolérance à la sécheresse en début de cycle et à la submersion durant la phase végétative du cycle. En plus des essais variétaux effectués en station, des tests multilocaux ont été également entrepris utilisant des lignées/variétés, certaines déjà en stade de pré-vulgarisation.

Dans le domaine de l'agrotechnie, différentes méthodes de semis ont été essayées : semis en foule, en poquets-lignes, en lignes. Il en est de même concernant la dose, la source, la période et le mode d'apport d'engrais-minéraux ainsi que différentes méthodes de lutte (sarclages manuel et mécanique) contre les mauvaises herbes.

Résultats

La variété IR15579-24-2 (x 265) est appréciée pour sa précocité, sa rusticité et sa résistance à la pyriculariose. Elle est en outre tolérante à la toxicité ferreuse. La variété 2822 (obtenue par mutation de *rojomena* locale) est appréciée pour sa paille haute adaptée aux grandes hauteurs d'eau et sa rusticité. Elle est cependant assez sensible à la pyriculariose lorsque les conditions sont favorables à la maladie.

Toutefois, pour les rizières avec alternance d'assec et de submersion, de nombreux travaux de sélection et/ou de création restent encore à réaliser et auront pour principaux objectifs :

– l'acquisition d'une large adaptabilité pour la majorité des zones cultivées des hautes terres

centrales et une grande flexibilité à différentes saisons culturales. Celles-ci impliquent une large tolérance aux contraintes majeures principalement en régime hydrique instable, aux conditions de sol défavorables et aux maladies ;

– l'acquisiton de lignées précoces premettant de réduire les travaux au champ d'une part, et la conduite de cultures de contre-saison rentables, d'autre part. Dans ce cas, une bonne maîtrise d'eau devrait permettre une double riziculture durant la saison agricole en cours ou au moins l'exploitation des repousses de riz pour la production en grains ou pour l'alimentation animale pendant la saison sèche ;

– l'identification et/ou la création de variétés à cycle court à moyen ayant une bonne vigueur et une croissance rapide, une hauteur de paille moyenne, une tolérance à la sécheresse, à la submersion, à la toxicité ferreuse pour certaines conditions, une capacité de tallage en conditions difficiles, une capacité d'enracinement, un port de plant requis et une tolérance aux maladies (pyriculariose) et aux insectes terricoles ;

– l'identification et/ou la création de variétés à bonne qualité de grain.

En saison *vakiambiaty,* les résultats obtenus durant la saison 1993/1994 (tableaux I et II) montrent la supériorité du semis direct par rapport au repiquage (plants âgés) en conditions difficiles (arrivée tardive des pluies, puis fortes crues à la suite du passages de cyclones). Les plants semés directement résistaient mieux à l'inondation que les plants repiqués. En effet, le semis direct a permis d'avancer la date de mise en place en profitant de quelques millimètres de pluies tombant en novembre et décembre. Ces pluies sont suffisantes pour faire germer les graines mais insuffisantes pour mettre en boue les rizières pour le repiquage, pour éviter le repiquage de plants âgés, et pour avoir des plants robustes à enracinement profond, résistant mieux à la sécheresse et à l'inondation. En outre, le semis direct raccourcit le cycle et améliore la fertilité des épillets.

Le problème principal en semis direct est cependant l'incidence sévère des mauvaises herbes en début de végétation, quand le riz pousse pratiquement en pluvial sur sols exondés. Pour cela, le sarclage précoce — 15 j après levée — est généralement efficace. L'utilisation d'une houe rotative, spéciale pour les cultures sèches, mise au point par l'IRRI, a donné des résultats satisfaisants, ce qui nécessite un semis en lignes ou en poquets-lignes.

Tableau I. Rendements de quelques variétés de riz sur différentes techniques de mise en place obtenus en essais multilocaux en 1993-1994.

	Semis direct t/ha	Repiquage t/ha	Moyenne variété
X 944	2 437	2 166	2 302
X 415	2 487	2 388	2 437
2 822	2 823	2 210	2 516
1 285 (t)	2 241	1 790	2 015
Moyenne	2 497	2 138	
Technique culturale	117 %	100 %	

Tableau II. Rendements obtenus avec la variété X265 (IR15579-24-2) sur différentes techniques de mise en place à la station expérimentale de Belanitra, en 1993-1994.

Traitements	Rendements (kg/ha)
Repiquage plants 30 j - décembre	5 405
Dapog plants 15 j - décembre	4 242
Semis direct 10 novembre	5 329
Semis direct 26 novembre	5 226

Conclusion

Les résultats présentés sont soit déjà vulgarisés, soit en prévulgarisation (diffusés et testés chez les paysans coopérateurs). Le suivi de leur adoption est très important pour mesurer leur impact mais aussi pour réorienter les programmes de recherche si besoin est. Toutefois, les recommandations suivantes sont faites :

– labour profond suivi de 2 hersages pour éliminer les rhizomes ;

– semis direct à sec en poquets-lignes pour faciliter le sarclage ;

– utilisation d'herbicides ou sarclage manuel à temps.

En matière d'amélioration variétale, les priorités seront axées sur :

– la précocité, la vigueur des plants pendant les premiers stades de végétation ;

– la capacité d'enracinement, la résistance à la verse ;

– la compétitivité contre les adventices ;

– la tolérance à la toxicité ferreuse, aux insectes terricoles et aux maladies, en particulier la pyriculariose.

Références bibliographiques

FOFIFA-DRA, 1987. Recherche variétale pour la riziculture à bonne maîtrise de l'eau. Hauts-Plateaux. Rapport de campagne 198, 11 p.

RABESON R., 1991. Réponse du soufre en riziculture inondée de hauts plateaux malagasy. *In* Actes du séminaire Bas-fonds et riziculture, Antananarivo, Madagascar, 9-14 décembre 1991, p. 359-365.

RAKOTONJANAHARY X., 1995. New rice varieties for the higlands of Madagascar : a tool for improving the productivity and income in ricebased farming systems. *In* Fragile lives in fragile ecosystems. Proceedings of the International Rice Research Conference, 13-17 février 1995, Manille, Philippines, IRRI, p. 757-765.

RAVATOMANGA J., RAKOTONJANAHARY X., RAVAONORO S., RAVOHITRARIVO D., RASOLOFO P., RABARIMANDIMBY B., ANTSOANIRINA A., RANDRIANANTENAINA A., RASOAFALIMANANA M., 1995. Approche multidisciplinaire de la résolution des problèmes de non maîtrise d'eau. Conférence de l'Académie malgache, mars 1995, Antananarivo, Madagascar, 14 p.

POISSON C., RAKOTOARISOA J., (édit.), 1997
Riziculture d'altitude
Actes du séminaire riziculture d'altitude.
29 mars-5 avril 1996, Antananarivo, Madagascar
Colloques, CIRAD-CA, Montpellier, France, 272 p.

Le SRI, système de riziculture intensive

M. RAZAKAMIARAMANANA
FOFIFA-DRR, BP 1690, Antananarivo, Madagascar

Résumé — Le SRI (Système de riziculture intensive), repose sur les 4 principes suivants : repiquage de plants très jeunes, repiquage à un brin en poquets très espacés, sarclages précoces et fréquents et avec un minimum d'eau. Par rapport à la culture traditionnelle, il permet de doubler les rendements. Les principales contraintes sont la nécessité d'une très bonne maîtrise de l'eau, un planage quasi-parfait, la délicatesse du repiquage, des temps de travaux très longs et une bonne fertilité du sol. Dans les conditions qui le permettent, le SRI peut être amélioré en repiquant des plants de 22 jours à raison de 3 brins par touffe et en utilisant des variétés améliorées. Comparativement aux techniques culturales couramment pratiquées et/ou vulgarisées, le SRI, avec 4 808 kg/ha, est équivalent à FN1 et est nettement dépassé par FN2 (5 432 kg/ha), laquelle fait intervenir des engrais minéraux, et ce, quelle que soit la culture de contre-saison. La pomme de terre est le meilleur précédent cultural. Dans ce cas, FN1 serait le plus économiquement rentable. Si les semences font défaut, le SRI serait la technique la plus intéressante. Si la culture de contre-saison est le blé, FN2 serait la plus viable.
Mots-clés : Madagascar, riz, mode de repiquage, contre-saison, socioéconomique.

Introduction

Il fut une période où le SRI (Système de riziculture intensive) fit couler beaucoup d'encre dans la grande île. En 1991, il fit l'objet d'une forte médiatisation, il fit la une de plusieurs journaux, on le qualifia de miraculeux car il peut permettre un rendement de plus de 10 t/ha (TEFY SAINA *et al.*, 1994). Une telle circonstance n'a pas manqué d'attirer l'attention de la recherche — et plus particulièrement du FOFIFA —, le centre national de recherche agricole. En fait, si miraculeux que soit ce système, les techniques sont toujours susceptibles d'évoluer (TEFY SAINA *et al.*, 1995). Mais cela n'empêche pas du tout sa pleine vulgarisation appuyée — ou même préconisée par l'Etat —, malgré les problèmes et les contraintes de maîtrise d'eau dans la plupart des régions à vocation rizicole du pays, de délicatesse de la technique elle-même, de viabilité économique et de faisabilité technique de ce système. En effet, le nombre de pratiquants passait de 1 000, en 1991, à 150 000 en 1995 (TEFY SAINA, 1995). C'est la raison pour laquelle FOFIFA a entrepris, dès la campagne 1993-1994, un certain nombre d'activités en guise de contribution à l'explication scientifique, ne serait-ce qu'en partie, du bien-fondé et de la performance de ce système dont les résultats font l'objet du présent document. Pour mieux définir les actions conduites, il convient de présenter le SRI.

Caractéristiques générales du SRI

Son origine

Ce système de production rizicole a été créé par le père jésuite Henri de LAULANIE alors qu'il exploitait les données théoriques sur les possibilités de tallage d'un plant de riz de Katayama. L'appellation de système de riziculture intensive fut attribuée à ce système par l'association Tefy Saina, en 1991 (TEFY SAINA-TSINJOEZAKA, 1994).

Atouts et principes du SRI (TEFY SAINA, 1992)

Le SRI repose sur les 4 principes suivants :
– repiquage de plants très jeunes de 6-15 jours au maximum ;
– repiquage à 1 brin très espacé (25 cm x 25 cm ou plus selon la fertilité du sol ;
– sarclages précoces et fréquents (tous les 8 jours du moins durant le premier mois après repiquage).
– oxygénation du sol par conduite de la rizière avec un minimum d'eau.

Ces principes permettraient de doubler facilement le rendement outre les autres points ci-après qui en découlent : économie de semence (5-7 kg pour 1 ha de rizière) et économie d'eau (minimum d'eau sur la rizière).

Contraintes

Bien que le nombre de pratiquants augmente de façon explosive, le SRI ne peut être vulgarisé partout pour plusieurs raisons.

Il lui faut une parfaite maîtrise d'eau, non seulement pour être sûr du jour du repiquage, mais aussi et surtout durant le premier mois, au moins, après repiquage (RAZAKAMIARAMANANA, 1993). Ce qui n'est pas toujours le cas dans la majeure partie des régions à vocation rizicole de l'île (sécheresse ou inondation).

Un planage quasi-parfait de la parcelle avant repiquage est impératif sinon le minimum d'eau nécessaire ne sera pas maîtrisé (RAZAKAMIARAMANANA, 1994).

L'adhésion et la réceptivité des paysans, compte-tenu de la délicatesse de la technique elle-même, sont indispensables.

Un temps de travaux plus long est requis (notamment pour le repiquage, la maîtrise d'eau et le sarclage), ce qui a immanquablement des répercussions sur le coût de production présenté ci-après.

La fertilité propre du sol est importante, sur sol pauvre, il a été constaté que le pouvoir de tallage du très jeune plant de riz a fortement diminué tout comme sur les autres techniques FN ou autres.

La stabilité du rendement est à prendre en compte. Il faut déterminer le risque encouru par les paysans si, pour une raison quelconque, beaucoup de touffes avec l'espacement qu'elles ont viennent à manquer, par exemple.

Actions conduites et résultats

Descriptif et méthode d'approche

Les actions conduites ont été menées en étroite collaboration avec des partenaires (paysans, organismes de développement de la région) pour un triple objectif :
– raffermir davantage les liens entre les différentes entités (recherche-paysans-organismes de développement) ;
– action vitrine menée en milieu réel (évaluation/appréciation du monde rural qui en est d'ailleurs le destinataire final) ;
– essayer de raccourcir les différentes étapes de la recherche pour obtenir des résultats. De plus, c'est une technique qui est déjà pratiquée par les paysans sous l'égide de l'IREDEC avec qui elles avaient été menées.

Elles portent surtout sur les éléments suivants :
– quelques facteurs influençant ce système, comme l'âge des plants à repiquer, l'écartement entre les touffes, le nombre de brin(s) par touffe et la variété ;
– la comparaison du SRI aux autres techniques de production communément pratiquées et/ou vulgarisées actuellement.

Elles ont été conduites sur sol hydromorphe minéral humique à pseudogley d'origine alluvio-colluviale dans le PPI (petit périmètre irrigué) de Manandona, situé à environ 1 350 m d'altitude.

Résultats

Quelques facteurs influençant le SRI

Pour un facteur étudié, les autres sont maintenus constants aux conditions optimales préconisées pour ce système, c'est-à-dire :
– l'espacement : 25 cm x 25 cm, à 1 brin/touffe, variété locale et plant de 15 jours ;
– le dispositif expérimental : bloc simple à 4 ou 5 répétitions suivant la disponibilité en surface de la parcelle du paysan ;
– le précédent cultural : blé fertilisé avec 5 t/ha de fumier.

Age des plants à repiquer

Deux âges ont été testés (15 et 22 jours) comparativement à 30 jours (âge vulgarisé actuellement).

La remarque suivante peut être faite. A 8 jours, les grains de paddy viennent juste de germer si bien qu'il n'était pas possible de les repiquer à cet âge-là, ce qui explique le recours aux plants de 15 jours : le jour 1 étant compté au moment du trempage.

L'analyse statistique a montré qu'aucune différence significative n'apparaît entre les âges testés en terme de rendement en paddy (cv = 9,2 %). C'est en totale conformité aux résultats acquis en 1993-1994 (RAZAKAMIARAMANANA, 1993). Les résultats sont présentés dans la figure 1. Le rendement moyen obtenu est de 4 524 kg/ha.

L'âge de 22 jours serait meilleur puisque, à cet âge, en raison de son plus fort tallage (nombre de panicules/m^2 plus élevé) (tableau I), les plants sont plus faciles à repiquer réduisant ainsi énormément le coût de production occasionné surtout par le nivellement, la maîtrise du minimum d'eau, le sarclage. Son rendement est équivalent à celui de plants de 15 jours.

L'étude des composantes de rendement a mis en évidence que ce sont le nombre de panicules par touffe, donc par m^2, et le poids de 100 grains pleins qui expliquent le mieux toute différence de rendement observée (figure 2) (CHABANNE, 1992).

Tableau I. Le tallage fertile.

Traitement	Tallage fertile	
	Nombre panicules/touffe	Nombre panicules/m^2
15 jours	11,2	178
22 jours	11,5	181
30 jours	10,0	15,9

Performance des variétés améliorées

Les variétés 1632, 473, 2067, x 265 et 1 285 ont été comparées à la variété locale Telovolana la plus cultivée dans la région, selon la technique SRI.

Il existe une différence hautement significative entre les variétés testées d'après l'analyse de variance.

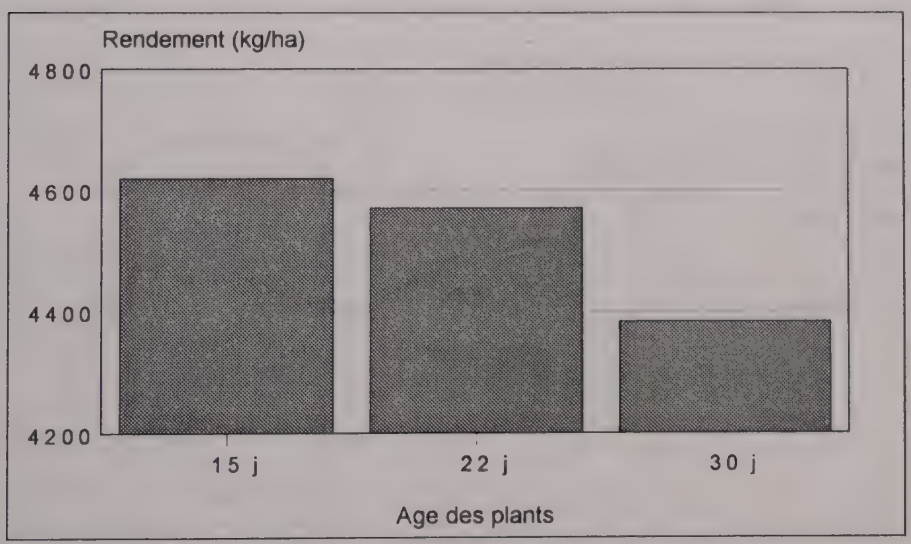


Figure 1. *Rendements obtenus à Manandona en fonction de l'âge des plants (1994-1995).*

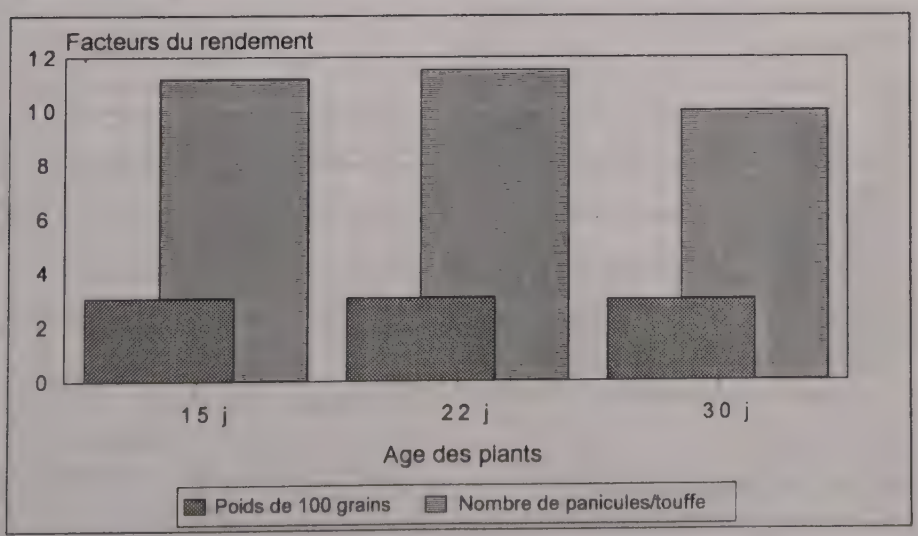


Figure 2. *Facteurs de rendement expliquant au mieux toute différence de rendement.*

Les variétés améliorées, mis à part la 1285, se sont montrées meilleures que la Telovolana. Elles sont statistiquement équivalentes en terme de production de paddy, ce qui corrobore les résultats acquis en 1993-1994 (tableau II) (RAZAKAMIARAMANANA, 1993). Il est donc recommandé d'utiliser les variétés améliorées même pour ce système contrairement à ce que l'on prônait avant. Leurs performances s'expliquent par leur plus grand nombre de grains/m^2 se traduisant par leur nombre de panicules par touffe/m^2, donc leur bon tallage (figure 4) plus élevé et leur assez bon taux de fertilité (figure 3) (CHABANNE, 1993).

Nombre de brins par touffe

Trois traitements ont été testés : il s'agit de comparer le repiquage à 1 brin, 2 brins et 3 brins.

Le repiquage à 3 brins/touffe avec 4 994 kg/ha s'est montré meilleur et diffère statistiquement des autres à 1 et à 2 brins, lesquels sont équivalents. Les résultats sont consignés dans le tableau III.

Le taux de fertilité et le nombre de grains par panicule expliquent le meilleur rendement du repiquage à 3 brins comme le montrent le tableau IV et la figure 5 malgré le plus grand nombre de grains/m^2 fourni par le repiquage à 1 brin, lequel n'arrive pas à compenser ses plus faibles taux de fertilité et nombre de grains par panicule.

L'évolution du tallage (figure 6) montre que vers le stade fin tallage (63 jours après repiquage), on a pratiquement le même nombre de talles/touffe pour 3 que 1 ou 2 brins. Il en est de même pour le nombre de panicules/touffe à la récolte.

Tableau II. Comparaison des moyennes des rendements.

Variétés	Rendements (kg/ha)	Groupes homogènes (test de Newman-Keuls 5 %)
1 632	4 294	A
473	4 167	A
2 067	4 139	A
X265	3 965	A
1 285	3 265	B
Locale	3 178	B

Analyse de variance sur le rendement en paddy

Sources de variation	ddl	SCE	Carrés moyens	Test F
Variation totale	23	11 873 202	516 226,19	-
Variation variétés	5	4 761 896	952 379,19	7,84**
Variations blocs	3	5 288 242	1 762 747,48	14,50**
Variation résiduelle	15	1 823 064	121 537,6	

** : significatif au seuil de 1 %
CV : 9,1 %

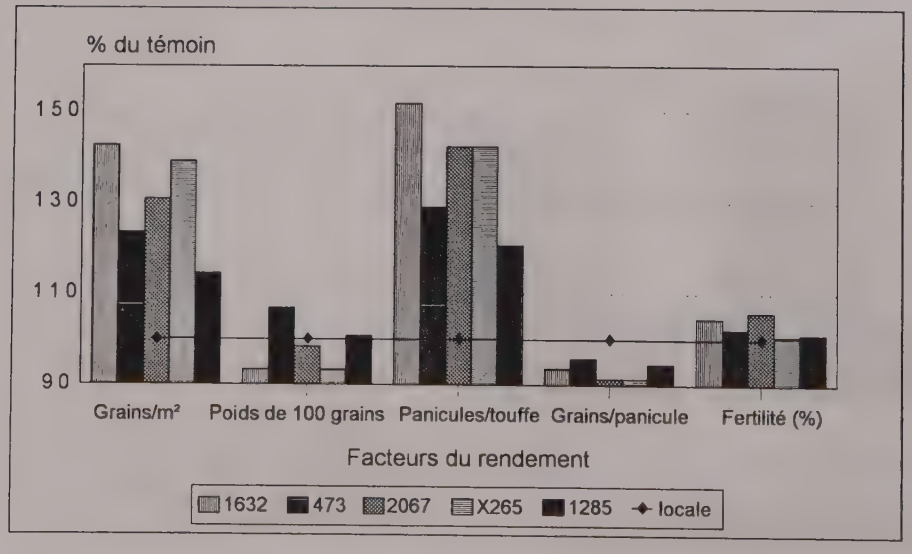


Figure 3. *Facteurs de rendement expliquant la performance des variétés améliorées.*

ECARTEMENT ENTRE LES TOUFFES

Les espacements 25 cm x 25 cm et 30 cm x 30 cm ont été comparés à ceux vulgarisés ou communément pratiqués : 10 cm x 25 cm et 20 cm x 20 cm (BDPA, 1971). La parcelle sur laquelle cet essai a été conduit a beaucoup souffert d'une longue période de sécheresse au cours de son stade végétatif. Il s'agissait d'un problème de maîtrise d'eau bien qu'elle se trouve dans un des PPI récemment réhabilités. Tout cela ne laisse présager que de très faibles rendements en paddy (2,5 t/ha) qui ne permettent pas alors de mettre en évidence des différences significatives entre les écartements testés.

Néanmoins, il permettrait de mettre en évidence (CV = 11,9 %) que plus les touffes sont espacées, plus le nombre de panicules/m² est faible. Ce qui confirme les résultats acquis lors de la précédente campagne sur un même type de sol et sur un précédent pomme de terre, mais localisé à Mahaiza, sur lesquels porteront les analyses présentées dans le tableau V.

On note une différence significative au seuil de 1 % des écartements testés : le traitement 4

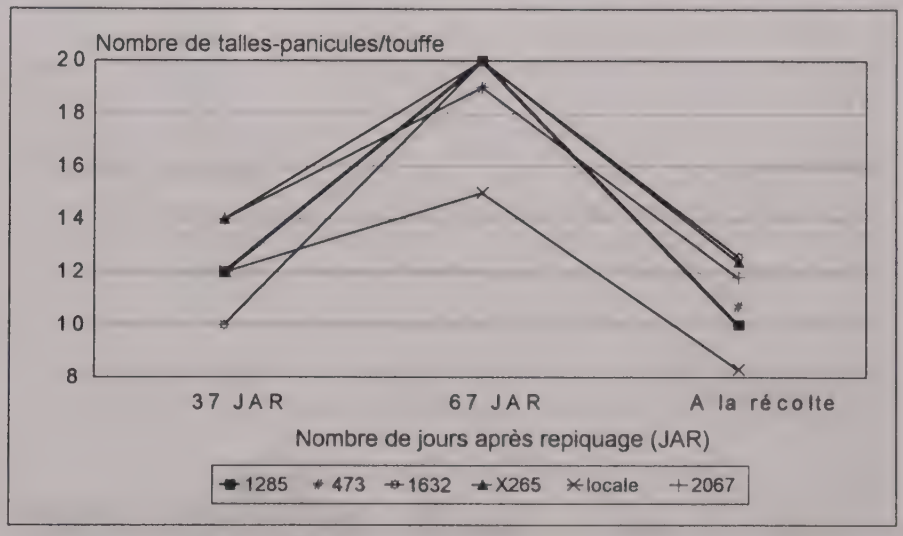


Figure 4. *Evolution du tallage montrant la supériorité des variétés améliorées.*

Tableau III. Comparaison des moyennes de rendement.

Traitements	Rendements (kg/ha)	Groupes homogènes (test de Newman-Keuls, 5 %)
3 brins/touffe	4 994	A
1 brin/touffe	4 677	B
2 brins/touffe	4 674	B

Analyse de variance sur le rendement en paddy

Sources de variation	ddl	SCE	Carrés moyens	Test F
Variation totale	14	2 134 915,2	152 493,95	-
Variation variétés	2	337 523,62	168 761,81	7,64*
Variations blocs	4	1 620 688,62	405 172,16	18,34**
Variation résiduelle	8	176 703,00	22 87,88	

* : significatif au seuil de 5 %
CV : 3,1 %
** : significatif au seuil de 1 %

Tableau IV. Les facteurs du rendement.

Traitements	P 100GP	N. pan/touffe	N. grains/m²	N. grains/pan	Fertilité (%)
1 brin	3,10	12,9	19 180	95	87,6
2 brins	3,06	12,2	18 321	94	84,8
3 brins	2,96	11,9	18 114	95	88,4

(10 cm x 25 cm) a donné le meilleur rendement (6 239 kg/ha). Le tableau V montre que plus les touffes sont écartées entre elles, plus le rendement serait faible, lequel est à corréler avec le faible nombre de panicules fertiles par unité de surface comme le montre la figure 8.

Les facteurs explicatifs des différences de rendement observées sont le poids de 100 grains pleins, le taux de fertilité (tableau VI et figure 7) et le nombre de talles fertiles par unité de surface (figure 8) (CHABANNE, 1993).

Le nombre de panicules par touffe et celui de grains par panicule, tous les deux élevés pour les touffes plus espacées, comparativement aux autres moins écartées, n'arrivent pas à compenser leur faible taux de fertilité et leur faible nombre de panicules par m^2.

Conclusion

Il conviendrait de retenir les points suivants :
– ne pratiquer le SRI que là où les conditions requises sont réunies car il ne tolère aucune anomalie de tout genre, notamment celles dues à la non maîtrise d'eau et à l'enherbement. La fertilité propre du sol n'est pas non plus à négliger. Ce sont les têtes de vallée ou de vallon qui se prêtent le mieux à ce système ;

– repiquer des plants de 22 jours (praticable au repiquage et réduction des coûts de production) à raison de 3 brins par touffe (minimiser ainsi le risque de manquant en cas de mauvaise reprise après repiquage ou pour d'autres raisons) ;

– utiliser des variétés améliorées, en l'occurrence la 1632, la 473, la 2067 ou la X 265 ;

– le taux de fertilité, le poids de 100 grains pleins, le nombre de panicules par unité de surface et/ou le nombre de grains par panicule sont les facteurs expliquant au mieux tout changement de rendement (YOSHIDA, 1981) ;

– l'écartement entre les touffes et la fertilisation à apporter doivent faire l'objet d'une attention particulière. Ils ont une influence sur les facteurs explicatifs cités ci-dessus pour améliorer la production du SRI.

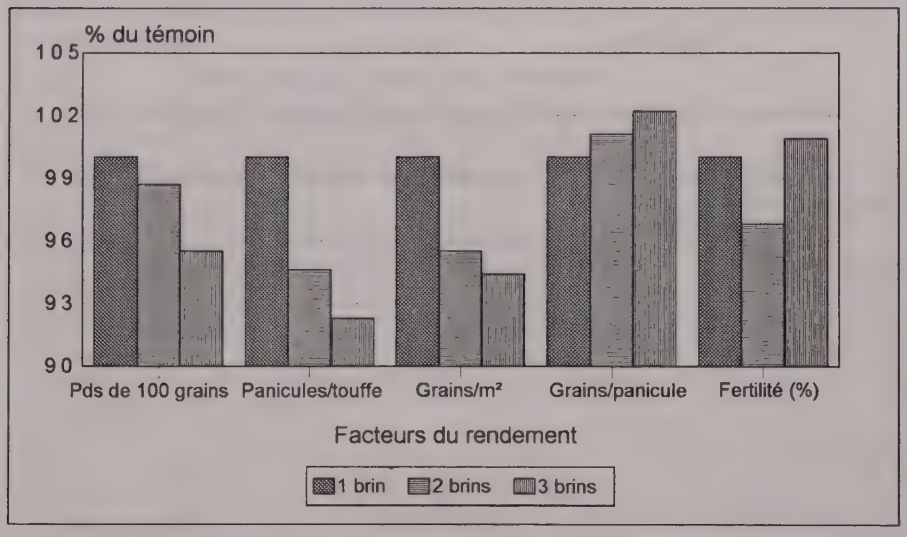


Figure 5. *Facteurs explicatifs des différences de rendement.*

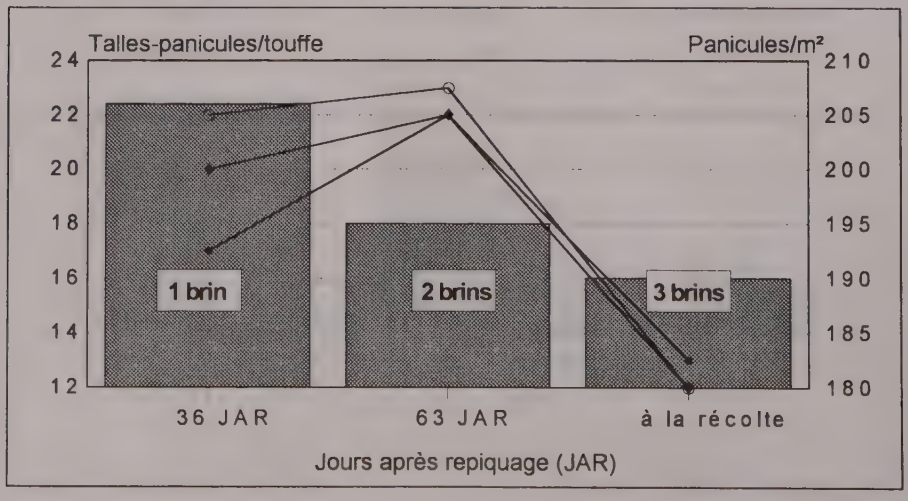


Figure 6. *Evolution du tallage selon le nombre de brins repiqués par touffe.*

Tableau V. Comparaison des moyennes de rendement (test de Duncan).

Traitements	Rendements (kg/ha)	Groupes homogènes	
		1 %	5 %
10 x 25 cm	6 239	A	A
20 x 20 cm	5 371	A B	B
25 x 25 cm	5 050	B	B
30 x 30 cm	3 972	C	C

Analyse de variance sur le rendement en paddy

Sources de variation	ddl	SCE	Carrés moyens	Test F
Variation totale	15	12 241 571,7	816 104,8	
Variation variétés	3	244 672,2	81 557,4	< 1**
Variations blocs	3	10 528 970,2	3 509 656,7	21,5**
Variation résiduelle	9	14 67929,3	163 103,2	

** : significatif au seuil de 1 %
CV : 7,8 %

Tableau VI. Facteurs du rendement.

Traitements	P 100GP	N. pan/touffe	N. grains/m²	N. grains/pan	Fertilité (%)
10 x 25 cm	3,10	6	24 553	96	78,9
20 x 20 cm	3,00	10	27 338	107	78,9
25 x 25 cm	3,00	14	24 678	108	72,8
30 x 30 cm	2,75	19	25 966	103	69,2

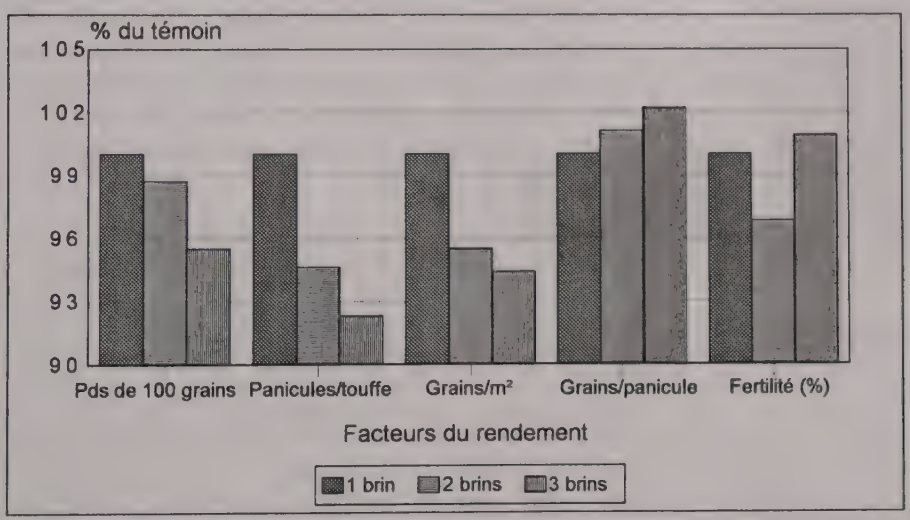


Figure 7. *Facteurs du rendement expliquant les performances des écartements habituels.*

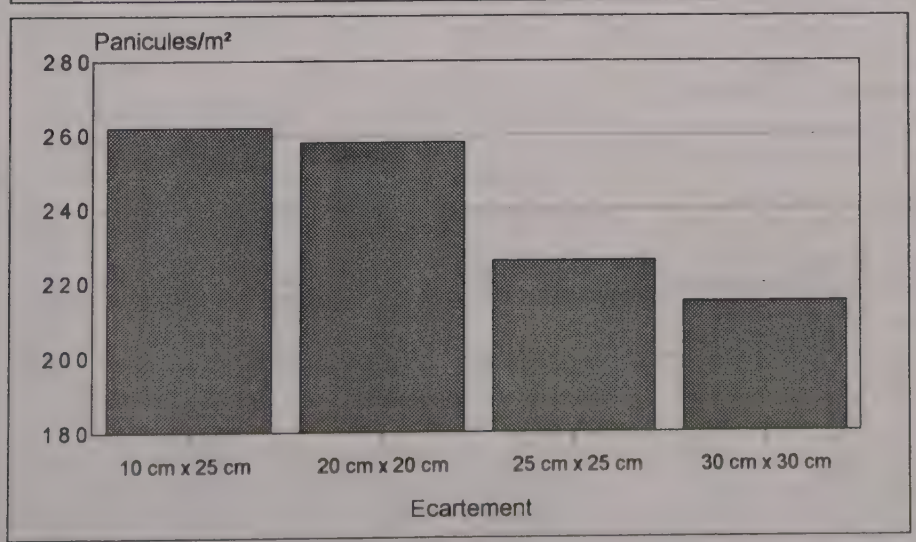


Figure 8. *Relation talle fertile-écartement inversement proportionnel.*

Comparaison de SRI avec les techniques FN dans le cadre d'un système de culture riz-culture de contre-saison

Elle vient en complément logique des activités pré-citées pour essayer de répondre aux questions ci-après :

Faut-il fertiliser le riz ou la culture de contre-saison ?

S'il le faut, à quelle dose ? Devra-t-on encore maintenir la dose recommandée jusqu'à présent en riziculture ?

Quelle(s) méthode(s) adopter pour promouvoir la production rizicole ?

En fait, telles sont les questions qui préoccupent beaucoup les différents acteurs de développement en général, et plus particulièrement, les producteurs (les paysans), la vulgarisation et la recherche compte tenu de la cherté des intrants, d'une part, et de la faible monétarisation des paysans, d'autre part. L'étude consiste à comparer les techniques suivantes selon la culture de contre-saison et sur sol hydromorphe minéral humique à pseudo-gley (tableau VII).

Les traitements peuvent être les suivants :
– FT : variété traditionnelle + repiquage en foule ;
– FN1 : variété améliorée + repiquage en ligne + fumier (5 t/ha) ;
– FN2 : FN1 + NPK (300 kg/ha) + urée (100 kg/ha) + traitement phytosanitaire éventuel ;
– SRI (Système de riziculture intensive).

Culture de contre-saison :
– pomme de terre ;
– blé ;
– blé/pomme de terre.

Dispositif : test de démonstration en grandeur réelle, sans répétition avec parcelle élémentaire = 50 m².

Résultats en terme de productivité

Les résultats obtenus lors de la précédente campagne se confirment :
– la technique FN2 a donné le meilleur rendement en paddy quelle que soit la culture de contre-saison (figure 9) ;
– la pomme de terre en tant que précédent cultural marque bien sur le riz qui la suit (figure 10) ;
– la performance de FN2 s'explique par les meilleurs taux de fertilité et le plus grand nombre de panicules (donc de grains/m²) (figure 11 et tableau VIII) ;
– le rendement obtenu par SRI (ODR, 1993) est pratiquement équivalent à celui de FN1 sur ce type de sol (figure 12) ; le fort tallage et le nombre de grains/panicule élevé n'arrivent pas à compenser son faible nombre de panicules/m² et le faible taux de fertilité (figures 13 et 11) ;
– FT a donné le plus faible rendement d'une façon générale.

Tableau VII. Rendements obtenus.

Culture de contre-saison	Techniques				
	SRI	FT	FN1	FN2	Moyennes
Blé	4 177	3 600	3 413	4 800	3 997
Blé/pomme de terre	4 708	4 876	5 333	5 718	5 159
Pomme de terre	5 539	4 419	5 528	5 777	5 316
Moyennes	4 808	4 298	4 758	5 432	4 824

Tableau VIII. Les facteurs du rendement.

	Traitement	P 100GP	N. pan/m²	N. grains/m²	N. grains/pan	Fertilité (%)
Pomme de terre	FN1	3,10	342	22 217	65	83,3
	FN2	2,85	399	35 091	88	88,8
	SRI	3,10	190	19 792	104	85,2
Blé	FN1	320	278	17 249	62	85,5
	FN2	3,10	280	27 441	98	90,9
	SRI	2,90	160	16 484	103	85,8

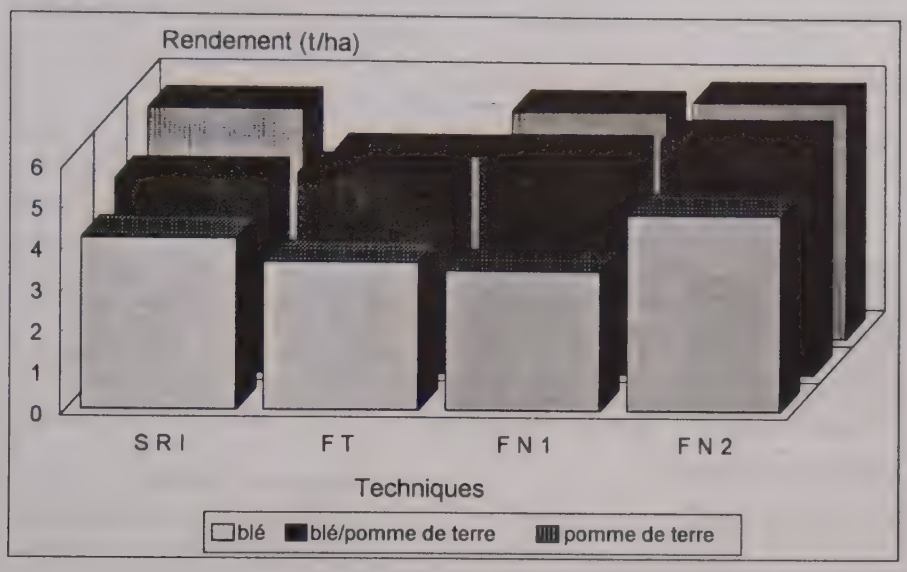


Figure 9. Rendements obtenus en fonction de la culture de contre-saison.

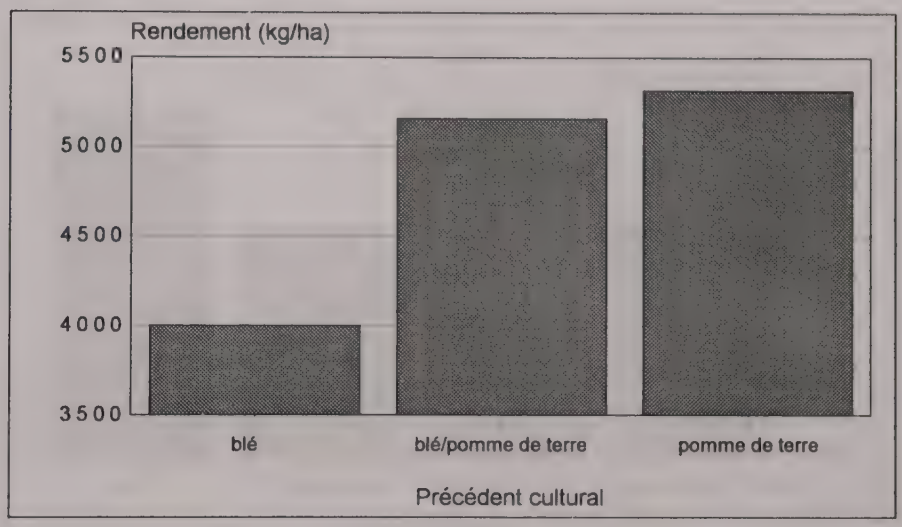


Figure 10. Rendement moyen obtenu en fonction de la culture de contre-saison.

Comparaison en terme de viabilité économique (IRRI, 1989)

Elle consiste à évaluer la viabilité économique de chacune de ces techniques dans le contexte actuel en vue d'une recommandation. Les données sont consignées dans les tableaux IX, X et XI.

Les calculs ont été faits sur la base d'un hectare et ils ne portent que sur FN1, FN2 et SRI qui sont d'ailleurs les techniques communément pratiquées et/ou vulgarisées actuellement.

Il s'agit d'un exploitant propriétaire et le prix du paddy est fixé à 850 francs malgaches/kg à la récolte.

Si aucune des composantes mises en jeu dans le coût de production (mains-d'œuvre, semences...) constitue une contrainte, il ressort de ces tableaux les remarques suivantes :

– sur précédent pomme de terre, c'est la technique FN1 qui a donné le bénéfice net le plus élevé suivi de FN2 et enfin de SRI. C'est la technique la plus viable économiquement pour les paysans. Ceci est corroboré par les rapports valeur-coût (RMVC) de FN2 et de SRI inférieurs à 0 comparativement à FN1 (tableau XII). Par rapport au SRI, FN2 est meilleur avec son RMVC = 1,13 ;

– sur précédent blé, c'est plutôt FN2, qui s'est révélée plus bénéfique et plus économiquement rentable par rapport à FN1 (RMVC = 1,76). Ce rapport n'est que 0,26 pour SRI.

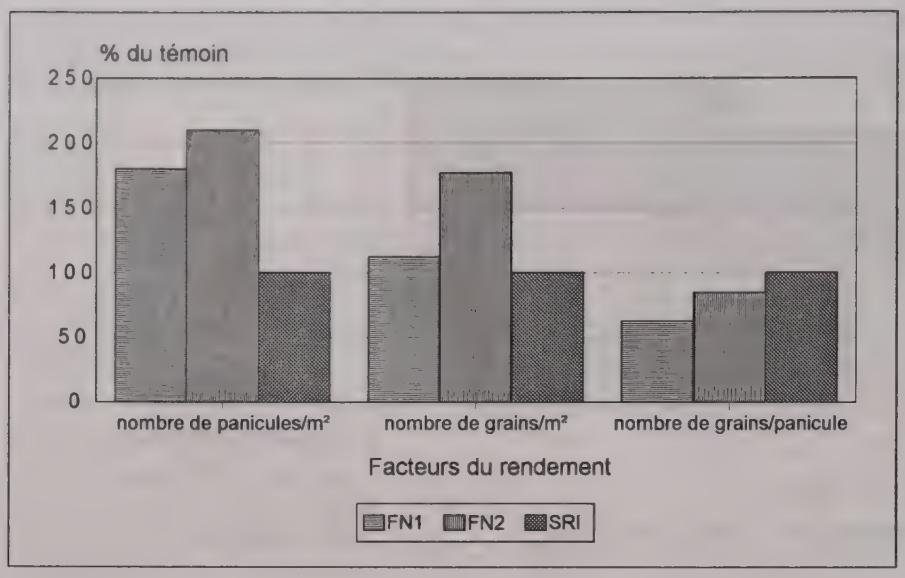


***Figure 11**. Facteurs du rendement explicatifs de la performance de FN2.*

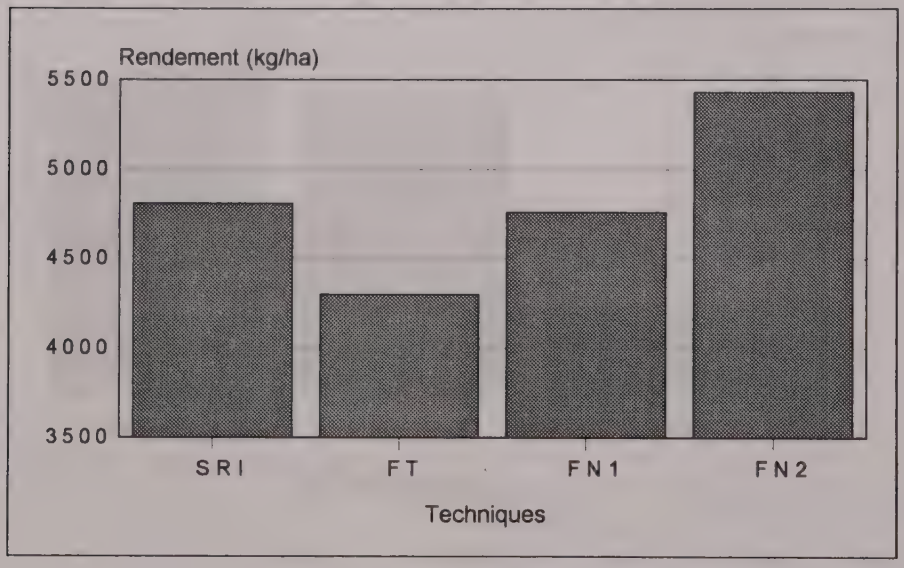


***Figure 12.** Rendement moyen des différentes techniques (kg/ha).*

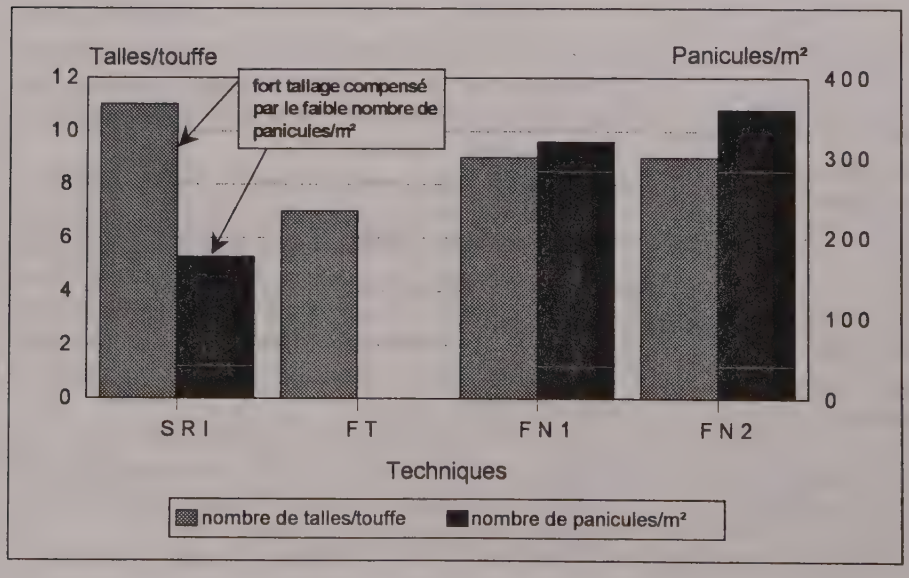


***Figure 13**. Evolution du tallage de chacune des techniques.*

Tableau IX. Les coûts de production (en francs malgaches).

Rubrique	Techniques		
	SRI	FN1	FN2
Travaux	1 350 000	905 000	907 500
Semences	13 200	110 000	110 000
Engrais	-	-	477 000
Total	1 363 200	1 015 000	1 494 500

Tableau X. Revenus nets (en francs malgaches).

Culture de contre-saison	Techniques		
	SRI	FN1	FN2
Pomme de terre	4 376 650	4 308 650	4 524 550
Blé	3 271 650	3 179 850	4 204 750

Tableau XI. Bénéfices nets (en francs malgaches).

Culture de contre-saison	Techniques		
	SRI	FN1	FN2
Pomme de terre	3 013 450	3 318 650	3 055 050
Blé	1 908 450	2 189 850	2 555 250

Comparativement à SRI, FN2 est de loin beaucoup plus viable économiquement. Donc, il vaut mieux recommander FN2 qui, en raison de sa performance en terme de productivité, est plus viable ; sinon il faut avoir recours à FN1.

Si l'une des composantes devient limitante, il nous faut déterminer le revenu que rapporte l'unité de la composante en question afin de déterminer la technique la plus économiquement viable à recommander aux paysans. Ainsi, si les mains-d'œuvre viennent à manquer à la période de pointe des travaux (notamment pour le SRI), le revenu par journée-homme (JH) de travail (par franc malgache investi dans le coût des mains-d'œuvre) donné dans le tableau XIII montre les résultats suivants :

– sur précédent pomme de terre, c'est FN1 qui devient meilleur, suivi de FN2 car les revenus par JH de travail sont respectivement 4,64 ; 4,39 si SRI n'a que 3,23 ;

– sur précédent blé, c'est toujours FN2 qui est plus viable, à chaque franc injecté, après paiement des mains-d'œuvre, on gagne en plus 2,79 francs malgaches si l'on n'a que 2,39 pour FN1 et 1,41 pour SRI ;

– si les semences constituent un facteur limitant, le revenu rapporté par le coût des semences (par franc malgache) (tableau XIII), montre que lorsque la culture précédente est la pomme de terre ou le blé, c'est le SRI qui se montre de loin le plus viable : chaque franc malgache investi dans le coût des semences rapporte 228,29 francs malgaches de plus sur précédent pomme de terre et 144,58 francs malgaches si le précédent était du blé. FN2 est relativement le moins rentable sur pomme de terre, ce qui n'est pas le cas sur blé ; le SRI rapporte mieux sur précédent pomme de terre que sur blé ;

– si les engrais deviennent limitants pour FN2, ceux qui peuvent s'en procurer ont toujours intérêt à les utiliser car chaque franc malgache investi dans ces intrants, c'est 5 à 6 francs malgaches gagnés (tableau XIII).

Tableau XII. Rapport marginal valeur-coût.

Techniques	Pomme de terre	Blé
	RMVC	RMVC
FN1	-	-
SRI	0,19	0,26
FN2	0,45	1,76
SRI-FN2	1,13	5,73

Tableau XIII. Revenu unitaire pour les facteurs limitants.

	Techniques	Pomme de terre	Blé
Main d'œuvre limitante	SRI	3,23	2,41
	FN1	4,64	3,39
	FN2	4,39	3,79
Semence limitante	SRI	229,29	145,58
	FN1	30,90	20,68
	FN2	28,50	24,00
Engrais limitants	FN2	7,35	6,30

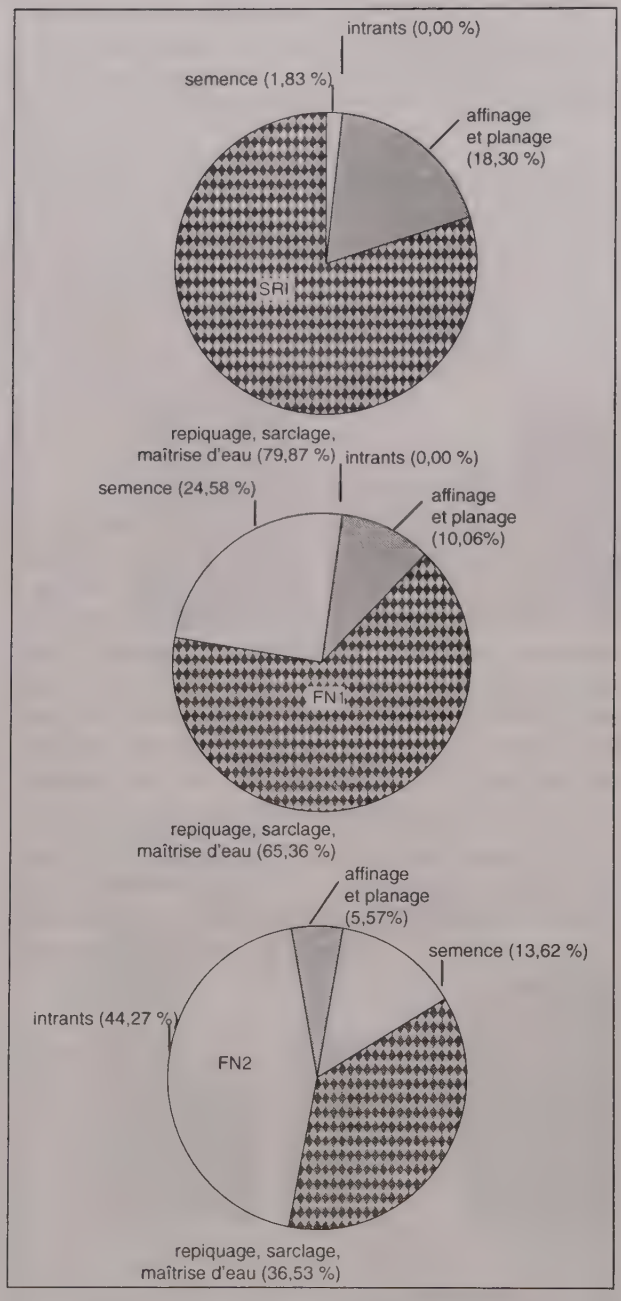


***Figure 14**. Importance de chaque composante différenciant le coût de production.*

Le SRI, évidemment dans les conditions qui le permettent, pourrait bien être plus viable que les autres techniques si l'on arrive à diminuer le coût de production. En effet, il s'agit de diminuer le nombre de JH requis par les travaux de repiquage et de maîtrise d'eau qui gonfle excessivement ce coût (figure 14). Ceci pourrait bien se faire par l'usage des plants de 22 jours comme il a été cité plus haut par exemple et dont le rendement est pratiquement équivalent à celui plus jeune.

Conclusion

La pomme de terre serait la meilleure culture de contre-saison quelle que soit la technique usitée.

FN2 a donné le meilleur rendement mais elle n'est pas nécessairement la plus rentable économiquement :

– c'est ainsi que sur précédent pomme de terre, ce serait FN1 qui serait le meilleur alors que si la culture de contre-saison était du blé, ce serait plutôt FN2. Cette conclusion n'est valable que si la production n'est sujette à aucune contrainte ou à celle des mains-d'œuvre ;

– en revanche, si les semences viennent à manquer, c'est le SRI qui rapporte le mieux ;

– pour FN2, même si les intrants deviennent limitants, ceux qui peuvent s'en procurer ont toujours intérêt à les utiliser.

Recommandations

Ces recommandations portent surtout sur la question de viabilité économique, elles ne concernent donc que des exploitants propriétaires ne faisant pas de crédit ou autres.

- Les atouts du SRI ne l'épargnent pas des contraintes ne lui permettant pas d'être vulgarisé partout ;
- Ne le pratiquer que lorsque les conditions requises sont réunies (têtes de vallée, vallons...). Le cas échéant, repiquer des plants de 22 jours qui, sans diminuer significativement le rendement, réduirait le coût de production, à raison de 3 brins par touffe et en utilisant des variétés améliorées ;
- Préconiser la pomme de terre comme culture de contre-saison ;
- Sur précédent pomme de terre, recommander FN1 sauf au cas où les semences viennent à manquer auquel cas conseiller le SRI ;
- Sur précédent blé, préconiser FN2 ;
- Si les semences constituent un facteur limitant, que la culture de contre-saison soit blé ou pomme

de terre, recommander le SRI (sinon FN1 après pomme de terre et FN2 après blé) ;
• Pour FN2, les intrants (pour ceux qui peuvent s'en procurer) ne constituent pas des contraintes préjudiciables à sa rentabilité économique.

Références bibliographiques

BDPA, 1971. Le riz. MAERR, Antananarivo, Madagascar, 272 p.

CHABANNE A. Rapports de campagne 1992-1993. Volet agrophysiologie riz d'altitude, 186 p.

CHABANNE A. Rapports de campagne 1993-1994. Volet agrophysiologie riz d'altitude, 168 p.

IRRI, 1988. Rice production course. IRRI, los Baños, Philippines, p. 54-169.

IRRI, 1989. Using enterprise budgeting for assessing the economic viability of new cropping patterns in FSR/E' 89 Course. IRRI, los Baños, Philippines, 200 p.

ODR, 1993. Rapport annuel de campagne ODR-2. Antsirabe, Madagascar, Minigri, p. 29-30.

RAZAKAMIARAMANANA M. Rapports de campagne riz 1993-1994. Agrotechnie. Antsirabe, Madagascar, FOFIFA, 35 p.

RAZAKAMIARAMANANA M. Rapports de campagne riz 1994-1995. Agrotechnie. Antsirabe, Madagascar, FOFIFA, 37 p.

TEFY SAINA, 1992. Voly vary maro anaka ho lovan'ny taranaka (SRI). Edition Tsipika, Antananarivo, Madagascar, 54 p.

TEFY SAINA-TSINJOEZAKA CAPR, 1994. Système de riziculture intensive. Fiche technique. Madagascar.

TEFY SAINA *et al.*, 1995. SRI in Journées académiques pour la promotion de la riziculture Quelle(s) méthode(s) retenir de la recherche ? Académie malgache, Antananarivo, Madagascar, 3 p.

YOSHIDA, 1981. Fundamentals of rice crop science. IRRI, los Baños, Philippines, p. 29-30, 235-236.

POISSON C., RAKOTOARISOA J., (édit.). 1997
Riziculture d'altitude
Actes du séminaire riziculture d'altitude,
29 mars-5 avril 1996, Antananarivo, Madagascar.
Colloques, CIRAD-CA, Montpellier, France, 272 p.

Physico-chimie des rizières d'altitude à Madagascar : exemple de la plaine de Vinaninony (1 875 m)

A. CHABANNE[1], P. DE GIUDICI[2]
1. CIRAD, BP 853, Antananarivo, Madagascar
2. Laboratoire des radioisotopes, BP 3383, Antananarivo, Madagascar

Résumé — Le déficit en oxygène qui apparaît dans les sols inondés modifie l'activité microbiologique marquée alors par une diminution des populations bactériennes aérobies et une prolifération de bactéries anaérobies. L'évolution de la fraction organique diffère des milieux aérés par une limitation de la décomposition des matières fraîches. Le développement des microorganismes anaérobies s'accompagne de la réduction de composés minéraux parfois toxiques et de modifications des paramètres physico-chimiques (Eh, pH). En altitude, les conditions de basses températures accentuent les contraintes. Deux sols de la plaine de Vinaninony sont étudiés sur le plan de leur composition et de leur comportement chimique, physicochimique et biochimique. La limitation des rendements et la faible réponse de la fertilisation minérale sur un type de sol est interprétée comme étant due aux fortes teneurs en aluminium et en matière organique. L'aluminium amorphe est responsable du fort pouvoir fixateur du sol, notamment vis-à-vis du phosphore. Cet aspect de la fertilité semble prépondérant dans le comportement agronomique de ces sols.
Mots-clés : riz, altitude, potentiel oxydoréducteur, matière organique, froid, allophane, fer, microbiologie.

Introduction

La grande diversité des écosystèmes dans lesquels on cultive le riz permet à cette plante de s'adapter à des conditions extrêmes de culture. Pour vivre en milieu aquatique asphyxiant, le riz a dû développer des mécanismes d'adaptation physiologique, biologique ou morphologique. Parmi ceux-ci, il en est un prépondérant relatif au maintien du pouvoir oxydant de la rhizosphère. Le riz traditionnellement cultivé dans les zones inondables, donc anoxiques et réductrices, a su s'adapter en réoxydant sa rhizosphère par un transport passif d'oxygène depuis les parties aériennes vers les racines. Et l'influence du transfert d'oxygène et de la nutrition sur le niveau de résistance de la plante face à des contraintes telles que l'hypoxie, le sel, le froid, l'acidité, les toxicités ferreuse et aluminique ont été mises en évidence (PUARD, 1993). Cependant, les conditions spécifiques du milieu de haute altitude engendrent des modifications notables dans le comportement physicochimique et microbiologique des sols ainsi dans la physiologie de la plante.

Particularités des sols inondés

Une des particularités du fonctionnement des milieux saturés d'eau est d'être fortement influencé par le déficit en oxygène qui apparaît lorsque l'espace poral est occupé par l'eau. Dans ces conditions, les micro-organismes aérobies ne peuvent consommer que l'oxygène dissous et le milieu devient le plus souvent anoxique du fait d'un renouvellement insuffisant de l'eau et de la faible vitesse de diffusion de l'oxygène dans la solution du sol. L'activité biologique est alors modifiée par l'anoxie ; elle est marquée par une diminution des populations bactériennes et fongiques aérobies et une prolifération de bactéries anaérobies (BERTHELIN, 1982). L'évolution de la fraction organique du sol, support carboné et énergétique des micro-organismes hétérotrophes, diffère de celles des milieux aérés en raison d'une limitation de la décomposition des matières organique

fraîches, le maintien de composés hydrosolubles et une humification aboutissant à la formation de substances peu polymérisées (DUCHAUFOUR, 1997 ; CHEIKHZADEH-MOSSADEGH, 1981). Après la disparition de l'oxygène dans le sol, le développement des microorganismes anaérobies s'accompagne de la réduction de divers composés minéraux, accepteurs d'électrons, dans des processus d'oxydoréduction impliquant successivement les nitrates, les composés manganiques, ferriques, les sulfates, le bioxyde de carbone (TAKAI *et al.*, 1963).

Cette succession de réductions se traduit par des variations des valeurs de certains paramètres physico-chimiques du milieu (Eh, pH). Les produits formés sont volatils (azote, méthane), insolubles (sulfures), ou, au contraire, plus solubles que les formes oxydées (composés manganeux, ferreux). La mobilité relative des constituants du sol est de ce fait très différente de celle des milieux aérés. Il en résulte des redistributions particulières de certains constituants du sol, et notamment du fer.

Dans les sols des rizières des hautes terres malgaches, les bactéries ferriréductrices disposent de suffisamment de matières organiques métabolisables et d'oxyhydroxydes ferriques pour libérer dans le milieu d'importantes quantités de fer ferreux soluble, qui, dans certains sites, peuvent présenter un risque de toxicité ferreuse. Cette dissolution des oxyhydroxydes ferriques contribue à la formation de précipité frais d'oxyhydroxydes amorphes et sans doute d'hydroxydes ferrosoferriques, qui adsorbent fortement le phosphore et limitent sa biodisponibilité. Un second piège à éléments nutritifs, comme le phosphore, peut être constitué par les gaines ferriques qui se forment à l'interface sol-rhizosphère (BERTHELIN, DE GIUDICI, 1993).

Les conditions spécifiques de haute altitude

Les sols de rizière d'altitude présentent une dynamique interne spécifique liée à leurs matériaux d'origine et aux conditions climatiques auxquels ils sont soumis. En riziculture inondée, ces contraintes se superposent également aux conditions physicochimiques propres aux sols submergés. Les basses températures moyennes observées même pendant la saison chaude constituent la principale contrainte climatique des régions d'altitude. Elles ont pour effet de diminuer d'une manière générale l'activité biologique et microbiologique du sol. Certaines activités microbiennes, telles la dégradation de la cellulose, la fixation d'azote et la nitrification, y sont particulièrement sensibles (DOMMERGUES, MANGENOT, 1970). L'action globale des basses températures résulte en une moindre maturation de la matière organique du sol et une tendance à l'accumulation de celle-ci, accumulation accentuée par l'engorgement (figure 1).

Cependant, en limitant l'activité microbienne, le froid diminue la libération de substances toxiques et exerce donc à ce niveau un effet bénéfique. Seule, la production d'acides organiques (souvent toxiques) due par exemple à l'enfouissement d'un engrais vert, semble stimulée par les basses températures. Le froid peut aussi limiter la libération d'éléments nutritifs dans la solution du sol : l'exemple du phosphore est bien connu, les basses températures diminuant son assimilabilité. Cet exemple illustre bien l'importance de l'activité microbienne sur la libération minérale, à partir, soit de la fraction organique (minéralisation), soit de la fraction minérale fixée sur les oxydes de fer ferrique (réduction bactérienne).

L'exemple de la plaine de Vinaninony

Les sols de la plaine

A Madagascar, les reliefs sont d'origine volcanique plus ou moins récente. Selon l'âge du volcanisme et le climat local, on identifie une chaîne de sols allant des andosols vrais (volcanisme très récent, pluviométrie importante et températures basses) à des sols ferrallitiques humifères, en passant par une

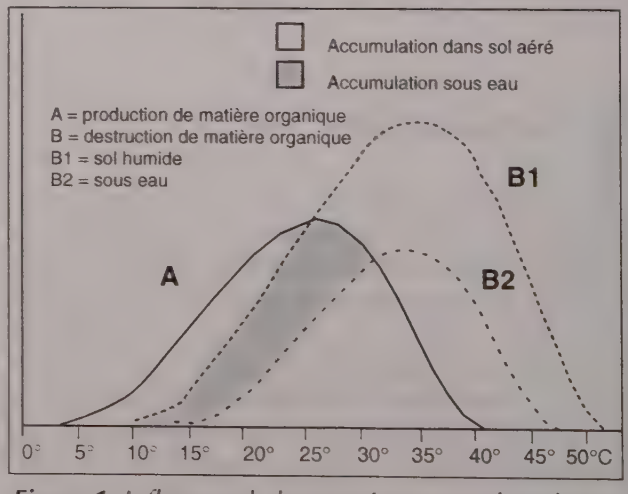


Figure 1. *Influence de la température sur l'évolution de la matière organique.*

série de sols intermédiaires à caractères andiques plus ou moins marqués. Ces sols présentent dans leur ensemble de bonnes qualités agronomiques et sont intensément cultivés. Cependant, dans certaines situations, on observe de mauvaises croissances et de faibles réponses aux intrants.

La plaine de Vinaninony occupe le fond d'une vaste et profonde cuvette située au sein du massif volcanique ancien et ennoyée par des alluvions récentes. Les trois types principaux de roches d'origine ignée, basalte, trachytes et migmatites diffèrent par leur composition chimique. Les basaltes sont beaucoup plus riches en calcium, magnésium et phosphore, mais plus pauvres en potassium et sodium que les trachytes et migmatites. Les analyses de sol montrent l'influence directe de ces différences sur la richesse minérale des sols issus de l'altération des basaltes et trachytes (DE GIUDICI, 1993).

L'hydromorphie de la plaine explique la richesse en matière organique des sols. L'humus présente des degrés d'évolution différents : tourbes (localisées), anmoor (très majoritaire) et hydromull (très peu représenté). La matière organique est en partie responsable des valeurs de capacités d'échanges, souvent satisfaisantes. Les alluvions sont riches en minéraux primaires non quartzeux issus de l'altération de roches granitiques et basaltiques, ce qui explique les hauts niveaux de calcium et de magnésium échangeables et la pauvreté en pouassium. L'influence basaltique est mise en évidence par la relative richesse en phosphore assimilable (méthode Olsen non modifiée) et les coefficients de fixation très importants, peut-être dûs à la présence de composés minéraux amorphes électro-positifs très actifs et à grandes surfaces d'échange. Les sols formés sur matériaux trachytiques, qui occupent une surface importante au nord de la plaine, montrent des déficiences minérales accentuées. Leurs fortes teneurs en aluminium amorphe (test de Fields et Perrot positif) et échangeables peuvent constituer des entraves à un bon fonctionnement microbiologique et à la nutrition minérale.

Choix des sites

Les expérimentations conduites en différents points de la plaine ont permis d'identifier deux supports différentiels (CHABANNE *et al.*, 1991) sur des types de sol représentatifs, sols humiques à gley oxydé représentant 18 % des surfaces cultivées de la plaine. Les résultats obtenus en essais décrivent le comportement de la population locale, Latsidahy sur ces deux types, 1 et 2 (CHABANNE, 1995). Les résultats moyens obtenus sont résumés par le tableau I.

Les variations des rendements sont bien expliquées dans leurs composantes (figure 2). Sur le sol de type 1, les effets positifs de la fertilisation minérale sur l'augmentation du tallage fertile, le nombre de grains par panicule sont nettement moins marqués. De plus, elle semble accentuer les problèmes de stérilité des épillets.

Du fait des contraintes budgétaires, ce ne sont que ces deux types de sol qui seront étudiés.

Physico-chimie des sols

Profils pédologiques

Sol 1

0-20 cm : horizon gris à l'état sec mais presque noir à saturation. Terre très légère.

40-80 cm : horizon plus lourd de couleur ocre. En fait, il s'agit d'une terre argileuse gleyfiée de couleur gris clair, colorée par de très nombreuses traînées de fer ferrique hydraté jaune orangé.

Sol 2

0-20 cm : horizon brun léger

20-40 cm : zone d'importants dépôts de couleur rouille (oxydes de fer hydraté) et noirâtres (caractéristiques d'un pseudo-gley).

40-80 cm : horizon gris plus lourd, argileux et gleyfié remarquable par la présence de très nombreux tubes de concrétions ferrigineuse.

Ces tubes, de diamètre extérieur de 3 à 6 mm et intérieur de 1 à 3 mm, ont été formés par oxydation rhizosphérique du fer ferreux et précipitation sous forme d'hydroxydes ferriques autour des racines de plantes aquatiques. Cela rejoint les observations décrites précédemment. En effet, l'analyse montre que ces tubes sont environ 5 fois plus riches en fer que le sol environnant et que ce fer mal cristallisé

Tableau I. Productions en kg/ha de la population locale, Latsidahy, sur deux types de sol et deux niveaux de fertilisation minérale, F0 sans apport et F1 avec apport de 60-60-60 unités de N-P-K.

	Fertilisations minérales	
	F0	F1
Sol 1	2 480 a	3 050 a
Sol 2	2 292 a	3 605 b

Sur la même ligne, les nombres suivis d'une même lettre ne sont pas significativement différents au seuil de 5 %.

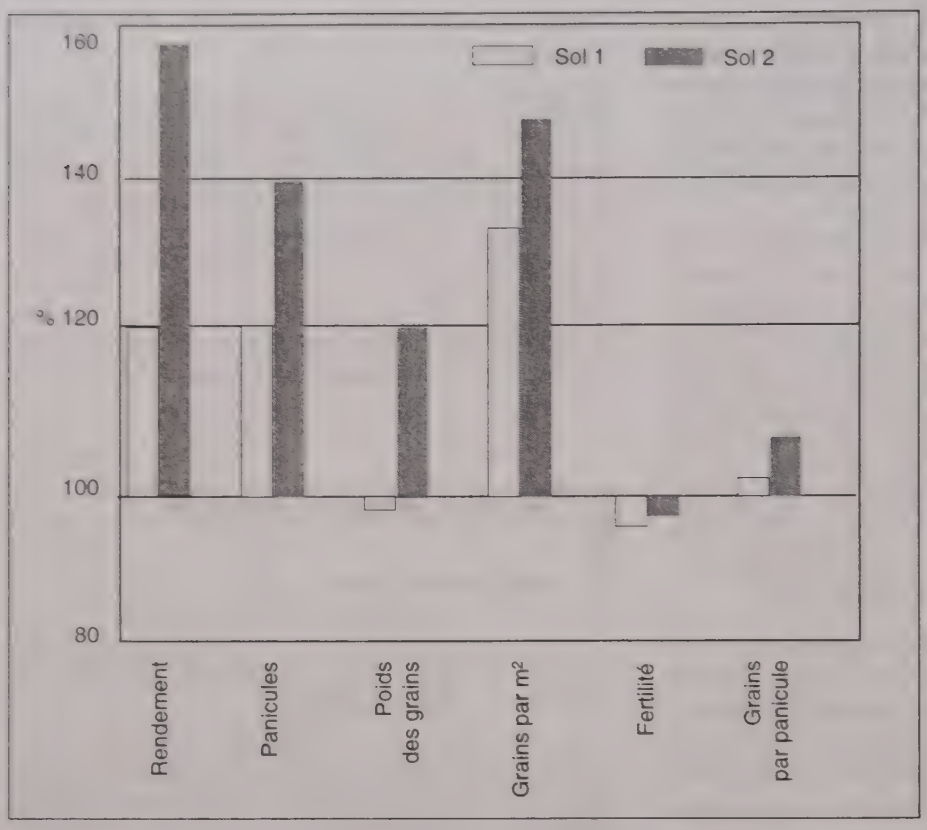


Figure 2. *Effets de la fertilisation minérale sur les facteurs de rendement et les 2 types de sol (en % du témoin non fertilisé).*

peut jouer le rôle de véritable piège à phosphore (la teneur en phosphore des tubes est plus de 8 fois supérieure au sol environnant).

Analyses

Le tableau II traduit les résultats des analyses réalisées. Ces deux types de sol présentent des caractéristiques communes. On note une acidité et une richesse en fer libre (le fer libre correspond au fer non inclus dans les réseaux cristallins, donc susceptible d'être mobilisé). Il est cependant important de préciser que la valeur du ph mesurée dans les conditions standards est différente de celle mesurable *in situ*, dans le sol inondé. Cette dernière est beaucoup plus proche de la neutralité (pH voisin de 6 après quelques semaines de mise en eau et pendant la majeure partie du cycle).

On remarque une hydromorphie. Les sols sont inondés pendant 8 à 10 mois et leurs horizons de surface présentent donc tous des caractères d'hydromorphie plus ou moins marqués, à savoir :

– une teneur en matière organique relativement élevée (supérieure à 7 % et pouvant atteindre 21 % dans le cas du sol 2). Notons que le rapport C/N est identique et prend une valeur relativement basse (C/N = 14) ;

– une teneur élevée en métaux amorphes (extraits par le réactif de Tamm), fer en particulier, issus de la mauvaise recristallisation du fer réduit.

Le sol 2 est moyennement organique. Malgré son acidité, il présente une CEC assez élevée et peu désaturée. Il est riche en phosphore total mais sa teneur en phosphore assimilable est un peu faible, sa capacité de fixation, déterminée par isotherme d'après le modèle de Langmuir, étant importante (figure 3).

Le sol 1 est très organique à CEC (cobaltihexamine à pH du sol) relativement basse et moyennement désaturée. Il se distingue du sol précédent et des sols de rizières généralement rencontrés par :

– une densité apparente très faible (inférieure à 0,8) qui en fait un sol flottant ;

– une très forte teneur en matière organique (supérieure à 20 %) qui semble néanmoins bien décomposée (absence de structure fibreuse, C/N bas) ;

– une grande richesse en phosphore total dont une très faible partie est assimilable (0,7 %), ce qui confirme un très fort pouvoir fixateur (figure 2) ;

– enfin, une très forte teneur en aluminium libre amorphe alors que l'aluminium échangeable est négligeable.

Tableau II. Analyses des horizons de surface (0-20 cm) des deux types de sol.

			Sol 1	Sol 2
Granulométrie	Argile (%)		14,9	32,8
	Limon fin (%)		32,1	37,5
	Limon grossier (%)		13,2	14
	Sable fin (%)		21,7	12,2
	Sable grossier (%)		18,5	60
Matière organique	MO total (%)		21,57	7,47
	CO total (%)		12,51	4,33
	N total (%)		9,66	3,25
	C/N		13	13
pH	H_2O		5,00	4,75
	KCl		4,20	3,50
	+ NaF		9,10	8,80
Complexe adsorbant (cobaltihexamine)	Ca (meq/100 g)		2,34	4,77
	Mg (meq/100 g)		0,63	1,35
	K (meq/100 g)		0,13	0,19
	Na (meq/100 g)		0,20	0,21
	AL (meq/100 g)		0,51	3,26
	T (meq/100 g)		5,30	13,45
	S/T		62	48
Phosphore	Assimilable (Olsen) ppmP		28	82
	Total ($HC10_3$) ppmP		3 810	2 490
Métaux	CBD (Mehra Jackson)	Fe ‰	26	34
		Al ‰	31	8
		Si ‰	2,5	2,2
		Mn ‰	0,1	0,3
	Ox. (Tamm)	Fe ‰	7	18
		Al ‰	28	7
		Si ‰	5,4	1,0

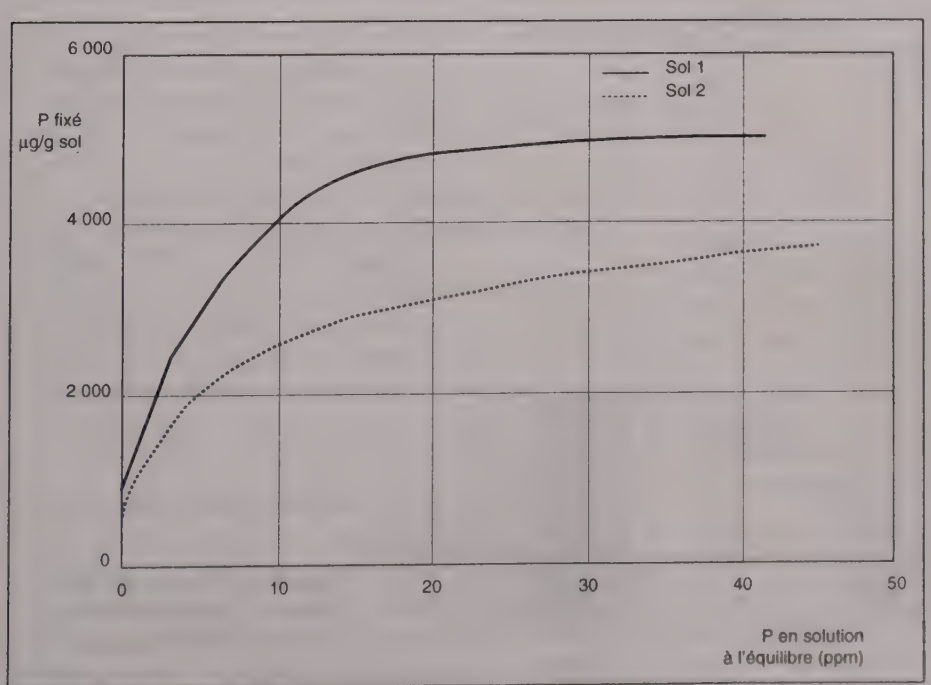


Figure 3. *Isotherme d'adsorption du phosphore. Calcul de la capacité maximale de fixation selon le modèle de Langmiuir.*

La présence de cet aluminium amorphe est d'ailleurs nettement décelée par le test de Fieldes et Perrot. Sa prépondérance peut expliquer l'accumulation de matière organique et la fixation du phosphore. En effet, il inhibe la biodégradation de la matière organique après un certain stade d'évolution et les gels d'aluminium, fortement électropositifs sont des fixateurs de phosphates très puissants.

Le fer ferreux *in situ*

Une méthode de dosage du fer ferreux du sol après extraction par une solution de chlorure d'aluminium à 2 % a été utilisée sur les deux types de sol et selon 3 techniques culturales, le labour de fin de cycle (juin), le labour de début de cycle (octobre) et avec apport de terre de colline (technique traditionnelle paysanne). Malgré le grand nombre de prélèvements par parcelle, la trop forte dispersion des résultats empêche un traitement statistique concluant. Cependant, on peut observer les tendances assez nettes (figure 4). Le niveau de fer ferreux est beaucoup plus important sur le sol organique. L'effet des traitements n'est visible que sur le sol organique où le labour de fin de cycle diminue nettement le niveau de fer ferreux.

Etude en laboratoire

Une expérience a été mise en place afin de suivre l'évolution du fer et du manganèse solubles dans la solution des sols. Au cours de celleci, les sols ont été mis à incuber à l'obscurité à 25 °C, immergés sous une lame d'eau de 3 cm, une bougie poreuse en porcelaine placée dans le sol à 5 cm de profondeur permettant le prélèvement de l'eau de saturation. Le manganèse a été dosé par absorption atomique et le fer par colorimétrie à l'0-phénantroline. Le manganèse est toujours en quantité très faible. La figure 5 traduit les résultats du fer soluble. Le sol 2 libère des quantités notables (mais non exceptionnelles) de fer ferreux soluble dans la solution. Cette libération est progressive et régulière jusqu'aux alentours de 40 jours, puis a tendance à se stabiliser.

D'une manière beaucoup plus surprenante, le sol 1 libère de très faibles quantités de fer soluble. Cela semble en contradiction avec les prélèvements *in situ* du paragraphe précédent qui dénonçaient une réduction importante. Nous devons en déduire que le fer ferreux libéré par cette réduction est en grande partie immobilisé, soit par adsorption sur les gels minéraux (gel de silice, gel d'aluminium...), soit par la complexion par des substances organiques (acides fulviques et humiques très abondants de ce sol à caractère allophanique).

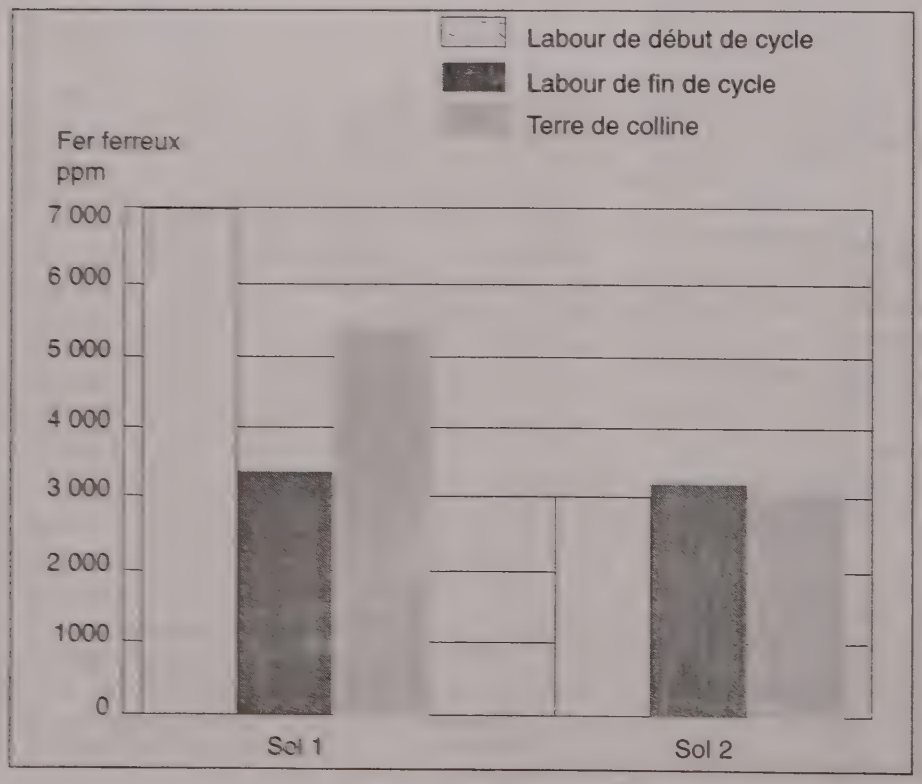


Figure 4. *Niveau de fer ferreux (extraction $AlCl_3$) des sols. Prélèvements à 10 cm.*

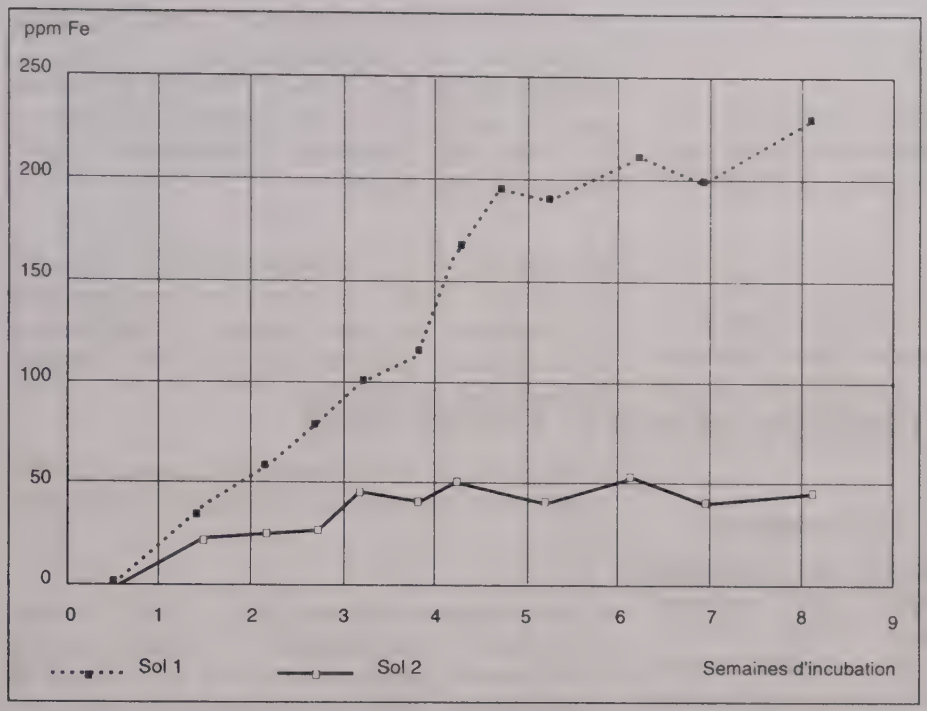


Figure 5. *Evolution du fer ferreux soluble dans la solution des sols immergés à 25 °C.*

Pour qu'un sol présente un risque de toxicité ferreuse, il doit présenter les caractéristiques suivantes :
– être suffisamment riche en fer libre ;
– son régime d'hydromorphie et sa fourniture en substrat à la microflore ferri-réductrice doivent être suffisants pour atteindre un potentiel d'oxydoréduction très bas et une forte réduction du fer ferrique ;
– le fer libéré doit subsister et s'accumuler dans la solution du sol sous une forme assimilable par la plante (ions Fe++ libres, par exemple).

En ce qui concerne ces sols, les déductions suivantes peuvent être faites :
– malgré une réduction importante constante *in situ*, le sol 1 présente des risques de toxicité ferreuse limités par une forte fixation des ions ferreux sur les gels minéraux et la matière organique. Cela n'exclut pas d'éventuelles toxicités par d'autres substances réduites (H2S, acides organiques...) ;
– le sol 2 peut, quant à lui, présenter des risques de perturbations dues à l'accumulation de fer ferreux dans la solution du sol, d'autant plus que celles-ci sont généralement accentuées par de basses températures.

Absorption des nutriments par la plante

Des analyses de paille de la population locale, Latsidahy, à maturité ont été réalisées. Elles concernent Si, K, Ca et Mg. Elles sont comparées au seuil de carence Yoshida. Les teneurs en silice sont généralement faibles en particulier sur le sol 1 alors que le sol 2 est riche en silice amorphe (tableau III). Le silicium est reconnu comme un élément très important dans le développement du riz (croissance, fertilité et résistance aux insectes et maladies). Il est à noter qu'une pratique traditionnelle paysanne consistant en un « à sec » en cours de cycle, permet une augmentation des teneurs en silice. La rigidité accrue des plantes qui en résulte peut donc logiquement s'expliquer par cette augmentation. Les teneurs en potassium diminuent du sol 1 au sol 2 mais restent en dessus du seuil de carence. Cette diminution est à mettre en relation avec une augmentation du fer soluble dans le milieu, l'antagonisme fer-potassium a souvent été constaté. Les teneurs en calcium varient peu et sont en dessous du seuil de carence bien que la teneur en calcium échangeable ne soit pas négligeable dans ces sols. Les teneurs en magnésium diminuent du sol 1 au sol 2 et sont situées sous le seuil de carence. C'est donc dans le sol 2 que les bases telles que le potassium et le magnésium semblent le moins disponibles. Le sol 1 poserait quant à lui des problèmes de fourniture en silice.

Tableau III. Teneurs en éléments minéraux dans les pailles à maturité (en %).

	Sol 1	Sol 2	Seuil
Si	5,2	8,0	5,0
K	2,8	2,1	1,0
Ca	1,2	1,0	1,5
Mg	0,8	0,5	1,0

Conclusion

Pour comprendre la différence de productivité et réponse à la fertilisation minérale des deux types de sol, leur fertilité a été étudiée sous différents aspects.

L'aspect chimique

La garniture minérale du sol 1 est plus faible mais on ne constate aucune carence d'après les seuils généralement admis. Les analyses de paille indiquent néanmoins une possibilité de carence en silicium.

L'aspect physico-chimique (oxydo-réduction)

Le sol 1 très organique montre des conditions beaucoup plus réductrices après submersion avec une accumulation importante de fer ferreux. Cependant, ce fer ferreux est en grande partie insolubilisé ou fixé sur les hydroxydes électronégatifs et reste peu abondant dans la solution du sol.

L'aspect biochimique

Les fortes teneurs en aluminium amorphe présentes dans le sol 1 diminuent la biodégradabilité des substrats organique. L'aluminium amorphe est aussi responsable du fort pouvoir fixateur du sol vis-à-vis du phosphore, ce qui peut être à l'origine de déséquilibres alimentaires pour les végétaux et la microflore. Le turn-over des éléments minéraux est fortement ralenti. Ce qui laisserait supposer une meilleure efficacité des formes d'engrais directement assimilables par la culture par rapport à celles nécessitant l'intervention de microorganismes (hydrolyse de l'urée ou solubilisation bactérienne de phosphates naturels). Cet aspect de la fertilité semble présenter une influence prépondérante dans le comportement agronomique de ces sols.

Références bibliographiques

BERTHELIN J., 1982. Processus microbiens intervenant dans les sols hydromorphes en régions tempérées. Incidence sur la pédogenèse. Pédologie 32 (3) : 313-328.

BERTHELIN J., DE GIUDICI P., 1993. Processus microbiens et physicochimiques liés à la biodisponibilité des nutriments dans la rhizosphère du riz : cas des rizières de bas-fond à Madagascar. *In* Actes du séminaire, Antananarivo, 9-14 décembre 1991, CIRAD 1993 : 273-282.

CHABANNE A. , RAZAKAMIARAMANANA, DE GIUDICI P., 1991. Les actions agronomiques pour la riziculture de haute altitude à Madagascar. Communication présentée à l'atelier Riz d'altitude, Antananarivo, avril 1993.

CHABANNE A., 1995. Rapport de campagne 1995-1996, volet agronomie. FOFIFA/DRR, CIRAD/CA, 182 p.

CHEIKHZADEH-MOSSADEGH D., 1981. Contribution expérimentale à l'étude de la géomicrobiologie du fer dans les sols. Thèse de doctorat d'Etat, université de Nancy-L, 156 p.

DE GIUDICI P., 1993. Etude agro-pédologique des sols rizicultivés de la plaine de Vinaninony. Université d'Antananarivo, laboratoire des radioisotopes, 29 p.

DOMMERGUES Y., MANGENOT F., 1970. Ecologie microbienne du sol. Paris, Masson, 796 p.

DUCHAUFOUR P., 1977. Dynamique de la matière organique. *In* Pédologie I. Pédogenèse et classification. Parsi, Masson, p. 28-70.

PUARD M., 1993. Etudes des mécanismes physiologiques d'adaptation du riz à la culture de bas-fond. Bas-fonds et riziculture. Actes du séminaire, Antananarivo, 9-14 décembre 1991. CIRAD 1993, 233-229.

TAKAY Y., KOYAMA T., KAMURA T., 1963. Microbial metabolism in reduction process of paddy soil. Parts 2 and 3. Soil Sci. Plant Nutr. 9 : 176-180 and 207-211.

YOSHIDA. Laboratory Manual for physiological studies of Rice, IRRI.

Session 3

Recherche-développement

Production des semences

POISSON C., RAKOTOARISOA J. (édit.), 1997
Riziculture d'altitude
Actes du séminaire riziculture d'altitude,
29 mars-5 avril 1996, Antananarivo, Madagascar
Colloques, CIRAD-CA, Montpellier, France, 272 p.

La production de semences de riz pluvial d'altitude à Madagascar par FOFIFA-CIRAD et FIFAMANOR

M. VALES[1], M. RAKOTO[2], J. RAZAFINDRAKOTO[3]
1. Programme riz d'altitude du FOFIFA-CIRAD, CIRAD-CA, BP 853, Antananarivo, Madagascar
2. FOFIFA-DRR, BP 1690, Antananarivo, Madagascar
3. FIFAMANOR, BP 198, 110 Antsirabe, Madagascar

Résumé — Le processus de production de semences certifiées a été commencé à FIFAMANOR pour les 9 variétés pluviales nommées par le programme riz d'altitude du FOFIFA-CIRAD. Cependant, pour fournir ces variétés plus rapidement, une production de semences de prédiffusion est également lancée. Les conditions techniques ainsi que les réalisations des deux dernières années sont décrites.
Mots-clés : riz pluvial, *Oryza sativa*, production de semences, altitude, Madagascar.

Introduction

Environ la moitié des surfaces rizicoles malgaches se situent à plus de 1 000 m d'altitude, soit 520 000 ha, dont 50 000 ha entre 1 500 et 2 000 m (ARRAUDEAU, 1985). Dans le Vakinankaratra, 79 % des bas-fonds sont valorisés, seulement 63 % des *tanety* sont cultivés. Le riz ne représente que 20 % des cultures pluviales. Les paysans ont d'abord utilisé Kagoshima Hakamuri, une variété d'origine japonaise, des variétés pluviales traditionnelles, comme Botramaintso ou Vary Boda, et une autre plus moderne de plus basse altitude, IAC 25-64. Mais celles-ci, trop sensibles au froid, présentaient une très forte stérilité. Ces variétés ne dépassaient pas 1 t/ha (CHATEL, 1988).

C'est dire que les variétés pluviales adaptées à l'altitude et beaucoup plus productives, proposées par le programme riz d'altitude, ont suscité un intérêt énorme de la part des paysans. Ceux-ci sont donc demandeurs de semences. Mais, jusqu'à présent, il reste difficile de satisfaire cette demande importante. C'est pour tenter de satisfaire rapidement ce besoin qu'a été lancé, en même temps que la production de semences certifiées, celle de semences de prédiffusion.

Production de semences de base

La production de semences de bases permet à la fois la multiplication et la vérification rigoureuse de l'homogénéité et de la conformité variétale des riz. Elle est conduite pendant 3 à 4 générations, soit respectivement jusqu'en G3 ou G4. Les G4 sont normalement les semences de bases (SB), mais une tolérance permet d'utiliser les G3 comme SB. Les premiers semis concernent les panicules lignes G0. Ils permettent l'obtention des semences G1 et des panicules lignes G0 pour la génération suivante. Le nombre minimum de panicules lignes est de 300. Il faut au moins que 10 panicules lignes fournissent les panicules pour le cycle suivant. Il ne faut pas qu'une panicule ligne fournisse plus de 100 panicules.

L'écartement minimal entre panicules lignes est de 20 cm. Bien que cela ne soit pas une obligation, le semis d'un même nombre de grains par panicule ligne est conseillé. Cela permet de mieux observer les différences phénotypiques notamment sur le tallage. Les lignées hors types sont détruites avant floraison. Pour les G0, si une lignée qui a fleuri est hors type, les deux lignées voisines seront également détruites.

Les tableaux de I à III rappellent les distances d'isolement minimales à respecter (tableau I), les stocks de sécurité imposés (tableau II) et les taux maximum d'impuretés tolérés (tableau III) pour la production de semences de riz aux différentes générations.

Actuellement, les neuf variétés proposées par le programme riz sont présentes sur le terrain en générations G0 et G1. Il s'agit de FOFIFA 62a, FOFIFA 64b, FOFIFA 116c, FOFIFA 133d, FOFIFA 134e, FOFIFA 151f, FOFIFA 152g, FOFIFA 153h et FOFIFA 154i. Le minimum de panicules lignes G0 a été semé. Pour chaque variété, il y a 100 parcelles G1 d'environ 10 m^2 chacune. Tous les 10 jours, un traitement contre la pyriculariose est appliqué. Des traitements insecticides sont également effectués notamment contre les vers blancs. Les passages de contrôle très fréquents ont permis d'écarter quelques panicules lignes G0 et quelques parcelles G1 pour un manque de vigueur initiale, une couleur ou un port différent de plantes. Le contrôle est renforcé dès le début de l'épiaison et concerne plus particulièrement les différences de longueur de cycle et le type de grain a : IRAT 351, b : IRAT 352, c : IRAT 234, d : IRAT 380, e : IRAT 379, f : CIRAD 391, g : CIRAD 392, h : CIRAD 393, i : CIRAD 394.

Tableau II. Stocks de sécurité de l'obtenteur pour le riz.

Semences G0	300 panicules
Semences G1	la moitié de la récolte
Semences G2	une quantité égale à celle mise en terre
Semences G3	20 % des besoins normaux

Tableau III. Taux maximum d'impuretés pour les semences de riz.

Semences de prébase et de base	1 ‰ (*)
Semences certifiées	3 ‰ (*)

(*) Plante d'une autre variété, hybride naturel
Disjonction, autres aberrants

Production de semences certifiées et de semences de prédiffusion

Les semences certifiées sont celles obtenues par la récolte des plantes de base (G4 ou G3). Les tableaux de I à III rappellent également les contraintes pour la production de semences certifiées. Il n'y a pas de limite pour le nombre de variétés par agriculteur, pour le nombre de centres et de champs de production. Cependant, la taille minimale de ceux-ci doit être au moins d'un hectare chacun. L'on évitera de confier à un même producteur 2 variétés phénotypiquement trop voisines, notamment pour le grain, comme FOFIFA 133 et FOFIFA 134.

Cela permet de limiter les risques d'erreur après récolte. Pour la récolte mécanisée des parcelles, un détourage est effectué. C'est-à-dire que le produit du passage d'un tour de machine de récolte est éliminé des lots de semences. Après récolte, les semences sont parfaitement conditionnées.

En attendant la libération de semences certifiées, les variétés sont multipliées pour être fournies plus rapidement aux paysans. Il s'agit de semences de prédiffusion. Elles sont issues de la multiplication de semences récoltées sur des essais variétaux de fin de sélection et qui ne sont donc pas des semences de base. Cette multiplication est faite dans les mêmes conditions que la production de semences certifiées, dont elle constitue un rodage. Mais elle ne peut offrir exactement les mêmes garanties de conformité variétale.

Tableau I. Distances minimales d'isolement pour le riz.

	Distance d'une autre variété de riz	Bordure distance de la même variété	Distance de la même variété
GO pour récolte de G0 et G1	30 m	10 m de G1	
G1 pour récolte de G2	30 m	10 m de G2	
G2 pour récolte de G3	20 m	10 m de G3	
G3 pour récolte de SB	10 m	10 m de SB	
SB pour récolte de SC	5 m		1 m de SC

SB : semences de base, G4 ou G3
SC : semences certifiées, R1

Pour la production de semences de prédiffusion, les sites ont été choisis entre 1 000 et 1 600 m pour éviter une forte stérilité due au froid. Ces sites doivent être accessibles en toutes saisons pour permettre le suivi. En plus de l'aspect purement multiplication, ces sites remplissent également un rôle de démonstration important.

Les parcelles sont choisies sur chaque site en fonction du précédent. Celui-ci ne doit pas être le riz. La pomme de terre, la carotte, la patate douce, le soja, le tabac et le haricot sont les précédents recherchés.

La préparation du sol doit être soignée. Un labour de 15 à 20 cm est effectué en fin de saison sèche. Il est réalisé à l'*angady* ou à la charrue attelée. La finition doit être parfaite. Le semis est fait entre le 15 octobre et le 15 novembre, mais la date dépend étroitement des pluies. Le semis doit être fait en sol humide. Il est réalisé par ouverture des sillons au rayonneur et en poquets alignés à 3-4 graines à 20 x 20 cm, soit environ 50 kg/ha de semences. Un apport de 5 à 10 t/ha de fumier est fait en localisé dans les sillons.

Le suivi des parcelles est primordial. Il concerne tout d'abord l'observation des levées et la réalisation des sarclages. Ceux-ci étant extrêmement important, leur exécution fait partie des termes du contrat avec les paysans. Le premier doit être fait 2 semaines après levée, le deuxième 15 jours plus tard et le troisième juste avant la période d'apport d'urée, même s'il n'est pas réalisé.

Un élément majeur du suivi est l'épuration des variétés par élimination des plantes hors-type, douteuses ou retardataires. Un suivi sanitaire est également effectué. A l'avenir, avec l'apparition de la pyriculariose, la récolte des parcelles touchées sera écartée des lots de semences.

La maturation des parcelles est suivie afin que la récolte soit effectuée au stade optimal. Les semences sont d'abord séchées par les paysans pour atteindre 14 % d'humidité. Ils assurent également le nettoyage et le vannage. Après collecte par FIFAMANOR, les semences sont à nouveau triées, séchées jusqu'à 12 % d'humidité et conditionnées pour la distribution.

En 1994-1995, 7,75 ha de multiplication ont été semés en FOFIFA 133 (3,5 ha) et FOFIFA 134 (4,25 ha) sur 8 sites, suivis chacun par un encadreur, et chez 52 paysans. Les prélèvements effectués avant récolte laissaient attendre un rendement moyen de 2 t/ha (de 1,5 à 3 t/ha). Malheureusement, la grêle tardive a fait chuter la moyenne de FOFIFA 133 à 1,2 t/ha. Par hasard, FOFIFA 134 a été beaucoup moins touchée. Après élimination de parcelles, FOFIFA 133 a fourni 3,5 t de semences et FOFIFA 134 7 t.

En 1995-1996, 22 ha ont été semés. Les variétés des hauts plateaux sont FOFIFA 133 (7,5 ha), FOFIFA 134 (6,5 ha) et FOFIFA 152 (2 ha). Pour le Moyen Ouest, plus bas, IRAT 134 (5,25 ha) et IRAT 112 (1 ha) sont également multipliées. Ceci sur 14 sites, suivis chacun par un encadreur, et chez 64 paysans. La récolte s'annonce satisfaisante et très nettement supérieure à l'année précédente.

La production de ces semences est loin de satisfaire les besoins. En effet, pour la campagne en cours, FIFAMANOR n'a pu fournir les semences que pour 135 des 2 200 ha recensés par l'ODR-CIRAGRI, seulement dans le Vakinankaratra. Ces besoins sont en pleine expansion d'autant que la diffusion des semences est assurée auprès des paysans du Vakinankaratra par FIFAMANOR, FIFATA, l'ODR-CIRAGRI, ROVA, des associations paysannes et d'autres institutions. A l'avenir, les besoins exprimés de semences de riz devraient s'accroître car, à part le Vakinankaratra, une grande partie des hautes terres, d'Antanarivo jusqu'à Fianarantsoa, n'est pas encore couverte par ces réseaux de distribution.

Il est à noter que pour contribuer à couvrir ses besoins en semences des nouvelles variétés l'ODR-CIRAGRI (RAKOTONINDRAINY et DELARBRE, 1996) et FIFATA (LAMIABLE, 1996) procèdent à un cycle de multiplication supplémentaire, par leurs propres paysans.

Aussi, à l'avenir, le programme riz d'altitude du FOFIFA-CIRAD, en tant qu'obtenteur des variétés, restera responsable de la production de semences de base réalisée avec FIFAMANOR. Et la production de semences certifiées pourrait être faite par FIFAMANOR, FIFATA et le CIRAGRI en particulier.

Coûts des semences

La production de semences contrôlées a tout d'abord un intérêt technique. Elle permet de mettre à la disposition des paysans des semences qui offrent toutes les garanties de qualités et de conformité variétale. Mais cette activité a également un intérêt économique car elle est source de revenus.

Cependant, face au faible pouvoir d'achat paysannal, la première ambition, plus modeste, est d'assurer l'autonomie financière de la production de semences certifiées. Il faut qu'elle soit pérenne et continue après l'utilisation des aides financières initiales.

FIFAMANOR assure le crédit pour les semences et les intrants pour ses paysans multiplicateurs. A la fin de la campagne 1994-1995, FIFAMANOR a acheté à ces paysans les semences de prédiffusion de FOFIFA 133 et de FOFIFA 134 à 1 500 francs malgaches le kilo. Cela correspond à environ le double du prix du paddy. FIFAMANOR a revendu pour la saison 1995-1996 ces semences à 2 000 francs malgaches le kilo. FIFATA a revendu ce kilo à 2 500 francs malgaches et ROVA à 2 750 francs malgaches.

Conclusion

Actuellement, le cadre institutionnel qui régira le secteur semencier est en voie d'élaboration à Madagascar (ministère d'Etat à l'agriculture et au développement rural, 1994). L'Etat limitera son intervention à l'orientation et au contrôle de la production et de la commercialisation. Les orientations seront formulées par le Conseil national des semences (CONASEM) et le contrôle par le Service officiel de contrôle des semences (SOC) par l'entremise d'inspecteurs assermentés.

L'activité de production sera laissée à des établissements agréés par le ministère après avis du CONASEM. La constitution d'un institut technique pouvant produire les semences certifiées de riz pluvial pour les hauts plateaux est à l'étude. En plus du FOFIFA-CIRAD et de FIFAMANOR, il pourrait impliquer un autre partenaire du développement comme l'ONG TAFA.

Un titre de protection de 10 ans sera accordé aux obtenteurs pour les variétés inscrites au catalogue officiel. Ces variétés devront être différentes des cultivars déjà inscrits, stables et homogènes (DHS).

La production semencière du programme riz d'altitude FOFIFA-CIRAD réalisée avec FIFAMANOR a donc pris les devants en respectant les contraintes techniques et législatives suivies ailleurs et en démontrant son savoir faire. Si les aides financières initiales sont consenties, cette production devrait permettre de satisfaire le besoin pressant des paysans de disposer des nouvelles variétés de riz pluviales qui produisent entre 100 et 400 % de plus que leurs variétés traditionnelles (CHABANNE et RAZAKAMIARAMANANA, 1996).

Remerciements

Les auteurs remercient M. Gaston RAJAONARIVELO (FIFAMANOR) et M. Sambatra RAZAFINANTOANINA (FOFIFA-CIRAD) pour leur collaboration technique.

Références bibliographiques

ARRAUDEAU M., 1985. Rapport de mission du 12 avril au 2 mai 1985 à Madagascar. IRAT.

CHABANNE A., RAZAKAMIARAMANANA M., 1996. Comportement multilocal et pluriannuel des nouvelles variétés de riz pluvial à Madagascar. Atelier international Point sur la recherche et le développement de la riziculture d'altitude, 30 mars-5 avril 1996. FOFIFA-CIRAD. Antananarivo, Antsirabe, Madagascar, 8 p.

CHATEL M.,1988. Rapport de mission à Madagascar du 31 mars au 10 avril 1988. IRAT, 21 p.

MINISTERE D'ETAT A L'AGRICULTURE ET AU DEVELOPPEMENT RURAL. 1994. La législation semencière à Madagascar. Direction de l'agriculture, service de la production de semences et de matériel végétal, 9 p.

Groupement National Interprofessionnel des Semences et Plants. 1994. Réglement technique.

RAKOTONINDRAINY E., DELARBRE J.-P., 1996. La démarche ODR-CIRAGRI pour la multiplication de la diffusion des semences de riz d'altitude. Point sur la recherche et le développement de la riziculture d'altitude. Atelier international FOFIFA-CIRAD à Antananarivo et Antsirabe, Madagascar, 30 mars-5 avril 1996.

LAMIABLE J.-R., 1996. La multiplication de semences et leur diffusion par FIFATA dans le Vakinankaratra et la Haute Mania. Point sur la recherche et le développement de la riziculture d'altitude. Atelier international FOFIFA-CIRAD à Antananarivo et Antsirabe, Madagascar, 30 mars-5 avril 1996.

POISSON C., RAKOTOARISOA J., (édit.). 1997
Riziculture d'altitude
Actes du séminaire riziculture d'altitude,
29 mars-5 avril 1996, Antananarivo, Madagascar.
Colloques, CIRAD-CA, Montpellier, France, 272 p.

La multiplication des semences et leur diffusion par FIFATA dans le Vakinankaratra et la Moyenne-Mania

J.-R. LAMIABLE
FIFATA, BP 372, 110 Antsirabe, Madagascar

Résumé — FIFATA (Association pour le progrès paysan) est une organisation professionnelle agricole qui a entrepris une activité de multiplication de semences dans le Vakinankaratra et la Moyenne-Mania pour répondre aux besoins de ses membres, tant en ce qui concerne la qualité que la disponibilité des semences. Cette activité, commencée en février 1995, est pratiquée avec des agriculteurs multiplicateurs sous forme de contrat et s'appuie sur les centres d'approvisionnement présents dans ses sections pour la diffusion des produits. FIFATA cherche, à terme, à se positionner comme un acteur important de la filière semence au sein du nouveau schéma semencier qui se dessine à Madagascar.
Mots-clés: organisation professionnelle agricole, multiplication de semences, Madagascar.

Introduction

FIFATA *(Fikambanana Fampivoarana ny Tantsaha),* ou association pour le progrès des paysans, est une organisation professionnelle agricole qui cherche à favoriser le développement des exploitations de ses membres en mettant en place divers services à leur profit (financiers, commerciaux, formation). L'association FIFATA, officiellement constituée en septembre 1989, est née de l'action de sensibilisation et d'animation du projet de développement de la Moyenne-Mania (AVEAMM-FERT, 1986-1990). Elle est strictement indépendante de toute organisation politique ou religieuse et est dirigée par ses membres élus, tous agriculteurs.

En janvier 1996, les 2 500 membres de FIFATA sont structurés en 288 groupes de base et 26 sections villageoises réparties dans le Vakinankaratra et la Moyenne-Mania. Chaque section locale est animée par un bureau de section élu par les membres. Elle désigne également 2 délégués pour la représenter à l'assemblée générale, composée de 52 membres actuellement, qui se réunit au moins une fois par an.

L'assemblée générale détermine les orientations de l'association, les activités à mettre en place et les principes de fonctionnement de ces activités. Elle décide des cotisations et du budget. Elle élit le bureau chargé de diriger l'association, d'appliquer les décisions de l'assemblée générale et de lui rendre compte, ainsi qu'un conseil de discipline chargé de veiller au respect des règles et de proposer d'éventuelles sanctions. Pour l'aider dans l'orientation et le suivi des activités, le bureau constitue des commissions auxquelles participent des membres des comités locaux.

Activités de FIFATA

Les activités de l'association se répartissent en trois départements : activités technico-commerciales, financières et animation-formation. FIFATA est appuyée par une équipe technique constituée de neuf responsables d'activité, quinze animateurs villageois, deux secrétaires et trois comptables.

L'objectif à moyen terme est d'atteindre l'autonomie financière, de gestion et de fonctionnement.

Activités commerciales

Depuis janvier 1991, dix-sept centres de collecte fonctionnent et concernent le paddy, le maïs, le haricot, le blé, le soja et le *voanjobory*. L'objectif est d'améliorer le fonctionnement des marchés locaux en pratiquant des poids exacts (bascules contrôlées) et en assurant de meilleurs débouchés grâce au regroupement de la production offerte aux opérateurs économiques. FIFATA espère ainsi améliorer les prix payés aux producteurs. Progressivement, depuis septembre 1990, l'association a mis en place vingt-trois points de vente pour les fournitures agricoles : engrais, semences, produits de traitement et matériel de culture. L'objectif est de fournir des produits de qualité garantie au meilleur prix.

En février 1995, FIFATA a mis en place une activité de production de semences destinée à satisfaire un marché insuffisamment approvisionné en semences de qualité (FIFATA, 1994). Le chiffre d'affaire global des activités commerciales de l'année 1995 est de 1,2 milliard de francs malgaches, dont 320 millions à l'exportation (haricots) pour un volume traité de plus de 950 t. Il progresse annuellement de 25 %.

Activités financières

FIFATA développe actuellement un réseau de CECAM (Caisses d'épargne et de crédit agricole mutuels) dont l'objectif est de mobiliser l'épargne locale pour assurer le financement de crédits de campagne. Les CECAM sont indépendantes en ce qui concerne leur gestion et les crédits qu'elles octroient. Elles bénéficient de l'appui d'une caisse régionale, créée en 1994, qui coordonne aujourd'hui l'ensemble des activités financières de FIFATA. En 1995, le volume d'épargne collectée par les CECAM se monte à 88 millions de francs malgaches. Les CECAM ont octroyé 4 767 crédits pour un taux de remboursement de 96,5 %.

Différents types de crédits sont proposés aux membres de FIFATA :

– le stockage (inspiré des greniers communs villageois) ;

– l'équipement en matériels, bœufs et vaches laitières par une formule originale de location-vente mutualiste.

En 1995, ces crédits, octroyés à 1 123 membres, représentaient un montant global de 529 millions de francs malgaches. Depuis le 1er janvier 1992, le taux de remboursement est de 99,2 %.

Animation-formation

L'objectif de cette activité est la formation des responsables locaux et du siège afin de les amener à la capacité de gestion financière et technique ainsi qu'à la conduite dynamique de la vie associative. L'animation générale de l'association s'appuie sur des réunions de groupes, de comités locaux et de sections dans les villages. Pour la formation, l'équipe technique anime des réunions de formation dans les villages ainsi que des sessions spécialisées qui regroupent au siège les responsables des différentes sections. Des visites à d'autres organisations professionnelles d'agriculteurs sont réalisées dans différentes régions de Madagascar pour favoriser les échanges entre paysans, promouvoir le métier d'agriculteur et donner naissance à un véritable mouvement d'organisations représentatives et autonomes. FIFATA publie un journal professionnel agricole intitulé *Ireo Tantsaha Vaovao,* qui compte 10 numéros par an. En s'ouvrant de plus en plus aux autres partenaires de l'agriculture, ce journal devient progressivement le journal agricole de la région.

Représentation et défense des intérêts de la profession agricole

FIFATA appelle à une véritable concertation entre les pouvoirs publics et les organisations de producteurs agricoles afin de mettre en œuvre les moyens nécessaires à l'autosuffisance alimentaire du pays. Elle souhaite également faire entendre la voix du monde agricole, largement majoritaire dans ce pays, auprès des pouvoirs publics et de l'administration afin d'éviter que seuls la population urbaine et les intérêts des consommateurs soient pris en compte.

Le lancement du projet de loi sur les coopératives (en association avec ROVA et FERT) illustre l'engagement de FIFATA pour la défense de ces intérêts. Cette loi permettra aux paysans qui sont regroupés d'exercer leur activité dans un cadre juridique adapté à leurs besoins et à leurs spécificités.

Multiplication de semences

Objectifs

A court terme, le premier objectif est de fournir en quantité suffisante des semences de meilleure

qualité (c'est-à-dire stockées, triées, traitées, conditionnées correctement) aux membres de FIFATA en multipliant le matériel végétal existant. Dans un avenir proche, les matériels récemment introduits ou issus de la recherche, seront disponibles et prendront le relais.

A moyen terme, le deuxième objectif est de se positionner dans le nouveau schéma de la production de semences certifiées qui doit se mettre progressivement en place et qui fait suite au vote de la nouvelle législation semencière par l'assemblée nationale en décembre 1994.

Organisation et mise en place

La mise en place s'appuie sur la structure de FIFATA : le comité local de la section, la commission commerciale du siège et l'équipe de techniciens. Concrètement, l'action consiste à développer, dans les sections où les conditions agro-climatiques sont favorables et les agriculteurs motivés, une collaboration entre FIFATA et ses membres sous forme de contrat. Dans la section, le CLIP (Comité local d'intensification de production) est le relais du siège pour la gestion et la mise en place des contrats. Le CLIP et l'animateur villageois recensent et centralisent les demandes des agriculteurs candidats à la multiplication. Avant l'implantation de la culture, le CLIP est réuni pour recevoir les informations et les conditions d'exécution des contrats de multiplication. Le contrat spécifie les obligations des deux parties et les conditions du cahier des charges en terme de qualité et de prix payé pour le produit multiplié.

La semence — tout comme les intrants — est vendue au comptant au moment de la signature du contrat et ne fait pas l'objet d'un crédit en nature. En cas d'insuffisance d'autofinancement, le financement peut être assuré par la CECAM (Caisse d'épargne et de crédit agricole mutuels) de la section par l'obtention d'un crédit de campagne. L'achat des intrants se fait généralement auprès du magasin d'approvisionnement de la section.

Un suivi des parcelles est réalisé après l'implantation des cultures pour vérifier les distances d'isolement et les surfaces emblavées. En cours de végétation, les parcelles sont visitées et évaluées pour vérifier leur conformité au cahier des charges mentionné dans le contrat. La parcelle est déclassée en cours de végétation si les conditions du cahier des charges ne sont pas respectées.

Le prix payé au producteur est généralement fondé sur le prix de marché le plus proche, majoré de 5 à 30 % selon la qualité du lot fourni et la culture. L'appréciation qualitative du lot se fait sur les observations faites sur la parcelle en cours de végétation, l'aspect visuel du produit à la collecte et la classification du lot selon les critères spécifiés dans le cahier des charges (tableau I). Tout lot contenant plus de 20 % de déchets est refusé. Les grains de haricot ne doivent pas être colorés ou tachés par la terre pour présenter un bel aspect. Les déchets comprennent les haricots qui sont cassés, tachés, abîmés, déformés, hors calibre et les matières inertes.

Ce système contractuel est appuyé par une aide technique et une réponse aux besoins en formation. La démarche qui prévaut consiste à répondre aux besoins spécifiques exprimés dans chaque section en faisant appel aux compétences internes de FIFATA ou d'organismes spécialisés (Protection des végétaux, FIFAMANOR...).

Réalisations

Actuellement, les efforts de multiplication portent sur quatre cultures : la pomme de terre, le haricot, le riz irrigué et le soja. Les surfaces multipliées, lors des campagnes 1995 et 1996, sont présentées dans le tableau II.

En 1995, le dispositif comprenait 60 agriculteurs multiplicateurs. En parallèle, par l'intermédiaire de FERT, sont introduites de nouvelles variétés qui sont testées avec les dernières créations et/ou importations variétales de FIFAMANOR et de FOFIFA. Ces variétés sont évaluées dans des parcelles d'essais multi-locaux chez les agriculteurs (tableau III).

Perspectives

FIFATA envisage d'augmenter le nombre des cultures pour proposer une gamme élargie de produits (blé, haricot, maïs, pomme de terre, riz irrigué, riz pluvial, soja, *voanjobory*), de se positionner comme un acteur professionnel

Tableau I. Cahier des charges au moment de la récolte pour la culture des haricots.

Qualité	Calibre	Prix	Déchets
A	> 8 mm	Marché + 20 %	> 3 %
B	> 8 mm	Marché + 10 %	> 6 %
C	> 8 mm	Marché + 5 %	< 10 %
D	> 8 mm	Marché	< 20 %

important de la filière multiplication de semences certifiées et de diffuser ses produits à une échelle régionale, voire nationale. Fin 1998, cette activité devra être autonome sur le plan financier et pour la gestion. Le dispositif comprendra 200 agriculteurs multiplicateurs et le volume de semences commercialisables atteindra 50 à 60 t.

Limitations

Ces perspectives restent soumises aux limitations suivantes qui sont de 2 ordres.

La première limitation concerne la disponibilité en semences de base pour en faire de la semence commerciale. Comme le souligne VALES *et al.*, (1996) pour le riz pluvial, les semences disponibles actuellement correspondent à des semences de pré-diffusion qui n'offrent pas exactement les mêmes garanties de conformité variétale bien que leur multiplication soit faite dans les mêmes conditions que celles des semences de base. Le lancement d'une production de semences de base demande des moyens financiers et techniques. Ce sont davantage les moyens financiers que les compétences qui font défaut à l'heure actuelle pour la mise en place d'une telle activité.

La deuxième limitation se situe dans les coûts des semences proposées, plus chères par rapport au prix des produits de marché. En général, l'agriculteur a pour habitude de conserver une partie de sa récolte, d'en échanger une partie ou d'acheter sur le marché pour semer la culture suivante. La notion de renouvellement des semences est connue mais la différence de prix est le principal frein à l'utilisation des semences sélectionnées. A l'avenir, les nouvelles variétés devront être plus compétitives et présenter un rapport coût/performances plus intéressant pour l'utilisateur final à l'instar des variétés de riz pluvial F 133 et F 152 qui sont diffusées ou qui vont l'être (CHABANNE *et al.*, 1996).

Tableau II. Surfaces multipliées à partir de 1995 (en hectares).

Saison cultures	Contre-saison 1995	Grande saison 1995-1996	Demi-saison 1996
Haricot	2,00	4,60	0,40
Pomme de terre	0,25	0,05	0,20
Soja		0,30	
Riz irrigué		0,30	
Total	2,25	5,25	0,60

Tableau III. Essais multilocaux (en ares).

Saison cultures	Contre-saison 1995	Grande saison 1995-1996	Demi-saison 1996
Blé	23	02	
Haricot	06	01	
Orge		02	
Maïs		15	
Pomme de terre	02	01	01
Soja		09	
Riz pluvial		15	
Voanjobory		01	
Total	31	46	02

Diffusion des semences

Magasins d'approvisionnement

Comme la multiplication de semences, l'approvisionnement s'appuie sur la structure de la section à l'échelle locale. Le CLAC (Comité local d'approvisionnement et de collecte) gère les commandes en étroite collaboration avec le vendeur. Les 23 centres d'approvisionnement ont réalisé un chiffre d'affaires de 279,5 millions de francs malgaches, en 1995 (tableau IV). Ce chiffre d'affaires a été multiplié par 2,1 par rapport à 1994. La contribution des semences est de 16,8 % pour un montant de 47 millions de francs malgaches, alors qu'en 1994, elle était de 10 % et représentait 13,3 millions de francs malgaches. Cette progression est plus marquée pour les semences en terme de chiffre d'affaires (multiplication par 3,5) mais moins en termes de volume (21,2 t contre 14,8 t, soit un coefficient de 1,4). Cela traduit la hausse relative des produits sur le marché des semences.

Dans le détail des ventes des semences, les faibles volumes pour le riz irrigué et le soja s'expliquent par l'habitude des agriculteurs de conserver une partie de leur récolte pour constituer la semence de la prochaine campagne (tableau V).

L'indisponibilité de variétés plus performantes, comme 473 pour le riz irrigué sur les hautes terres, explique aussi en partie les faibles volumes. Le riz irrigué (variété 1285), que FIFATA proposait cette année à la vente, provenait du CMS

d'Anosiboribory (lac Alaotra), ce qui témoigne de la difficulté rencontrée pour s'approvisionner.

Pour le soja, les mêmes remarques sont valables, avec la seule disponibilité de la variété UFV1 (au cycle long). Cependant, l'introduction de variétés brésiliennes devrait permettre de palier ces inconvénients dans un avenir proche.

Foires agricoles

Le principe est d'organiser une vitrine des produits agricoles au sens large du terme et de permettre aux opérateurs du monde agricole de rencontrer les agriculteurs plusieurs jours. FIFATA, qui organise cette année, à Manandona — à 20 km au sud d'Antsirabe — une foire agricole, entend pérenniser plusieurs de ces manifestations dans les années à venir. Ces manifestations sont des endroits potentiels et adaptés (parcelles d'essais, lots de semences à gagner...) à la vulgarisation variétale et à la diffusion des semences.

Tableau IV. Ventes de l'approvisionnement en 1995.

Produits	Volumes	Chiffre d'affaire (millions de francs malgaches)
Engrais	116,2 t	185,0
Phytosanitaires	451-225 kg	11,5
Matériels		22,0
Produits vétérinaires		0,8
Semences	21,2 t	47,0
Alimentation animale	13,8 t	12,5
Plants d'arbres	300 u	0,7
Total		279,5

Tableau V. Détail des semences commercialisées.

Cultures	Quantité (en tonnes)
Blé	4,1
Haricot	6,9
Maïs	2,4
Pomme de terre	5,0
Riz irrigué	0,6
Riz pluvial	1,5
Soja	0,4
Pois de terre	0,3
Semences potagères3 000 doses	
Total	21,2

Conclusion

La diffusion des semences dans la zone où intervient FIFATA est un travail qui doit être évalué sur plusieurs années. Le volume traité par l'approvisionnement est en très forte augmentation sur les trois dernières années. Désormais, cette activité offre des produits aux agriculteurs dans des zones qui n'étaient pas ou peu approvisionnées. Cette possibilité pour l'agriculteur de disposer d'une manière sûre de semences lui demande d'accorder sa confiance. De son point de vue, il existe toujours un risque de ne pas disposer de semences pour la prochaine campagne. Cette réalité, associée au prélèvement d'une partie de la récolte pour en faire des semences, est un facteur non négligeable dans la vente et la diffusion des semences qui doit être raisonnée sur une période de trois ou quatre ans.

Conclusion générale

Pour développer cette activité multiplication de semences, FIFATA recherche des partenaires qui lui permettent d'atteindre les objectifs énoncés. Cela passe par l'accès aux nouvelles variétés issues de la recherche (comme F133 et F152 pour le riz pluvial) et le criblage de variétés importées. Cependant, le plus important à réaliser est la mise en place pratique de la nouvelle législation semencière et l'acceptation de normes communes entre les différents acteurs de la filière.

Références bibliographiques

CHABANNE A., RAZAKAMIARAMANANA M., 1996. Comportement multi-local et pluriannuel des nouvelles variétés de riz pluvial à Madagascar. *In* Le point sur la recherche et le développement de la riziculture d'altitude. Atelier international Antanarivo, Antsirabe, Madagascar, 30 mars-4 avril 1996.

FIFATA, 1994. Rapport d'orientation du 1er congrès de FIFATA. VALES M., RAKOTO M., RAZAFINDRAKOTO J., 1996. La production de semences de riz pluvial d'altitude à Madagascar par FOFIFA-CIRAD et FIFAMANOR. *In* Le point sur la recherche et le développement de la riziculture d'altitude. Atelier international Antananarivo, Antsirabe, Madagascar, 30 mars-4 avril 1996.

POISSON C., RAKOTOARISOA J., (édit.) 1997
Riziculture d'altitude
Actes du séminaire riziculture d'altitude,
29 mars-5 avril 1996, Antananarivo, Madagascar
Colloques, CIRAD-CA, Montpellier, France, 272 p.

Organisation de la filière semence de riz pluvial d'altitude

A. AMARI
FOFIFA-CIRAD-CA

Résumé — Un bilan de la première année de fonctionnement de la filière semence, organisée en collaboration entre le FOFIFA et FIFAMANOR, est présenté. Sept tonnes de semences ont été commercialisées après seulement 2 cycles de multiplication, mais ce bilan met en évidence les faiblesses concernant la qualité des semences produites, les coûts de fonctionnement et le réseau de diffusion et de commercialisation. Des solutions sont proposées cherchant à concilier les exigences et les recommandations de la législation semencière avec nos possibilités humaines et techniques. Cette année, un contrôle et une épuration de toutes les parcelles seront effectués au moment de l'épiaison ainsi qu'un contrôle de la production de chaque parcelle avant l'achat de la production. Enfin, pendant l'intersaison, une analyse de la qualité des lots de semences collectés sera réalisée. Un programme de formation sera développé afin d'assurer la bonne conduite des parcelles de multiplication et la réalisation de leur contrôle. Ces sessions seront également utiles pour accompagner la diffusion de nouvelles variétés. De même, un partenariat avec les organismes de développement de la région pour des actions de promotion et de diffusion facilitera la vulgarisation de nos variétés pluviales d'altitude.
Mots-clés : semence, production, commercialisation, qualité, accompagnement.

Introduction

La vulgarisation de variétés performantes de riz pluvial (FOFIFA 133, 134 et 152) offre de sérieux espoirs d'extension de la riziculture pluviale aux zones d'altitude supérieure à 1 200 m. Jusqu'à présent, malgré une demande paysanne très forte, du fait de la saturation des bas-fonds et de la baisse graduelle de la disponibilité par habitant, la riziculture pluviale d'altitude était quasi impossible en l'absence de variétés adaptées. L'intérêt des variétés créées réside dans un cycle végétatif relativement court permettant d'éviter le froid de fin de cycle, un bon tallage utile et une fertilité importante. Malgré tout, plusieurs conditions restent à remplir pour permettre la valorisation de ces innovations génétiques en culture paysanne. Il est nécessaire de diffuser efficacement dans les campagnes des informations concernant les aptitudes de ces variétés, ainsi que les itinéraires techniques adaptés. Ce travail a été amorcé par des présentations à la radio, à la télévision et dans différentes revues, par des visites d'essais variétaux et culturaux, par la réalisation d'une session de formation et aussi par le biais du réseau d'encadrement de nos partenaires.

La seconde condition est la mise à la disposition des cultivateurs de semences de bonne qualité génétique et technique à des prix abordables. La semence est le véhicule du progrès génétique. Elle doit être obtenue suivant des processus de production stricts permettant le maintien de son intégrité génétique. Elle doit faire l'objet d'un triage et de contrôles appropriés afin d'assurer sa qualité tant sur le plan technique — pureté spécifique, énergie germinative — que génétique — pureté variétale. Face à l'absence de centres régionaux de production et de contrôle des semences, le projet riz d'altitude, en collaboration avec FIFAMANOR, se doit d'assurer la

mise à disposition de semences de variétés pluviales de qualité.

Nos objectifs cadrent parfaitement avec la politique nationale semencière énoncée dans le décret instituant le COMASEM (Comité national des semences) dont le rôle est de promouvoir l'utilisation de semences de qualité comme outil fondamental au développement agricole, d'assurer la protection des droits des obtenteurs et de certifier la qualité des semences commercialisées. A terme, cette nouvelle organisation, conforme au modèle européen, contraindra les producteurs à suivre des règles strictes de multiplication mais validera la qualité de leur travail par la certification de leurs produits. La certification représentera la reconnaissance des multiplicateurs et protègera les intérêts des obtenteurs et des utilisateurs. Il est donc urgent de mettre en place un fonctionnement de la filière semence conforme aux exigences de la législation (même si les règlements techniques du COMASEM ne sont pas encore disponibles, les références internationales existent). Par ailleurs, nous verrons que les règlements énoncés par le GNIS (Groupement national interprofessionnel des semences et plants, France) ne sont pas d'emblée transposables aux conditions locales de production de semences et ne correspondent pas nécessairement aux exigences réelles des cultivateurs.

Nous établirons le bilan des activités en matière de production de semences avant de proposer une réorganisation du système visant à mieux utiliser les moyens à disposition et à mieux respecter les principes et les règles de la production de semences certifiées.

Le partenariat avec FIFAMANOR

FIFAMANOR est un établissement public à intérêt économique et commercial impliqué dans le développement rural par un vaste réseau d'expérimentations agronomiques (nouvelles variétés, nouvelles pratiques culturales) et de vulgarisateurs mobiles disséminés dans l'ensemble de la région des Hauts-Plateaux. Actuellement, sa principale activité est la multiplication de semences. FIFAMANOR est lié par contrat à 192 groupements de paysans semenciers, de onze membres en moyenne, regroupés en une fédération sur l'ensemble du Vakinankaratra. Cette année, 108 ha ont été emblavés par ces groupements en vue de la production de semences de blé, de pomme de terre, de riz pluvial, de haricots et de plantes fourragères. Chaque année, FIFAMANOR commercialise 250 à 300 t de semences de pomme de terre produites à partir de micropropagation *in vitro* et 50 à 60 t de semences de blé. La vocation, l'expérience et les moyens de cette entreprise en font notre principal partenaire.

Le mode de multiplication

Afin de pourvoir rapidement aux besoins exprimés par les organismes de développement implantés dans la région et par les cultivateurs, un mode de production rapide a été adopté. Le matériel génétique d'origine est prélevé sur les essais variétaux, après épuration sur des parcelles bien développées (50 à 80 kg). Il est alors multiplié en grande parcelle (environ 1 ha) sur le site de FIFAMANOR.

Cette année, 0,8 ha de chacune des variétés vulgarisées a été mis en culture sur des sols de bas-fonds très fertiles. L'humidité permanente a permis d'avancer la date de semis au mois d'octobre (au lieu de fin novembre pour la plupart de nos essais) et la récolte a été réalisée le 10 mars pour la variété la plus précoce (FOFIFA 152). Ces cultures n'auront donc pas subi le froid de fin de cycle qui diminue la fertilité et déprécie la qualité des grains. L'aspect des parcelles est excellent et les taux de hors type mesurés sont faibles, même s'ils sont supérieurs aux normes de certification. Les analyses des lots permettront d'apprécier leur qualité mais il semble, à priori, que cette méthode de multiplication, réalisée avec soin, puisse aboutir à l'obtention de semences de qualité suffisante pour satisfaire aux exigences des multiplications paysannes.

Le produit de cette culture est, après triage et test de germination, mis en culture par le réseau de paysans semenciers encadrés par FIFAMANOR. Ainsi, après seulement 2 cycles de production et contrôle, 7 t de semences de FOFIFA 134 et 4 t de 133 ont été récoltés en mai 1995. Cette année, 8 ha ont été emblavés pour chacune de ces 2 variétés et 2 ha pour la variété 152 qui est la plus performante en station (potentiel de 50 à 60 q/ha). Les cultures bénéficient d'un régime pluviométrique favorable et d'après les observations en cours de campagne, un minimum de 35 à 40 t de semences récoltées peut être attendu cette année.

Le principal attrait de cette méthode est donc la possibilité d'approvisionner le marché en minimisant les coûts et les délais de production. Elle est, en revanche, totalement contraire aux règlements techniques régissant la production de semences de base qui stipulent la nécessité de

réaliser la production de semences par filiation généalogique à partir d'un noyau génétique étroitement contrôlé et en limitant les risques d'allofécondation. La production de semences de base s'effectue alors sous le contrôle régulier de l'obtenteur et d'un technicien spécialisé au cours de 3 ou 4 générations de multiplication. Pour celles-ci, des exigences de pureté sanitaire (traitement, isolement, contrôle en champs et en laboratoire) sont également requises vis-à-vis des maladies transmissibles par les semences (cas de la pyriculariose).

Un processus conforme à ces règlements a été mis en place en collaboration avec FIFAMANOR et doit aboutir à une production de semences de base certifiables en 1997. Il devrait permettre d'obtenir des lots de semences d'une pureté variétale quasi parfaite (norme minimale de certification : 99,9 %) mais augmente les délais et les frais de production. L'augmentation des prix des semences commercialisées peut être un frein important à la diffusion de nos variétés étant donné le manque chronique de liquidité des paysans, de leur réticence à utiliser des intrants pour les cultures vivrières et de leur incompréhension face à des prix de semences trop élevés par rapport aux denrées de consommation.

Les 2 modes de multiplication présentent des intérêts indéniables. Le mode de multiplication rapide était dans un premier temps le mieux adapté. A l'avenir, il faudra choisir le processus le plus adapté à l'évolution de la situation (demande globale, exigences du service officiel de contrôle et des paysans, prix auquel les cultivateurs sont prêts à payer le supplément de qualité). Différentes solutions intermédiaires peuvent être envisagées de façon à assurer une production de qualité tout en s'adaptant aux conditions locales de production et de commercialisation. Pour cela, une analyse de la qualité et des coûts de production devra être réalisée.

Les multiplications paysannes

La production de semences de riz pluvial a été confiée à 45 paysans semenciers, encadrés par FIFAMANOR, répartis sur 8 ha et 11 localités. Au total, 7 t de semences pour la variété FOFIFA 134 et 4 t pour FOFIFA 133 ont été produites avec des rendements respectifs de 20 et 14 q/ha. Ces chiffres sont faibles comparés au potentiel des variétés mais conformes aux rendements estimés en parcelles expérimentales sur les sites de moindre fertilité. Les résultats sont même encourageants étant donné que l'année a été particulièrement difficile et que — sur certains sites — les rendements s'élèvent à plus de 30 q/ha. C'est pourquoi, les multiplicateurs et leur voisinage se sont montrés très intéressés par cette culture.

La taille moyenne des parcelles de multiplication paysannes est d'environ 15 ares, ce qui est bien inférieur au minimum autorisé pour la production de semences certifiées. En France, les surfaces minimales dans le cas des céréales autogames sont fixées à 3 ha afin de limiter le taux d'allofécondation et un détourage des parcelles est obligatoire — pour le riz, la surface minimale est fixée à 1 ha mais il s'agit d'une culture aquatique. La surface moyenne des parcelles de multiplication paysanne est donc 20 fois plus faible que la surface réglementaire. En conséquence, les risques d'allofécondation sont accrus et il est difficile d'appliquer les mêmes normes de pureté variétale.

Malheureusement, il est difficile d'accroître la taille des parcelles de multiplication car l'expérience montre que cela se fait en général au détriment de la qualité de la parcelle. D'ailleurs, il faut se souvenir de l'exiguïté des exploitations agricoles de la région du Vakinankaratra (0,6 ha de rizière et 0,7 ha de *tanety* en moyenne). Cette atomisation entraîne une augmentation considérable des coûts correspondant aux suivis des différentes parcelles — qui sont souvent d'accès difficile — et au transport — acheminement des intrants, collecte des récoltes. Pour toutes ces raisons, l'accroissement graduel des surfaces de multiplication est à rechercher. Dans un premier temps, quelques grands propriétaires peuvent être intéressés par cette spéculation, ce qui permettrait de réduire le nombre de parcelles et peut-être d'améliorer des conditions de production car ceux-ci disposent de davantage de moyens. Malgré tout, une expérience de la culture est à exiger. Progressivement, lorsque les paysans et les contrôleurs seront accoutumés aux exigences de la production de semences, la surface des parcelles pourra être doublée.

La qualité des semences commercialisées

Un contrôle de la qualité de 27 lots de semences a montré des déficiences de notre système de production quant à la qualité des produits. Les tests de germination, réalisés en boîtes de Pétri sur papier imbibé d'eau, ont donné, après 2 répétitions, des résultats trop faibles. Pour la variété FOFIFA 133, 16 lots ont été analysés, mais seulement 6 ont atteint le seuil minimal de 80 % imposé par la législation semencière. La moyenne

est de 76 % et 3 lots se situent sous 70 %, ce qui est très insuffisant. Onze lots de la variété FOFIFA 134 ont été analysés, la moyenne est seulement de 67 % de taux de germination et seulement 2 lots ont atteint la norme minimale. Six lots se situent entre 57 et 69 %. Ces résultats sont particulièrement négatifs et sont incompatibles avec toute appellation de semence de qualité.

Pour chacun des lots, une analyse morphologique sur des échantillons de taille supérieure à 300 grains a été effectuée. Elle a montré des taux anormalement élevés de grains mal remplis (12 % pour FOFIFA 133, 9 % pour FOFIFA 134), ouverts (8 % pour FOFIFA 134, 2 % pour FOFIFA 133) et de grains tachés par des champignons (25 % pour les 2 variétés). Cette dernière classe a été responsable de nombreux développements fongiques en boîtes de Pétri qui ont détruit bien des semences en cours de germination. Le taux de grains sains et bien remplis sont de 64 % pour FOFIFA 133 et seulement 59 % pour FOFIFA 134, ce qui explique les faibles taux de germination (respectivement 76 et 67 %).

Pour les grains sains et bien remplis, le taux de germination dépasse 96 % et le poids de 1 000 grains atteint ceux qui ont été mesurés sur notre site de référence. Les taux d'humidité sont toujours satisfaisants autours de 12 %. Cette fraction constitue donc la semence de bonne qualité que nous recherchons. Nous n'avons pas mis en évidence de grains hors type après simples examens visuels malgré une différence de taille importante entre les grains des 2 variétés. Pour mieux juger de la pureté variétale des lots commercialisés, une analyse plus fine est nécessaire comprenant notamment la culture de ces lots en miniparcelles. Des parcelles de 20 m^2 par lot (soit environ 2 000 plants) permettront d'apprécier la qualité variétale des lots tout en formant d'excellentes parcelles de démonstration de la valeur des semences produites.

Plusieurs causes expliquent la mauvaise qualité des lots de semences. Tout d'abord, l'année a été très difficile (sécheresse en début et en cours de cycle, froid en fin de cycle), ce qui a nui à la bonne maturation des grains. La lutte contre les parasites des grains est limitée en milieu paysan en l'absence de fongicide. Il faut donc admettre que les conditions locales ne permettent pas toujours d'atteindre des normes de qualité requises. Un tri sévère est alors nécessaire, il n'a malheureusement pas été réalisé avant l'achat des récoltes par FIFAMANOR. Ainsi, plus de 40 % des grains achetés n'étaient pas aptes à la production de semences.

Huit cents kg environ de particules fines (balles de riz, débris de paille...) ont été éliminés après passage sur la chaîne de triage de FIFAMANOR. Celle-ci ne comprend qu'un nettoyeur-séparateur fonctionnant avec un couple de tamis. Il était alors impossible d'éliminer les nombreux grains tachés, ouverts et mal remplis de taille sensiblement égale à celle des grains pleins. Rappelons que le règlement technique du GNIS impose aux producteurs de semences de disposer d'une chaîne complète de triage comprenant :
– un nettoyeur-séparateur de façon à éliminer des particules fines et grossières ;
– un trieur à graines longues et rondes (trieur alvéolaire) de façon à éliminer les semences de mauvaises herbes ;
– un calibreur capable de sélectionner les grains de format correspondant aux bons grains ;
– une table densimétrique dans le cas de la production de semences de base afin d'éliminer les grains mal remplis ou parasités qui ont une densité moins élevée.

Il est difficile d'exiger et de rentabiliser l'ensemble de ces structures à Madagascar. Cette fois encore, les normes de qualité doivent être adaptées à nos conditions. Une chaîne complète de triage serait pourtant très utile, d'autant qu'elle est adaptable à plusieurs espèces. C'est pourquoi, FIFAMANOR en envisage l'achat grâce à un financement de la CFD (Caisse française de développement) pour l'ensemble de ses activités en matière de semences.

Pour l'heure, il faut organiser un contrôle plus rigoureux de la production de semences en champs puis en laboratoire. D'ailleurs, la législation contraint à la réalisation d'un double contrôle, l'un officiel par le SOC (Service officiel de contrôle), l'autre par les producteurs de semences. Le contrôle en champs sera commencé cette année en cours d'épiaison. Il permettra de veiller à la pureté variétale après élimination des plantes hors types et de collecter des informations concernant les principaux problèmes rencontrés au cours du cycle. Un contrôle systématique de la qualité technique des récoltes sera réalisé par mesure sur un échantillon du taux de grains sains et bien remplis. Une norme minimale d'admission devra être adoptée par FIFAMANOR (au moins 90 %). Cette mesure simple devrait permettre de régler une grande partie des problèmes de qualité tout en diminuant le prix de revient de la semence.

La mise en place de contrôles de qualité en laboratoire sera rendue difficile et laborieuse par le nombre important de parcelles de multiplication. Cette année, les 20 ha emblavés comprennent 140 lots de 300 kg environ, pour un total de 4 t. Comparativement, en France, pour une surface

minimale de 3 ha de blé et pour un rendement moyen de 70 q/ha, un lot représente 21 t. Le coût occasionné par les contrôles en laboratoire est donc plus facilement amorti. De plus, il est difficile de séparer tant de lots de petite quantité et de les trier séparément dans les mêmes locaux. Il serait préférable de considérer l'ensemble de la production d'une zone dont le contrôle et l'encadrement sont sous la responsabilité d'un agent de développement. La production sera alors constituée d'une dizaine de lots, d'origine connue, pour lesquels une analyse en laboratoire sera réalisée ainsi qu'une vérification de la pureté variétale par culture en mini-parcelles. Les locaux et le matériel nécessaires aux analyses de base — faculté germinative, poids de 1 000 grains, pureté spécifique, taux d'humidité, état sanitaire — sont disponibles à FIFAMANOR. Il faudra former des techniciens spécialisés dans le contrôle de qualité des semences de riz et des autres cultures multipliées par FIFAMANOR. Cela augmentera les coûts de production mais permettra d'assurer l'expression des innovations variétales par l'usage de semences de bonne qualité technique et génétique et la notoriété du FOFIFA et de FIFAMANOR.

La commercialisation

L'ensemble de la récolte des multiplicateurs a été acheté à 1 500 francs malgaches par kg soit deux fois le prix du paddy de consommation. Ce ratio est considérable. Après triage, conditionnement et stockage, les semences ont été vendues 2 000 francs malgaches par kg. La marge bénéficiaire de FIFAMANOR est donc réduite, ce qui est conforme à sa politique. Trois tonnes de semences triées sur 10 t disponibles sont restées invendues. Le commerce a donc été totalement déficitaire (total achat : 16,5 M francs malgaches ; total ventes : 14 M francs malgaches). La prise en compte des frais correspondant à la première étape de multiplication, au suivi des parcelles de multiplication, au transport, au conditionnement et au stockage alourdirait encore ce déficit.

Ce bref bilan montre les lacunes du système de commercialisation. Le prix d'achat aux multiplicateurs est très supérieur aux conditions habituelles. Une prime de 20 à 30 % par rapport au prix du paddy de consommation, après que la récolte ait été jugée apte à la production de semences serait plus adaptée. Cela permettrait de diminuer les prix de production (et de vente) et de résoudre une partie des problèmes de qualité.

Malgré les excédents de production invendus, la demande de semences est forte dans les campagnes. Les excédents sont avant tout dus au manque d'information concernant leur disponibilité, au manque de mobilité des paysans et au nombre trop restreint des points de vente. En effet, la majorité des semences a été distribuée par le réseau d'encadrement de FIFAMANOR (43 centres dont la vocation n'est pas la vente). Très peu de distributeurs spécialisés dans la vente d'intrants agricoles disposaient de ces semences ; c'est pourtant le lieu naturel de découverte des nouveautés agricoles pour les utilisateurs. Ces distributeurs, s'ils ne sont pas encore directement intéressés par la vente de semences (quantité trop faible), sont, en revanche, très intéressés par l'augmentation des quantités d'intrants utilisés qui accompagne souvent l'utilisation de semences améliorées. Des accords doivent donc être négociés afin de permettre la mise à disposition de semences dans l'ensemble des points de vente de la région. De même, plusieurs de nos partenaires disposent d'un réseau de contacts avec les agriculteurs dans l'ensemble de la région qu'il faudra davantage mettre à profit.

FIFAMANOR a commencé une expérience intéressante dont le but est de commercialiser des semences dans les villages où sont implantés les multiplicateurs. Les parcelles de multiplication constituent une vitrine qui incite les paysans voisins à utiliser les variétés performantes mais ceux-ci sont souvent trop isolés et trop peu mobiles pour venir s'approvisionner en ville. C'est pourquoi, il semble intéressant d'ouvrir des points de vente dans ces villages. La vente est alors confiée aux paysans multiplicateurs intéressés qui se chargent de la vente dans leur réseau de proximité. Les semences sont vendues avec une remise de 10 % du prix (1 800 francs malgaches contre 2 000 francs malgaches) au multiplicateur, ce qui doit constituer sa rémunération en tant que vendeur. Les résultats à venir permettront de juger de l'efficacité de cette méthode pour toucher le cœur des campagnes.

Un responsable d'une unité de commercialisation a été nommé à FIFAMANOR afin d'étudier les problèmes de planification, d'écoulement et de rentabilité de la production semencière. Son travail sera très utile à la mise en place d'une filière semencière indépendante. Il lui reviendra de calculer les prix de revient des différentes étapes de la production (production de semences de base, de semences commerciales, contrôle et encadrement, contrôle en laboratoire, conditionnement et stockage) et de chercher à les limiter. A terme, il est nécessaire que cette filière puisse s'autofinancer

sous peine de voir la production de semences compromise.

Le second grand volet de son travail est d'assurer la publicité des produits disponibles à FIFAMANOR par voie de presse ou audio-visuelle. Ce type d'action s'est montré efficace pour écouler des stocks de pomme de terre disponibles et il répond à un besoin important de transfert efficace d'informations.

Enfin, il faudra suivre les évolutions du marché de façon à s'y adapter. Pour cela, un réseau fiable de relations avec nos différents partenaires sera indispensable. L'expérience de FIFAMANOR dans de nombreuses cultures (pomme de terre, riz) a montré combien l'existence de surplus était dangereuse pour l'équilibre financier d'une entreprise.

Organisation de la filière semence

Outre FIFAMANOR et le FOFIFA, les paysans multiplicateurs et les revendeurs, plusieurs organismes sont intéressés par les variétés de riz pluvial créées par le projet riz d'altitude. Le projet riz d'altitude FOFIFA-CIRAD collabore ainsi avec plusieurs organismes de développement de la région des Hauts-Plateaux. Deux d'entre eux sont particulièrement intéressés par la diffusion des variétés de riz pluvial. FIFATA, la première organisation paysanne malgache, regroupe 2 500 membres avec lesquels elle entretient un réseau d'information sous la forme de groupes de réflexion et de concertation, de séances de formation, de visites de sites (dont nos essais de riz pluvial) et d'un journal agricole. Ce dernier nous a permis, en effet, de diffuser des informations concernant les caractéristiques de nos variétés, les disponibilités en semences ainsi qu'une fiche technique. FIFATA dispose également d'un réseau de 24 points de vente d'intrants agricoles par lesquels une partie de la production de semences a été écoulée. Une utilisation plus intense de ce réseau pourrait permettre de résoudre une partie des problèmes d'écoulement des stocks de semences. Enfin, FIFATA dispose d'un réseau de paysans multiplicateurs dont la production est destinée à approvisionner les points de vente du groupe. Son intervention dans la production de semences est donc envisagée. L'ODR (Opération de développement rural, phase 2) dispose d'un réseau de 100 agents de développement disséminés dans toute la région. Cet organisme a assuré une partie des multiplications des semences de la première génération de variétés diffusées (FOFIFA 62, 64 et 116) par un schéma original de multiplication latérale. L'ODR fournit à son réseau de multiplicateurs des semences améliorées qu'ils sont chargés de multiplier et de vendre dans leur réseau villageois. Ce mode de multiplication, s'il est bien conduit et encadré, permet la production de semences (R2, R3 ou R4) à des prix très proches de ceux du paddy de consommation car le schéma de multiplication est très simple et il n'y a pas de réels frais de transport et de stockage. Il permet également la mise à disposition de semences au cœur même des villages. Enfin, le producteur, vivant de l'écoulement de sa production, réalise naturellement un contrôle de qualité approprié en particulier par un triage soigneux. Ce mode de multiplication ne peut certes pas prétendre à une certification officielle mais complète notre dispositif et semble bien adapté aux conditions locales. Le fonctionnement de l'ODR est assuré jusqu'en fin 1996, date à laquelle une structure PNVA (Plan national de vulgarisation agricole) lui sera substituée mais elle devrait fonctionner sur le même système.

Le FOFIFA, FIFAMANOR, FIFATA et l'ODR disposent de moyens importants et complémentaires ; les objectifs sont par ailleurs similaires. Il est donc souhaitable d'harmoniser leurs actions dans la région afin de faciliter la vulgarisation des variétés. C'est pourquoi, des réunions de concertation auront lieu afin d'établir le rôle que chacun est en mesure d'assurer dans la production et la commercialisation de semences et de la promotion de leur utilisation. Ceci s'apparente aux réunions de l'interprofession prévues par la législation avec la mise en place des comités régionaux des semences.

Il faudra également associer des représentants des groupements semenciers afin d'établir des normes locales de production et de contrôle des semences inspirées des règlements techniques existants, mais il faudra les adapter aux contraintes et aux possibilités locales. Toute parcelle de production devra être contrôlée en cours de culture, après l'épiaison, au moment de l'achat, et devra répondre à des normes de qualité, fixées collégialement, qui évolueront progressivement vers les normes internationales. D'ailleurs, 2 catégories de semence pourront être distinguées en fonction du mode de multiplication adopté (modèle FIFAMANOR ou ODR). Les critères de pureté variétale et spécifique (99,7 et 98 %) pourront être assouplis étant donnée l'insuffisance des moyens de contrôle et de triage et de la faible incidence de ces défauts en culture (1 % d'impureté variétale correspond à 1 plant au m^2). En revanche, il faudra interdire à la vente tout lot dont les taux de germination et de grains sains et bien remplis seront insuffisants (respectivement 80 et

90 %). Ce contrôle pourra être réalisé au centre FIFAMANOR pendant l'intersaison, sous la direction de ce comité chargé des contrôles qualité. La prise en charge des frais d'analyse sera assurée collégialement.

En outre, conformément à la législation semencière, ces différents organismes devront s'engager à assurer la formation de leur personnel technique afin que ces contrôles soient réalisés dans de bonnes conditions. Dans ce but, des sessions de formation seront organisées prochainement par le FOFIFA.

Formation

La mise en valeur des *tanety* étant difficile, la culture du riz pluvial et la production de semences étant des éléments nouveaux, une formation est nécessaire afin d'accompagner et de permettre la vulgarisation des variétés pluviales améliorées. Elle devra s'adresser avant tout aux responsables de l'organisation de la production de semences, aux agents de développement, aux contrôleurs en champs et en laboratoire ainsi qu'aux paysans multiplicateurs.

Une première phase de formation a eu lieu avant la mise en place de la campagne, elle portait sur les thèmes suivants :
– les caractéristiques des créations variétales et leur comportement sur différents supports ;
– la gestion de la fertilité des sols ;
– le rôle et les caractéristiques des différents intrants (matière organique, dolomie, engrais) et des différentes pratiques culturales (labour, binage, sarclage, rotation culturale, jachère) ;
– l'identification et la lutte contre les principaux ennemis des cultures (insectes, champignons, mauvaises herbes).

Il s'agissait d'une formation agronomique générale comportant une partie théorique (origine d'un sol, importance de la structure, capacité d'échange des particules du sol, cycle de la matière...) et un volet d'application à la mise en place d'une culture de riz pluvial sur les sols de la région. Cette session a intéressé environ 100 agents de développement, répartis en 2 groupes émanant des principaux organismes de la région (FIFAMANOR, ODR, FIFATA, TAFA, Ramilamina). Un document de synthèse, ainsi qu'une fiche technique ont été remis à chacun de ces organismes. Une nouvelle version, illustrée et plus pratique, sera prochainement diffusée. Cette expérience a été beaucoup appréciée. Il faut donc la poursuivre de façon à améliorer les connaissances agronomiques des agents de développement. Il faudra plus traiter des problèmes phytosanitaires fréquemment rencontrés par ces agents et présenter les innovations techniques validées par nos expérimentations agronomiques. Une demande très forte émane de ces organismes quant à la production de semences, c'est pourquoi, une session de formation sera organisée en avril ou mai prochain.

Une réunion d'information et de concertation aura lieu avec les cadres responsables de la production et de la commercialisation des semences à FIFAMANOR. Elle aura pour objet de présenter l'organisation de la production semencière selon un modèle international et de les adapter à nos possibilités. Les points abordés seront les suivants :
– les conditions d'admission au catalogue pour les nouvelles variétés (contrôle de la nouveauté, de l'homogénéité et de la stabilité génétique ; contrôle de la qualité génétique et technologique) ;
– les normes techniques imposées aux producteurs de semences de base et de semences certifiées ;
– les normes et l'organisation du contrôle qualité.

Le but est d'harmoniser nos exigences de qualité, notre désir de reconnaissance officielle ainsi que nos possibilités humaines et matérielles. Les grandes lignes à suivre de la nouvelle organisation de la filière semence sont déjà établies. Cela devrait déboucher sur l'élaboration de nouveaux contrats imposant des normes de qualité aux paysans multiplicateurs et sur une série de contrôles en champs, puis en laboratoire. Pour cet aspect, une sensibilisation et une formation des contrôleurs sont nécessaires.

Une fiche de contrôle et de suivi des parcelles de multiplication a été réalisée. Le contrôle de toutes les parcelles de multiplication permettra de veiller à leur épuration de façon à assurer une pureté variétale satisfaisante. De plus, ce sera l'occasion d'une enquête sur les principaux problèmes rencontrés en culture par les paysans semenciers. Il semble que les attaques causées par les larves de hannetons sont très fréquentes.

Une journée de formation des contrôleurs de terrain aura lieu afin de les initier aux tâches suivantes :
– la reconnaissance des différentes variétés afin d'éviter les risques d'inversion de noms ;
– l'identification des plants hors types ;
– la mesure du taux de pureté variétale après échantillonnage ;
– la mesure du taux de grains de bonne qualité ;
– la reconnaissance des principaux ennemis des cultures.

Cette session sera composée d'un volet théorique puis de travaux pratiques d'application en champ. Toutes les parcelles seront visitées au moment de l'épiaison et l'élimination des hors types sera

exigée. Au moment de l'achat, un contrôle systématique de la qualité des lots sera réalisé. Un taux minimum de 90 % de grains sains et bien remplis sera exigé. Cette mesure simple permettra d'améliorer la qualité des lots commercialisés.

Afin de réaliser ces contrôles dans de bonnes conditions, l'établissement de contrats imposant des épurations et notifiant les causes de refus est nécessaire. Il devra être complété par une sensibilisation et une formation appropriée des paysans semenciers. Celle-ci est actuellement assurée par la section vulgarisation de FIFAMANOR en langue malgache. Elle devra être amplifiée et assurer l'assimilation :

– de la fiche technique préconisée et du rôle des différents intrants ;

– des exigences propres à la production de semences (épuration, qualité technique, isolement de tout autre produit récolté...) ;

– des critères de refus d'une parcelle (non respect du cahier des charges, qualité sanitaire défectueuse...).

Ces séances de formation devront être complétées par la distribution de documents adaptés (fiches techniques illustrées) et surtout par les conseils des agents de développement tout au long du déroulement de la culture. La compréhension et l'acceptation des normes de multiplication par les paysans semenciers sont indispensables à l'amélioration de la filière semence.

Pour réaliser le contrôle de la qualité des lots de semences en laboratoire, la formation d'un technicien spécialisé est nécessaire. Celle-ci devra couvrir les tâches suivantes :

– la détermination de façon routinière de la faculté germinative, de la pureté spécifique, du poids de 1 000 grains, de la teneur en eau et du taux de grains de bonne qualité ;

– la notion de lot et la réalisation d'échantillonnage ;

– la tenue de registres.

Le contrôle devra se faire pendant l'intersaison et concerner les 3 dernières phases de multiplication, chacune étant assurée par un organisme différent (le FOFIFA, la section recherche de FIFAMANOR et enfin les paysans multiplicateurs). Le travail de chacun sera donc soumis à un contrôle. Les lots seront formés en fonction de la zone de production qui correspond à un agent responsable du suivi de l'ensemble des parcelles. Les lots devront être triés, conditionnés et conservés séparément. L'analyse permettra d'éliminer les lots défectueux et d'identifier les zones responsables.

Conclusion

L'analyse des résultats obtenus après une première année de production de semence a montré les faiblesses de la filière semence concernant la conduite des multiplications paysannes, la qualité des produits et le réseau de commercialisation et de diffusion. Pour y remédier et prétendre à une reconnaissance officielle par la certification de la qualité des semences, une meilleure organisation de la production et de son contrôle est nécessaire. Cette réorganisation est déjà amorcée par la production de semences de base certifiables et cette saison sera marquée par la réalisation de contrôles systématiques des parcelles en champs, des produits de la récolte et des lots de semences en laboratoire. Cela devrait permettre la production de semences de bonne qualité mais il semble nécessaire de concilier les normes légales de production et de contrôle, les possibilités techniques locales, les contraintes économiques et les réels besoins des producteurs.

POISSON C., RAKOTOARISOA J. (édit.). 1997
Riziculture d'altitude
Actes du séminaire riziculture d'altitude.
29 mars-5 avril 1996, Antananarivo, Madagascar.
Colloques, CIRAD-CA, Montpellier, France, 272 p.

Semis direct des cultures vivrières sur couvertures végétales

J.M. RANDRIANAIVOARIVONY, M. RAKOTONDRAMANANA
FIFAMANOR, BP 198, 110 Antsirabe, Madagascar

Résumé — Le climat qui prévaut sur les hautes terres malgaches est caractérisé par une forte intensité pluviométrique entraînant une érosion importante sur sol nu. Le semis direct sur résidus de récolte donne des résultats prometteurs en culture mécanisée. Après trois campagnes d'étude, l'on a noté une forte réduction de l'érosion durant les mois les plus pluvieux (janvier, février), une restauration de fertilité du sol, une forte réduction des attaques d'*Heteronhycus plebejus* et une diminution du coût de production en général. Le semis direct sur zéro labour réussit bien sur soja, les résultats sont moins nets avec le maïs. La maîtrise des mauvaises herbes est l'élément capital du semis direct. Cette maîtrise peut se faire par herbicide ou dans certains cas, par fauchage. Dans les parcelles à mauvais drainage et à forte teneur en matière organique, le semis direct a été un échec.
Mots-clés : semis direct, érosion, restauration, productivité, temps de travaux, coût de production.

Introduction

La station Mimosa a été exploitée pendant plus de vingt ans en pratiquant le labour conventionnel en culture mécanisée. Durant les dix dernières années, le rendement des cultures vivrières tend à diminuer même en pratiquant la rotation. Par exemple, le rendement de blé en 1985 a été de 2,2 t/ha alors qu'en 1990, il a été de 1,8 t/ha sur la même parcelle. Cette situation est due à la forte érosion provoquant la dégradation du sol tous les ans. Les parcelles sont infestées d'insectes terricoles dont le plus répandu est *Heteronychus* sp. Le service d'entomologie du FOFIFA a recensé sur la parcelle 200 à 300 *Heteronychus* par m^2, en 1990. Pour contrôler l'attaque d'insectes terricoles sur le maïs et le blé, 15 à 30 kg/ha d'insecticides à base de lindane ont été utilisés. Le prix des pesticides tend toujours à s'accroître d'une campagne à une autre ainsi que les autres intrants (engrais, autres produits de traitements). De même, les pièces détachées pour le tracteur et ses accessoires augmentent chaque année. En conséquence, le coût de production est élevé mais le prix de produits agricoles est en stagnation d'où la non viabilité de la culture mécanisée. Pour instaurer une agriculture rentable et durable, un système résolvant ces problèmes se révèle nécessaire et pertinent. Ce document présente le système de semis direct sur couverture végétale.

Matériels et méthodes

La station Mimosa, située à 17 km au nord d'Antsirabe, est caractérisée par un sol de type dépôt volcano-lacustre à pH 5,2 pour l'horizon de 0 à 20 cm. La parcelle MVI de la station a été choisie comme parcelle-test à cause des problèmes évoqués ci-dessus. Les résultats ainsi obtenus ont été transposés sur d'autres parcelles.

Deux matériels de semis direct ont été introduits du Brésil : un semoir pour céréales (TD 300) et un autre pour gros grains (Jumil). Ils ont la propriété de semer en même temps les grains et les engrais.

Pour l'ensemble des productions, 3 modes de gestion sont comparés sans apport de matière organique :

– sol nu avec labour conventionnel ;
– couverture morte ou résidus de récolte ;
– couverture vive.

Le choix de couverture est fonction de l'intégration élevage-agriculture. On a testé le raygrass, le brachiaria et *Brachiaria ruziziensis* et le kikuyu *Pennisetum clandestum* qui sont parmi les espèces fourragères déjà cultivées par les paysans dans la région. Les résidus de récolte des cultures vivrières testées sont le blé, le soja, le maïs et le haricot ainsi que le résidu d'avoine. Les légumineuses fourragères ont été utilisées comme couverture vive. Les espèces testées sont le trèfle *Trifolium semipilosum, Desmodium intortum* et le lotier (*Lotus* sp).

Parmi les cultures vivrières les plus pratiquées dans la région d'Antsirabe, les espèces testées sont :
– le maïs variété Tombontsoa ;
– le soja variété UFV1 ;
– le blé variété Andry 91 ;
– le haricot variété Soafianarana ;
– le riz pluvial variété FOFIFA 3406.

Les différents systèmes de culture à comparer sont conduits sur des parcelles d'au moins 75 ares permettant d'évaluer :
– l'incidence de l'érosion ;
– les rendements des cultures et leur stabilité qui peuvent être liés aux évolutions des caractéristiques physico-chimiques et biologiques des sols selon leur mode de gestion ;
– l'évolution des maladies et des insectes ;
– les temps de travaux et les coûts de production.

Résultats et discussions

Sur l'érosion

Les résultats, durant les deux années d'expérience, ont montré que l'érosion a été complètement maîtrisée. Cette observation nous permet de conclure que la culture sur couverture végétale réduit ou annule l'érosion et cette technique de semis direct est un moyen de lutte contre l'érosion. Les travaux de MERTEN (1991) ont montré que le sol perdu à cause de l'érosion, pour une précipitation de 988 mm, s'élève à 113 782 kg/ha alors qu'il n'est que de 836 kg/ha sur semis direct. Ce même résultat a été confirmé par les travaux de MICHELON et PERRET, en 1994, ainsi que par SEGUY et BOUZINAC, en 1992.

Sur la restauration de la fertilité des sols

Le semis direct de soja sur résidu de maïs et d'avoine améliore le pH du sol, le rapport C/N, la capacité d'échange cationique et le P assimilable (tableau I). Ce résultat a été confirmé par différents travaux. La couverture vivante ou morte fournit des résidus au sol qui remplacent en partie les apports de matière organique indispensables au sol nu (MICHELON, 1994).

Tableau I. Résultats d'analyse du sol sur les itinéraires (labour et semis) après culture de soja en saison pluviale 1993-1994.

	Labour		Semis direct			
			Résidu maïs		Résidu avoine	
	CS	CP	CS	CP	CS	CP
pH_{H2O}	5,00	5,20	5,75	5,30	5,40	5,30
pH_{Kcl}	4,40	4,35	5,10	4,45	4,70	4,25
MO totale (%)	6,85	5,59	10,00	5,45	12,38	6,09
CO total (%)	3,98	3,25	5,81	3,14	7,20	3,54
N total (%)	2,61	1,91	5,73	2,32	5,50	2,29
C/N	15	17	10	14	13	15
Al éch. (méq/100 g)	0,35	0,50	0,08	0,24	0,68	0,05
Ca (méq/100 g)	4,06	2,09	6,16	2,53	2,20	7,37
Mg (méq/100 g)	1,44	0,87	3,56	1,41	1,09	4,32
K (méq/100 g)	0,74	0,34	1,88	0,36	0,34	1,95
Na (méq/100 g)	0,03	0,02	0,05	0,02	0,02	0,05
CEC (méq/100 g)	6,19	3,84	9,77	5,41	4,35	11,08
P assimilable Olsen (ppm)	16,5	7,5	16,6	17,1	18,4	24,2

CS : couche superficielle
Cp : couche de 20 cm de profondeur

L'état de la matière organique et l'activité biologique sont les pivots de l'amélioration de la fertilité des andosols. Ces sols présentent un taux de matière organique toujours très élevé, mais elle est fortement liée aux produits amorphes et inutilisables (RAUNET, 1991 ; PY CLARIOND, 1989).

Sur la réduction d'attaque de maladie et d'insectes sur la culture

La technique de semis a contrôlé l'attaque des maladies nommée le gros genou *(Ophimia phaseolus)* sur le haricot (tableau II). On observe que 72 % des plants sont attaqués par la maladie sur l'itinéraire labour contre 10 % pour le semis direct. MICHELON (1992) a obtenu le même résultat à la Réunion.

Les insectes terricoles qui attaquaient auparavant les cultures de blé et de maïs sont maintenant maîtrisés grâce à l'utilisation de la technique de semis direct. Sur les parcelles non labourées, l'utilisation d'insecticides est abandonnée et la conséquence sera la réduction du coût de production de la culture.

Tableau III. Rendements (kg/ha) du soja sur itinéraire labour et semis direct pour différents résidus de récolte.

Traitement	Résidu blé	Résidu maïs	Moyenne
Labour	2 250	2 297	2 423 a
Semis direct	2 725	2 050	2 387a
Moyenne	2 637 a	2 173 b	-

CV : 3 %
Seuil de signification : 0,05

Sur les types de couverture

Trois natures de couverture ont été testées :
– les résidus de récolte (avoine, maïs, soja, riz pluvial, haricot et blé) ;
– la couverture morte de raygrass, de brachiaria et de kikuyu ;
– la couverture vive de trèfle, de desmodium et de lotier.

Les tableaux III, IV, V et VI nous permettent de dégager les points suivants :
– la technique de semis direct réussit bien sur soja quels que soient les résidus de récolte ou de couverture morte utilisés ;

Tableau II. Nombre de pieds du haricot sur 2 m linéaire attaqués par *Ophinia phaseolus* (gros genou) sur itinéraire labour et semis direct dans différentes couvertures mortes de raygrass, de brachiaria et de kikuyu.

	Couverture raygrass		Couverture brachiaria		Couverture kikuyu		Moyenne	
	PA	PT	PA	PT	PA	PT	PA	PT
Labour	8	11	8	10	9	11	8	11
Semis direct	1	10	2	11	2	10	2	10
	9	21	10	21	11	21	10	10

PA : pieds attaqués
PT : pieds totaux

Tableau IV. Rendement (kg/ha) de soja sur itinéraire labour et semis direct pour différents types de couverture morte.

	Raygrass	Brachiaria	Kikuyu	Moyenne
Labour	2 136	2 654	2 258	2 349 a
Semis direct	2 633	500	2 472	1 868 b
Moyenne	2 384 a	1 577 b	2 365 a	2 108

CV : 17 %
Seuil de signification : 0,05

Tableau V. Rendement (kg/ha) de blé sur itinéraire labour et semis direct dans différents résidus de récolte.

	Résidu soja	Résidu blé	Résidu maïs	Moyenne
Labour	3 081	1 979	2 253	2 437 a
Semis direct	2 851	1 395	2 995	2 413 a
Moyenne	2 966 a	1 687 b	2 624 ab	2 425

CV : 10,5 %
Seuil de signification : 0,05

Tableau VI. Rendement (kg/ha) de maïs sur divers modes d'entretien de couverture vive (desmodium).

Traitement	1993	1995
Labour	4 800 b	3 800 a
Semis direct		
Fauchage	5 400 a	3 150 ab
2-4D	5 700 a	2 900 ab
Non fauché	-	2 380 c
CV :	15 %	19 %
Seuil de signification :	0,05	0,05

– pour les autres cultures telles que le maïs, le blé et le haricot, cette technique est faisable à condition qu'il n'existe pas de concurrence entre la culture et les mauvaises herbes ;
– les résultats durant les trois années d'expérience ont montré que si les adventices ne sont pas maîtrisées, la concurrence entre la culture et les mauvaises herbes ou la culture et la couverture vive est observée. L'utilisation d'herbicide de pré-levée et de post-levée est indispensable pour lutter contre les mauvaises herbes ;
– le taux de recouvrement de la couverture morte ou de résidus de récolte est un facteur déterminant du développement des adventices. Il varie selon les espèces et l'épaisseur de la couverture. La couverture ayant une épaisseur de 3 à 5 cm, elle n'a pas besoin d'herbicide de postlevée ;
– en ce qui concerne la couverture vive, la culture du maïs et du blé sur trèfle ou sur desmodium a montré des résultats probants. La régularisation de la croissance de la couverture vive est un facteur capital afin d'éviter la concurrence entre la couverture et la culture associée.

Sur le rendement de cultures vivrières et sur le coût de production

Le test a été fait sur résidus de récolte, sur couverture morte et sur couverture vive.

Sur résidus de récolte et sur couverture morte

La technique de semis direct influence la productivité des cultures vivrières en donnant en général le même rendement que l'itinéraire labour. On a noté que depuis les trois années d'expérience, le rendement de soja est stable quelles que soient les couvertures mortes ou les résidus utilisés (tableau III et IV). Pour les autres cultures vivrières (maïs, blé, haricot), il varie d'une année à une autre. Cette variation serait due à la nature de résidus et au gradient de fertilité de chaque parcelle. En général, le résidu de soja donne le meilleur rendement (tableau V).

Les résultats ont été transposés en grande parcelle et la technique de semis direct réussit bien sur soja mais pour les autres cultures, la maîtrise des mauvaises herbes sera d'abord assurée si l'on veut appliquer cette technique.

Sur couverture vive

La combinaison entre la couverture vive en particulier, le desmodium et le maïs a été testée. Les résultats de deux dernières années montrent que la culture du maïs sur couverture vive de desmodium est faisable à condition que la couverture ne concurrence pas la culture durant la première phase végétative de la culture. On observe que le traitement non fauché ne produit que 2 460 kg/ha alors que le traitement fauché donne 3 150 kg/ha ; cette différence est due à la concurrence entre la couverture et la culture (tableau VII).

Coût de production

La technique de semis direct a des conséquences positives sur les temps de travaux et le coût de la production. Les temps de travaux pour l'itinéraire labour conventionnel sont 5 fois plus élevés que ceux du semis direct (tableau VIII) ; ceci assure la longévité de machine agricole (tracteur). La technique de semis direct reduit le coût de production des cultures vivrières de 20 à 30 % (tableau IX).

Conclusions et pespectives

Les résultats obtenus durant les trois années d'expérience ont montré que la technique du semis direct a des effets bénéfiques sur la lutte contre l'érosion, la restauration de la fertilité du sol et la réduction importante de l'attaque d'insectes terricoles et certaines maladies telle que le gros genou sur le haricot. La technique de semis direct réussit bien sur soja mais pour les autres cultures vivrières, la maîtrise des mauvaises herbes est l'élément capital. Elle réduit le temps de travaux et assure la longévité des tracteurs. De plus, le coût de production est faible par rapport au labour conventionnel. Le semis direct pourrait donc avoir un avenir pour fixer une agriculture stable et durable sur les hauts plateaux malgaches.

Tableau VII. Temps de travaux sur culture mécanisée pour deux itinéraires labour et semis direct (SD).

Travaux	Soja		Blé		Maïs	
	Labour	SD	Labour	SD	Labour	SD
Labour/affinage (HT)	24	0	24	0	24	0
Semis (HT)	2,5	3,5	3	2,5	2,5	3,5
Epandage herbicide (HT)	1	2	1	2	1,2	1,5
Epandage engrais (HT)	1,2	0	1,2	1,5	1,2	1,5
Sarclage manuel (HJ)	40	0	40	0	40	0
Total HT	28,7	5,5	25,2	6,0	28,7	7,0
HJ	40	0	40	0	40	0

HT : heure tracteur
HJ : homme-jour

Tableau VIII. Coût de production (en milliers de francs malgaches/ha) et seuil de rentabilité en culture mécanisée pour itinéraire labour et semis direct.

Cultures	Itinéraire labour		Itinéraire semis direct		Réduction de coût de production (%)	
	1994	1995	1994	1995	1994	1995
Soja CP	1 089	1 668	762	1 268	30,05	23,98
SR	2 264	2 085	1 524	1 585		
Blé CP	1 408	1 731	1 105	1 268	21,51	26,74
SR	2 470	2 177	1 938	1 595		
Maïs CP	1 155	1 958	828	1 040	28,31	46,88
SR	2 887	3 916	2 070	2 080		
			1994	1995		
Prix de vente (francs malgaches/kg) :		soja	525	800		
		blé	595	795		
		maïs	400	500		

CP : coût de production
SR : seuil de rentabilité

Références bibliographiques

MICHELON R., 1994. Gestion des sols et des cultures avec couverture végétale. CIRAD la Réunion, station des Colimaçons, 29 p.

PY F., CLAROND, A. 1989. Etude des relations entre stock organique, stabilité structurale et activité microbienne. DAA, ENSAT/IRAT. La Réunion, 103 p.

RANDRIANAIVOARIVONY J. M., 1994 Etude de la technique de semis direct sur les cultures de soja, du blé, du maïs, du haricot et du riz pluvial sur couverture morte et vive en saison pluviale 1992-1993 et 1993-1994, 6 p.

SEGUY L. , BOUZINAC S., MUNEFUME MATSUBARA, 1992. Nouveaux concepts de gestion écologique du sol pour la fixation d'une agriculture stable et durable dans les régions tropicales humides et équatoriales du Brésil, 34 p.

SEGUY L., BOUZINAC S. Gestion des sols et des cultures dans les zones de frontières agricoles des cerrados humides du Centre Ouest brésilien. 1. Highlights 1992 et synthèse actualisée 1986-1992. 2. Gestion écologique des sols.

Session 3

Recherche-développement

Semis direct

POISSON C., RAKOTOARISOA J. (édit.), 1997
Riziculture d'altitude
Actes du séminaire riziculture d'altitude,
29 mars-5 avril 1996, Antananarivo, Madagascar.
Colloques, CIRAD-CA, Montpellier, France, 272 p.

Les systèmes de culture à base de semis direct avec couverture permanente des sols

P. RAKOTONDRALAMBO
Organisation non gouvernementale TAFA, Antsirabe, Madagascar

Résumé — Pour arrêter la dégradation des sols sur les collines au-dessus des rizières, des modes de gestion sont mis au point avec couverture morte ou vive. Ils améliorent les résultats technico-économiques, suppriment toute érosion et restaurent la fertilité à moindre coût.
Mots-clés : restauration des sols, protection contre l'érosion, semis direct, couverture morte, couverture vive, petit paysannat.

Présentation de l'organisation non gouvernementale TAFA

L'organisation non gouvernementale TAFA *(Tany sy fampandrosoana),* organisme non gouvernemental, a été créé le 1er janvier 1995 (association régie par l'ordonnance 60-133) pour poursuivre les activités engagées par l'équipe des fermes mécanisées de l'opération blé (KOBAMA) dont le financement fut interrompu le 31 décembre 1994. Une des composantes principales du programme de cette équipe était constituée par les expérimentations sur les systèmes de culture en semis direct et sur couverture permanente des sols, entreprises depuis 1991, à la ferme expérimentale d'Andranomanelatra, à Antsirabe, et avec l'appui technique de Lucien Séguy, agronome-expert du CIRAD, en poste au Brésil.

Aussi, la Caisse française de développement — consciente de l'intérêt que présente le projet pour Madagascar — a-t-elle accepté de poursuivre son financement dans le cadre du programme de recherche de FIFAMANOR, pour la période 1995-1996, facilitant pour ce faire la constitution de l'organisation non gouvernementale TAFA, dont les fondateurs et les promoteurs étaient principalement la KOBAMA, le FOFIFA, le CIRAD et FIFAMANOR.

La mission de l'organisation non gouvernementale TAFA est donc la suivante :
– poursuivre les travaux d'expérimentations entreprises en milieu contrôlé (ferme d'Andranomanelatra) ;
– adapter et transférer en milieu réel (milieu paysan) les résultats des expérimentations par la recherche-action.

Projet systèmes de culture à base de semis direct avec couverture permanente des sols

Contexte général

Les états de dégradation extrêmement avancés des unités de paysage et des sols cultivés sont perceptibles, d'année en année, dans presque toutes les régions de Madagascar. L'ampleur des champs de *lavaka,* à Madagascar, n'est que l'aspect le plus visible et le plus spectaculaire des processus d'érosion qui se généralisent et s'amplifient d'année en année, dans toutes les écologies et les espaces ruraux de l'île. L'érosion dite « agricole » à cause de pratiques culturales inadaptées, décape et dégrade tous les ans un peu plus les sols, les rendant de plus en plus difficiles à récupérer, nécessitant des niveaux d'intrants de plus en plus élevés. C'est une perte

considérable pour l'avenir de Madagascar. Ainsi, sur les hauts plateaux, la pression démographique et la saturation des bas-fonds, accélèrent d'année en année, la mise en valeur des sols ferrallitiques de *tanety* (sols à pente) qui sont des sols fragiles et complètement dégradés. Déjà, l'érosion ensable les rizières et dégrade les aménagements hydroagricoles, nécessitant des réhabilitations fréquentes et coûteuses.

Il en est de même dans la partie orientale du pays, où la pratique ancestrale des *tavy* provoque la déforestation rapide et réduit la biodiversité, une des richesses de Madagascar. Les cyclones fréquents accélèrent les glissements des sols et dégradent leur fertilité.

On constate le même phénomène dans les régions du Sud, du Sud-Ouest et de l'Ouest (sols ferrugineux tropicaux) où le surpâturage, l'agriculture itinérante, les feux de brousse, les pluies agressives, induisent une érosion et un ruissellement très importants avec gaspillage de l'eau rare.

L'érosion des sols est donc un phénomène très grave à Madagascar, qui, outre la destruction du capital sol nécessaire pour assurer l'autosuffisance d'une population en constant accroissement, entraîne également la rupture des équilibres naturels et induit des manifestations catastrophiques (inondations, ensablement, glissements de terrain, destruction d'ouvrages...). Un des défis majeurs pour Madagascar est donc de ralentir, puis de contrôler tous ces processus de dégradation des sols en élaborant, pour et avec le monde paysan, des techniques et des pratiques agricoles adaptées et éprouvées, plus conservatrices du milieu et qui soient en même temps praticables et rentables pour les exploitations (pour la protection et la production). Les solutions techniques et les dispositifs divers mis au point et expérimentés depuis plusieurs années à Madagascar tels que les courbes de niveau, banquette, brise-vent et autres solutions exigeant de puissants moyens mécaniques coûteux se révèlent très souvent insuffisants pour traiter durablement les problèmes de dégradation. De plus, ils sont souvent inadaptés aux conditions socio-économiques et à la force de travail des communautés villageoises.

Les paysans ne se motivent pas longtemps pour de tels travaux qui, pour être exécutés, doivent être directifs. C'est donc une autre voie qu'il faut explorer pour gérer la protection des sols, c'est-à-dire la voie agronomique et biologique à l'échelle de la parcelle et de l'exploitation. Le paysan doit y percevoir son intérêt autrement que dans la promesse d'un hypothétique bénéfice à long terme de conservation de son capital sol. La gestion correcte de ses terres et de son système de culture doit simultanément lui permettre d'y gagner dans la production (intensification et diversification) avec diminution des charges et réduction de la pénibilité et des temps de travaux et de mieux gérer la réduction des risques climatiques et économiques.

C'est la durabilité et la reproductibilité, au sens complet des termes — écologique, économique, technique —, qui doivent être envisagées et non pas la seule composante conservation des sols sur laquelle on ne peut vraiment conscientiser et responsabiliser les communautés rurales, qui sont plus préoccupées par le court terme, voire par la simple survie alimentaire.

Objectifs

L'objectif général du projet est la mise au point et la diffusion des techniques permettant une utilisation rationnelle de l'espace rural, tout en conservant ou en améliorant ses capacités de production. Des techniques simples, extrêmement efficaces pour la protection du capital sol, sans nécessité de remodelage de la surface et parfaitement conciliables avec la fixation d'une agriculture manuelle diversifiée, existent actuellement. Ils ont fait leur preuve dans certains pays du monde, notamment au Brésil. Il s'agit des techniques appelées techniques de semis direct qui font appel à la pratique durable de l'agriculture avec une protection permanente du sol par une couverture végétale morte ou vive.

La mise au point de ces techniques a été étendue aux régions chaudes par le CIRAD-CA, depuis 1983 :
– région des *cerrados* brésiliens et Amazonie (L. SEGUY) ;
– leur adaptation est en cours, en zone de savane et forêts en Côte d'Ivoire (H. CHARPENTIER), au Gabon (S. BOULAKIA, G. DELAFOND) et au Vietnam ;
– ce sont des pratiques déjà dominées par la recherche et les agriculteurs à l'île de la Réunion en conditions pédoclimatiques similaires à celles des hauts plateaux malgaches (R. MICHELLON).

Principes et techniques de base du semis direct

Le premier principe de base à respecter est de travailler le sol le moins possible, de le couvrir pour le fixer et de le protéger totalement et toute l'année du ruissellement érosif, tout en améliorant le bilan hydrique des cultures.

Le deuxième principe est de faire travailler la nature en utilisant mieux ses ressources naturelles

(gratuites) par l'action de plantes de couvertures pérennes et améliorantes, en ce qui concerne les éléments suivants :
– le bilan minéral ; fixation d'azote atmosphérique, recyclage des bases par les racines et la biomasse des légumineuses, déblocage des éléments rétrogradés par les sesquioxydes (Fe, Al) tels que le phosphore ;
– l'amélioration physique du profil cultural, par l'augmentation de la macroporosité ;
– la création d'une forte activité biologique (macro et micro-faunes, microflore) du fait de l'entretien d'un micro-climat tamponné ;
– le bilan organique, en qualité et en quantité par les actions biologiques précédentes ;
– le micro-climat par amortissement des variations de la température du sol, moindre évaporation, amélioration du bilan hydrique.

A ces effets bénéfiques sur le milieu et sa fertilité, il faut ajouter les avantages sur le plan micro-économique : diminution des intrants, économie substantielle en main-d'œuvre, pénibilité moindre, nette amélioration du bilan fourrager de l'exploitation. Ainsi, le semis direct consiste à implanter une culture sans travail du sol.

Les semis peuvent se faire directement :
– soit dans les résidus de récolte du précédent cultural avec les repousses d'adventices qui sont détruits avant semis, c'est le système de culture sur couverture morte ;
– soit sur couvertures vives associées, qui sont des plantes régénératrices de fertilité (légumineuses) et de structure (graminées). Ces plantes assurent les actions suivantes :
– la couverture totale du sol ;
– la maîtrise des adventices ;
– la régénération de la fertilité ;
– le recyclage des éléments nutritifs.

Avant les semis, les adventices (cas de couverture morte) ou les couvertures vives peuvent être maîtrisées par voie mécanique (fauchage et paillage) ou par voie chimique (herbicides). Les semis peuvent se faire manuellement ou avec des matériels appropriés (canne planteuse, roue semeuse, semoir monorang).

Activités de l'organisation non gouvernementale TAFA

Ces activités portent sur les expérimentations en milieu contrôlé à la ferme d'Andranomanelatra et sur les actions de transfert, l'adaptation et l'intégration des innovations en milieu paysan.

Expérimentations en milieu contrôlé à la ferme d'Andranomanelatra

Les différents systèmes de culture pratiqués en semis direct sur des couvertures permanentes (mortes ou vives) des sols et comparés au système de culture traditionnel avec labour (soja, haricot, maïs, blé, riz pluvial).

Les plantes de couverture et leur comportement, leur adaptabilité, le recouvrement des sols, l'enracinement, le mode de multiplication, leur contrôle.

Les matériels agricoles, notamment le semoir (roue semeuse et canne planteuse), l'adaptation, la performance.

Les amendements et la fertilisation minérale et/ou organique : 3 niveaux de fumure sont testés : doses forte, moyenne et faible avec fumier de ferme, dolomie (calco-magnésien), phosphate, NPK, chlorure de potassium et urée.

Actions de transfert, adaptation et intégration des innovations en milieu paysan

L'objectif de la démarche est double :
– permettre l'ajustement des solutions techniques mises au point aux contraintes nouvelles spécifiques apparues dans les écologies diversifiées en milieu paysan ;
– assurer une diffusion plus rapide et plus profonde des solutions techniques ajustées grâce à la participation effective des paysans à leur mise au point.

Ainsi, il s'agit d'assurer le transfert et la validation en conditions réelles des techniques mises au point auprès de groupements villageois ou de paysans individuels dans différentes écologies de Madagascar. Des sites de référence — ou « sites vitrine » — sont créés avec, pour et chez les paysans, sur différentes zones écologiques. Le dispositif expérimental dans chaque site villageois est ciblé sur la gestion des sols et des cultures à l'échelle de la parcelle et de la toposéquence avec la mise en place et la gestion de diverses cultures sur les couvertures permanentes (vives ou mortes) et pratiquées avec la technique de semis direct (riz pluvial, maïs, soja, haricot, blé).

Résultats globaux

La situation de départ, tant pour la ferme expérimentale d'Andranomanelatra, que pour les unités de création-diffusion ou sites de référence implantés en milieu réel, est la même. Ce sont des sols ferrallitiques de *tanety* avec couverture d'*Aristida multicaulis* et *d'Aristida similis* (bozaka) et complètement dégradés. Le profil cultural des sols fait apparaître la présence quasi générale d'une couche compacte à partir de 20-25 cm de profondeur. La pluviométrie, entre 1 500- 1 700 mm, est répartie sur 6 mois (d'octobre à avril), parfois mal répartie, avec des excès pendant la période cyclonique de janvier-février (forte érosion), des déficits pluviométriques peuvent également apparaître pendant cette période (ce fut le cas en 1994-1995).

Les résultats d'analyse des sols montrent les caractéristiques chimiques moyennes suivantes : sol très acide (pH entre 4 et 5,5), faible taux de matière organique, mauvaise décomposition de la matière organique, sol pauvre en azote, faible capacité d'échange, carence en phosphore assimilable. Le niveau de rendement est faible pour toutes les cultures sur *tanety*, en conditions de culture traditionnelle. Les résultats qui sont présentés ci-dessous ont été obtenus à la ferme d'Andranomanelatra, après 4 années d'expérimentation.

Effets généraux de la couverture permanente et du travail minimum des sols

a) les effets sur le milieu :
– contrôle total de l'érosion par la présence de la couverture herbacée ou la couverture morte ;
– meilleure conservation de l'eau et de l'humidité (limitation de l'évapo-transpiration) ;
– restauration de la fertilité des sols par la fourniture des résidus de récolte sur le sol remplaçant en partie les apports de matière organique (fumier) et favorisant les activités microbiennes, par la fixation symbiotique de l'azote atmosphérique (cas des légumineuses). On espère, par la suite, que les besoins en fumure minérale pourront être sensiblement réduits ;
– restauration de la structure des sols par le travail biologique des racines et la macro-faune, notamment par les vers de terre ;
– réduction des mauvaises herbes ;
– amélioration de l'état sanitaire de certaines cultures (diminution très nette de la maladie du gros genou du haricot, *Ophyomia phaseoli* avec la couverture de *Pennisetum clandestinum*, kikuyu, ou la couverture de paille de céréale).

b) intérêt fourrager : presque toutes les plantes de couverture (légumineuses ou graminées) sont appréciées par le bétail, sauf *Crotalaria grahamiana :*

c) effets agro-économiques :
– les modes de gestion du sol et des cultures avec couverture permettent d'obtenir des rendements des cultures équivalents ou supérieurs à ceux obtenus dans les itinéraires en sol nu ;
– diminution des coûts de production par l'absence des travaux de préparation de sol et la diminution des sarclages ;
– diminution du temps de travail et de la pénibilité.

Systèmes de culture avec couverture permanente et semis direct

Il existe 3 modes de gestion des sols dans les expérimentations :
– la culture sur labour traditionnel pratiquée comme témoin ;
– les cultures sur couvertures vives (légumineuses ou graminées) ;
– la culture sur couverture morte (résidus de récolte, paillage ou mulch).

Cultures sur couvertures vives

Différentes plantes de couverture sont testées à la ferme d'Andranomanelatra, chacune présente des avantages et des inconvénients en ce qui concerne l'adaptation, le recouvrement du sol, l'interaction entre la flore adventice et les cultures, le système racinaire, la compétition plante de couverture/culture.

Voici un exemple : *Cassia rotundifolia* est une des plantes de couverture les plus rustiques. Elle s'adapte à toutes les conditions pédo-climatiques sans apport d'engrais minéral (sol acide ou alcalin, peu fertile, résistante à la sécheresse), mais le problème réside dans sa forte compétition avec les plantes cultivées, surtout au démarrage.

Itinéraires possibles

MAIS/*CASSIA ROTUNDIFOLIA*

Il existe 2 solutions pour la mise en place de cet itinéraire et pour éviter la compétition minimale de départ :
– soit en bandes alternées : bande de *C. rotundifolia* et bande de culture ;
– soit par application de traitement herbicide de pré-semis pour maîtriser totalement la couverture.

Desmodium uncinatum, exige un sol assez fertile ; comme *C. rotundifolia*, elle concurrence aussi au départ la culture implantée, mais on peut la maîtriser par les actions suivantes :
– traitement herbicide de pré-semis ;
– fauchage de lignes de semis et paillage (30-40 cm de large) ;
– bande alternée (comme *C. rotundifolia*).

Par ailleurs, *D. uncinatum* possède un enracinement assez profond (70-80 cm) et puissant, capable de pénétrer les horizons compactés en profondeur.

Itinéraires possibles

Les itinéraires suivants sont possibles :
– maïs sur *D. uncinatum ;*
– mil ou sorgho sur *D. uncinatum ;*
– haricot ou soja sur *D. uncinatum* (en cours d'expérimentation).

LA CROTALAIRE

C'est une espèce très rustique également adaptée à toutes les conditions. Elle a aussi un système racinaire puissant et profond, capable de faire un bon travail biologique de sol. C'est pourquoi, elle constitue un excellent précédent pour la culture de riz pluvial en semis direct (le riz étant très exigeant en macroporosité du sol).

Itinéraires possibles

La première année : crotalaire associée au maïs.
La deuxième année : riz sur résidu de crotalaire.

KIKUYU/HARICOT OU SOJA

Le kikuyu *(Pennisetum clandestinum)* constitue une des meilleures couvertures de graminées pour les légumineuses, entre autres le soja et le haricot. Il dispose d'un système racinaire très développé pouvant améliorer la structure du sol. En zone infestée d'insectes terricoles tels que *Heteronychus*, les dégâts sont réduits avec cette couverture. Les larves sont disséminées dans l'ensemble de l'horizon supérieur du terrain alors qu'en sol nu, elles se concentrent sur les racines des plantes cultivées.

Itinéraire possible

Soja ou haricot sur kikuyu.

Cultures sur couverture morte (résidus de récolte ou paillage mulch)

C'est l'itinéraire le plus simple qui est reproductible et qui peut être appropriable par les paysans. Le problème qui peut se poser est l'insuffisance des résidus de récolte mais le système de paillage complémentaire peut être une solution alternative. Ce mulch peut être de l'*Aristida* à la place des pailles de céréale qui sont réservées au bétail. Lorsque le sol est bien couvert, les adventices sont maîtrisées et l'utilisation d'herbicide n'est plus nécessaire. Des résultats significatifs ont été obtenus avec ces modes de culture et notamment avec l'itinéraire soja sur résidu dont les productions restent à peu près stables, même dans de mauvaises conditions climatiques. Depuis 4 années d'expérimentation, les rendements par itinéraires sont variables d'une année à l'autre suivant les conditions climatiques (la pluviométrie) et la maîtrise des plantes de couverture.

Perspectives

Les activités futures porteront essentiellement sur trois actions :

1. La poursuite des expérimentations réalisées à la ferme d'Andranomanelatra, différents itinéraires techniques, la pratique des amendements et de la fertilisation organo-minérale, les herbicides. Le but sera de réduire progressivement l'utilisation d'intrants chimiques, surtout les herbicides dont l'utilisation par les paysans se révèle encore difficile compte tenu de la conjoncture économique actuelle.

2. Le suivi et l'évaluation des sites de référence (vitrines de technologies) implantés avec les différents partenaires (FIFAMANOR, organisations non gouvernementales, autres organismes de développement).

3. L'intensification de la formation sur les dispositifs des partenaires.

Conclusion

L'ensemble des effets favorables induits par les nouvelles techniques et, en particulier, la protection totale de milieu vis-à-vis de l'érosion et des accidents climatiques devrait conduire — à moyen terme —, à une amélioration très nette des conditions de production, à une diversification et à une stabilisation des exploitations agricoles.

POISSON C., RAKOTOARISOA J., (edit.), 1997
Riziculture d'altitude
Actes du séminaire riziculture d'altitude
29 mars-5 avril 1996, Antananarivo, Madagascar.
Colloques, CIRAD-CA, Montpellier, France, 272 p.

Participants présentant des communications

Participants presenting papers

R. Andrianasolo
Ministère de la recherche appliquée
au développement
Antananarivo
Madagascar

J.B. Bahama
Institut des sciences
agronomiques du Burundi
BP 795
Bujumbura
Burundi

H. Batoko
Université catholique
de Louvain
Place de la croix du Sud
5 bte 13
B-1348 Louvain-la-Neuve,
Belgique

P. Bertin
Université catholique
de Louvain
Place de la croix du Sud
5 bte 13
B-1348 Louvain-la-Neuve
Belgique

G. Biringanine
Université de Bukavu
Bukavu
Zaïre

J. Bouharmont
Université catholique de Louvain
Place de la croix du Sud
5 bte 13
B-1348 Louvain-la-Neuve
Belgique

A. Chabanne
CIRAD-CA
BP 855
Antananarivo
Madagascar

M. Chatel
CIAT
AE 6713
Cali
Colombie

K.D. Joshi
Lumle Regional
Agricultural Research Center
PO Box 1
Pokhara
Népal

J.-R. Lamiable
FIFATA
Antsirabe
Madagascar

A. Ndayiragije
Faculté de sciences agronomiques
Université de Bujumbura
Bujumbura
Burundi

A. Nizigiyimana
Faculté de sciences agronomiques
Université de Bujumbura
Bujumbura
Burundi

J.-L. Notteghem
CIRAD-CA
BP 855
Antananarivo
Madagascar

C. Poisson
CIRAD-CA
BP 855
Antananarivo
Madagascar

Y. Rabelantoandro
Centre national
de la recherche appliquée au
développement rural de Madagascar
FOFIFA
BP 1690
Antananarivo
Madagascar

A.K. Rai
Environment,
Culture, Agriculture Research
and Development Society
GPO Box 8115
Kathmandou
Népal

M. Rakoto
FIFAMANOR
Antsirabe
Madagascar

X. Rakotojanahary
Centre national de la recherche
appliquée au développement
rural de Madagascar
FOFIFA
BP 1690
Antananarivo
Madagascar

P. Rakotondralambo
TAFA
Antsirabe
Madagascar

J. Rakotoarisoa
Centre national de la recherche appliquée au développement rural
de Madagascar
FOFIFA
BP 1690
Antananarivo
Madagascar

P. Rasolofo
Centre national de la recherche appliquée au développement rural
de Madagascar
FOFIFA
BP 1690
Antananarivo
Madagascar

J. Ravatomanga
Centre national de la recherche appliquée au développement rural
de Madagascar
FOFIFA
BP 1690
Antananarivo
Madagascar

J. Razafindrakoto
Centre national de la recherche appliquée au développement rural
de Madagascar
FOFIFA
BP 1690
Antananarivo
Madagascar

M. Razakamiaramanana
Centre national de la recherche appliquée au développement rural
de Madagascar
FOFIFA
BP 1690
Antananarivo
Madagascar

S. Sharma
Lumle Regional Agricultural Research Center
PO Box 1
Gandaki Anchal
Pokhara
Népal

D.D. Shakya
Research Center for Applied Technology
Tribhuwan University
PO Box 1030
Kathmandou
Népal

B.R. Sthapit
Lumle Regional Agricultural Research Center
PO Box 1
Kashi
Pokhara
Népal

Tao Dayun
Foods Crops Research Institute
Yunnan Academy of Agricultural Sciences
650205 Kunming
Yunnan
Chine

M. Valès
CIRAD-CA
BP 855
Antananarivo
Madagascar

La collection Colloques

La collection Colloques publie les actes de séminaires organisés ou coorganisés par le CIRAD

Déjà parus

Analyse de la diversité des situations agricoles. Conséquences sur la programmation de la recherche
22-28 octobre 1993, Garoua, Cameroun

Coconut *Phytophthora*
October 26-30, 1992, Manado, Indonesia

La recherche européenne au service du cocotier/*European Research Working for Coconut*
8-10 septembre 1993/*September 8-10, 1993,* Montpellier, France

Traitements statistiques des essais de sélection. Stratégies d'amélioration des plantes pérennes
12-14 septembre 1994, Montpellier, France

Production et valorisation du maïs à l'échelon villageois en Afrique de l'Ouest
25-28 janvier 1994, Cotonou, Bénin

Sustainable land management in African semi-arid and subhumid regions
November 15-19, 1993, Dakar, Senegal

Rencontres cacao. Les différents aspects de la qualité/*Cocoa Meetings. The various aspects of quality*
30 juin 1995/*June 30, 1995,* Montpellier, France

Fertilité du milieu et stratégies paysannes sous les tropiques humides
13-17 novembre 1995, Montpellier, France

Interactions insectes-plantes
26-27 octobre 1995, Montpellier, France

Couplage de modèle en agriculture
14-15 juin 1995, Montpellier, France

Environnement et littoral mauritanien
12-13 juin 1995, Nouakchott, Mauritanie

A paraître

Dromadaires et chameaux animaux laitiers
24-26 octobre 1994, Nouakchott, Mauritanie

Le CIRAD, Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement, est un organisme scientifique spécialisé en agriculture des régions tropicales et subtropicales. Sous la forme d'un établissement public, il est né en 1984 de la fusion d'instituts de recherche en sciences agronomiques, vétérinaires, forestières et agroalimentaires des régions chaudes.

Sa mission : contribuer au développement de ces régions par des recherches, des réalisations expérimentales, la formation, l'information scientifique et technique.

Il emploie 1 800 personnes, dont 900 cadres, qui interviennent dans une cinquantaine de pays. Son budget s'élève à 1 milliard de francs, dont plus de la moitié provient de fonds publics.

Le CIRAD comprend sept départements de recherche : cultures annuelles (CIRAD-CA) ; cultures pérennes (CIRAD-CP) ; productions fruitières et horticoles (CIRAD-FLHOR) ; élevage et médecine vétérinaire (CIRAD-EMVT) ; forêts (CIRAD-Forêt) ; systèmes agroalimentaires et ruraux (CIRAD-SAR) ; gestion, recherche, documentation et appui technique (CIRAD-GERDAT). Le CIRAD travaille dans ses propres centres de recherche, au sein de structures nationales de recherche agronomique des pays partenaires, ou en appui à des opérations de développement.

The Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement (CIRAD) is a French scientific organization specializing in development-oriented agricultural research for the tropics and subtropics. It is a state-owned body and it was established in 1984 following the consolidation of French agricultural, veterinary, forestry, and food technology research organizations for the tropics and subtropics.

CIRAD's mission is to contribute to the economic development of these regions through research, experiments, training, and dissemination of scientific and technical information.

The Centre employs 1800 persons, including 900 senior staff, who work in more than 50 countries. Its budget amounts to approximately 1 billion French francs, more than half of which is derived from public funds.

CIRAD is made up of seven departments: CIRAD-CA (annual crops), CIRAD-CP (tree crops), CIRAD-FLHOR (fruit and horticultural crops), CIRAD-EMVT (livestock production and veterinary medicine), CIRAD-Forêt (forestry), CIRAD-SAR (food technology and rural systems), and CIRAD-GERDAT (management, common services and laboratories, and documentation). CIRAD operates through its own research centres, national agricultural research systems, or development projects.

© 1997 CIRAD
Impression/*Printed* CIRAD
Dépôt légal : septembre 1997

Séminaire riziculture d'altitude

Au cours des dernières années, la culture du riz s'est étendue rapidement dans de nouvelles régions. Elle a ainsi été confrontée à des conditions écologiques inhabituelles. En Afrique, elle s'est implantée depuis 1980 dans les marais du Burundi à des altitudes relativement élevées, et à Madagascar sur les hauts plateaux, sur des terrains non irrigués. Les cultures sont, de ce fait, soumises à des contraintes nouvelles, auxquelles les variétés d'origine ne sont pas adaptées. Les principales contraintes sont les basses températures qui induisent une stérilité importante, et plusieurs maladies qui provoquent des pertes considérables de récolte. Les maladies ont été étudiées sur le terrain et en laboratoire. Sur la base des connaissances ainsi acquises, diverses solutions ont été proposées et expérimentées afin d'améliorer l'adaptation des variétés aux conditions locales. Cette amélioration est difficile parce que l'environnement diffère suivant les localités et les années et parce que les parasites s'adaptent rapidement. Dans le cadre de projets successifs financés par la Commission européenne (STD1, STD2, STD3), une recherche conjointe a été développée depuis 1984, en Belgique, en France, au Burundi et à Madagascar. Le Togo, le Népal et la Chine (Yunnan) ont également participé récemment. Ces projets avaient été précédés par des programmes de recherche lancés individuellement par chacun des partenaires principaux. Les recherches ont porté d'abord sur l'amélioration génétique des variétés ainsi que sur les conditions favorisant l'apparition des maladies, sur les symptômes et sur l'évaluation des dégâts. Elles ont aussi porté sur les méthodes culturales et la gestion des ressources en eau afin de permettre une stabilisation de la production avec une fumure minimale sans utiliser de pesticides. Ces méthodes ont, en outre, été mises au point pour maintenir la fertilité des sols et éviter leur érosion. Le projet STD3 se terminant en septembre 1996, l'organisation d'un séminaire a paru utile pour rassembler les résultats acquis au cours des dernières années, pour les synthétiser, assurer leur diffusion et leur application dans les régions soumises aux contraintes de l'altitude et pour réfléchir aux perspectives d'avenir.

Conference rice for highlands

In recent years, rice cultivation has spread rapidly to new regions. As a result, rice is now grown in areas where the environmental conditions are unlike those of traditional rice-growing areas. Since the 1980s, rice has been cultivated in Africa on marshland in Burundi, at comparatively high altitudes, and in Madagascar on high plateaux, on unirrigated land. Traditional varieties are not adapted to these new environmental constraints. The main constraints are low temperatures, which induce sterility, and diseases, which reduce yield. The diseases have been studied in the field and in the laboratory. Based on results obtained from these studies, a number of solutions have been proposed and tested to improve the performance of varieties in different conditions. However, improving performance is complicated by the variation in environmental conditions from place to place and from year to year, and by the speed with which parasites adapt. Joint research work has been carried out since 1984 in Belgium, France, Burundi, and Madagascar as part of a series of European Commission-funded projects (STD1, STD2, STD3). More recently, Togo, Nepal, and China (Yunnan) have also taken part in the research. These projects were preceeded by research programmes conducted separately by each of the main partners. Initially, the research focused on genetic improvement, the environmental conditions conducive to the spread of diseases, disease symptoms, and assessment of damage to crops. Research was also carried out on cropping practices and water resource management in order to stabilize yields using only small quantities of manure and without using pesticides. Methods have also been developed to maintain soil fertility and avoid erosion. The STD3 project ended in September 1996 and it was decided to organize a seminar to present the main findings of the research carried out over the past few years, to ensure that this information is distributed and applied in regions where rice production is subject to altitude constraints, and to discuss future developments.

CIRAD
Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement
BP 5035, 34032 Montpellier Cedex 1, France

FOFIFA
Centre national de la recherche appliquée au développement rural de Madagascar
BP 1690, Antananarivo, Madagascar

UCL
Université catholique de Louvain
Place de la Croix du Sud, 5 bte 13, B-1348 Louvain la Neuve, Belgique

Commission européenne
Direction générale XII
75, rue Montoyer, B-1040 Bruxelles, Belgique

Diffusion / *Distributor:* CIRAD-CA
BP 5035, 34032 Montpellier Cedex 1, France

ISBN 2-87-614-284-8
ISSN 1264-112X