

**GESTION DE LA DIVERSITÉ  
DANS LES SYSTÈMES AGRICOLES**



**GESTION  
DE LA DIVERSITÉ  
DANS LES SYSTÈMES  
AGRICOLES**

**EDITÉ PAR  
D. I. JARVIS, C. PADOCH, y H. D. COOPER**

**EDITÉ  
PAR  
JARVIS,  
PADOCH,  
/ COOPER**

Gestion de la biodiversité dans les écosystèmes agricoles





# Gestion de la biodiversité dans les écosystèmes agricoles

---

Edité par D.I. JARVIS, C. PADOCH, et H.D. COOPER

Publié par Bioversity International



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Swiss Agency for Development  
and Cooperation SDC



UNITED NATIONS  
UNIVERSITY



Publié par Bioversity International  
Copyright © 2012 Bioversity International  
Tous droits réservés

Le 1<sup>er</sup> Décembre, 2006 IPGRI et l'INIBAP opèrent sous le nom de «Bioversity International »

Les appellations employées et la présentation du matériel dans cette publication n'impliquent pas l'expression d'une opinion quelconque de la part de l'Institut International des Ressources Phytogénétiques, le Secrétariat de la Convention sur la Diversité Biologique, l'Université des Nations Unies, le Centre Canadien de Recherches pour le Développement International et l'Agence Suisse pour le Développement et la Coopération concernant le statut juridique des pays, des territoires, des villes ou des zones, ou de ses autorités, ou concernant la délimitation de leurs frontières ou limites.

Les appellations 'économies développées' et 'économies en développement' sont destinées à des fins statistiques et non pas pour exprimer un jugement concernant le stade de développement atteint par un pays, un territoire ou une zone quelconque.

Les opinions 'exprimées' dans cet ouvrage sont celles des auteurs et ne représentent pas nécessairement ceux de l'Institut International des Ressources Phytogénétiques, du Secrétariat de la Convention sur la Diversité Biologique, de l'Université des Nations Unies, le Centre Canadien de Recherches pour le Développement International et l'Agence Suisse pour le Développement et la Coopération

Originellement publié en anglais "Managing biodiversity in Agricultural ecosystems" by Columbia University Press Copyright © 2007 Bioversity International

2012 D. I. Jarvis, C. Padoch y H. D. Cooper (Eds) "Gestion de la biodiversité dans les écosystèmes agricoles"

p. cm.

ISBN 978-92-9043-820-5

Bibliothèque du Congrès avant publication de données

I. L'agrobiodiversité. 2. écologie agricole. I. Jarvis, Devra I. (Devra Ivy), 1959 - II. Padoch, Christine. III. Cooper, D. H. (H. David)

Imprimé à Rome

Ce livre est dédié à nos enfants —

Raffaella, Sofia, Charlie et Duncan —

qui relie notre monde actuel à celui de l'avenir.



# Sommaire

---

- Remerciements xi  
Contributeurs xiii
- 1 Biodiversité, agriculture, et services des écosystèmes  
D. I. JARVIS, C. PADOCH ET H. D. COOPER I
- 2 Mesurer, gérer et maintenir la diversité génétique des cultures  
dans les fermes  
A. H. D. BROWN ET T. HODGKIN 14
- 3 Les noms des variétés: un point d'entrée à la diversité génétique  
des cultures et à la distribution dans les écosystèmes agricoles  
M. SADIKI, D. I. JARVIS, D. RIJAL, J. BAJRACHARYA,  
N. N. HUE, T. C. CAMACHO-VILLA, L. A. BURGOS-MAY,  
M. SAWADOGO, D. BALMA, D. LOPE, L. ARIAS, I. MAR,  
D. KARAMURA, D. WILLIAMS, J. L. CHÁVEZ-SERVIA,  
B. STHAPIT ET V. R. RAO 37
- 4 Les systèmes de semences et la diversité génétique des cultures  
dans les écosystèmes agricoles  
T. HODGKIN, R. RANA, J. TUXILL, D. BALMA, A. SUBEDI,  
I. MAR, D. KARAMURA, R. VALDIVIA, L. COLLADO,  
L. LATOURNERIE, M. SADIKI, M. SAWADOGO,  
A. H. D. BROWN ET D. I. JARVIS 82



- 5 Les mesures de la diversité en tant qu'apports à la prise de décisions liées à la conservation des ressources génétiques du bétail  
J. P. GIBSON, W. AYALEW ET O. HANOTTE 124
- 6 La gestion des ressources zoogénétiques: variation et interaction  
I. HOFFMANN 148
- 7 La biodiversité aquatique dans les écosystèmes basés sur le riz  
M. HALWART ET D. BARTLEY 191
- 8 Les services des pollinisateurs  
P. G. KEVAN ET V. A. WOJCIK 210
- 9 Gestion de la biodiversité des sols dans les écosystèmes agricoles  
G. G. BROWN, M. J. SWIFT, D. E. BENNACK, S. BUNNING,  
A. MONTÁÑEZ ET L. BRUSSAARD 236
- 10 La diversité et la lutte antiparasitaire dans les agroécosystèmes  
A. WILBY ET M. B. THOMA 285
- 11 La gestion des maladies des cultures dans les agroécosystèmes traditionnels: Avantages et risques de la diversité génétique  
D. I. JARVIS, A. H. D. BROWN, V. IMBRUCE, J. OCHOA,  
M. SADIKI, E. KARAMURA, P. TRUTMANN ET  
M. R. FINCKH 309
- 12 La diversification des cultures pour la lutte contre les maladies  
Y. Y. ZHU, Y. Y. WANG ET J. H. ZHOU 339
- 13 Gestion de la biodiversité des paysages agricoles dans un contexte spatiotemporel complexe  
H. BROOKFIELD ET C. PADOCH 359
- 14 La diversité et l'innovation dans les petites exploitations face aux changements d'ordre environnemental et économique  
K. RERKASEM ET M. PINEDO-VÁSQUEZ 384

- 15 Biodiversité agricole, régime alimentaire et santé humaine  
T. JOHN 406
- 16 Comparaison des choix des agriculteurs et des sélectionneurs:La  
valeur des variétés indigènes de riz au Népal  
D. GAUCHAN ET M. SMALE 433
- 17 L'économie de la conservation et l'utilisation durable des  
ressources génétiques de l'élevage  
A. G. DRUCKER 454
- 18 Les rôles écologiques et économiques de la biodiversité dans les  
agro-écosystèmes  
M. CERONI, S. LIU ET R. COSTANZA 476



## Remerciements

---

Les éditeurs tiennent à remercier les gouvernements du Canada (Centre de Recherches pour le Développement International, (CRDI), de la Suisse (Agence Suisse pour le Développement et la Coopération) pour le soutien financier généreux qu'ils ont attribué à ce livre.

La majorité des travaux présentés dans ce volume ont été accomplis grâce à l'assistance et la bienveillance du Gouvernement Suisse (Agence Suisse pour le Développement et la Coopération, DDC), ainsi que les gouvernements des Pays Bas (Direction Générale de la Coopération Internationale DGIS), de l'Allemagne (BMZ / GTZ, Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit /Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit) du Japon (JICA), du Canada (CRDI), de l'Espagne, du Pérou, du Fonds pour l'Environnement Mondial (FEM) du Programme des Nations Unies pour l'Environnement (PNUE) et de l'Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture (FAO).

Nous tenons à remercier plusieurs de nos collègues pour leur contribution à des stades différents de l'édition de ce livre. Nous remercions en particulier Steve Clement, Charles Spillane, Jean-Louis Pham, Linda Collette, Julia Ndung'u-Skilton, Beate Scherf et Paola De Santis. Plusieurs conseillers anonymes ont fournis des critiques concernant le contenu des chapitres, que nous avons bien accueillies. Nous tenons spécialement à remercier Linda Sears pour l'édition rapide et précise qu'elle a attribué aux différents chapitres de ce volume.

Finalement, on adresse les remerciements les plus sincères et les plus profonds à de nombreux participants dont les noms et les affiliations n'apparaissent pas sur ce livre. Plusieurs agriculteurs, agents de développement, formateurs, chercheurs et représentants du gouvernement ont contribué dans la réalisation de nombreuses études concernant cet ouvrage. C'est grâce à leur contribution que ce travail a été réalisé.



## Contributeurs

---

F. Ahkter	The Centre for Policy Research for Development Alternatives, Bangladesh
L. Arias	Centro de Investigaciones y Estudios Avanzados del Incipiente Proyección Nacional, Mérida, Yucatán, Mexico
W. Ayalew	International Livestock Research Institute, Nairobi, Kenya
J. Bajracharya	Agriculture Botany Division, Nepal Agriculture Research Council, Khumaltar, Lalitpur, Nepal
D. Balma	Direction de la Recherche Scientifi que, Ouagadougou, Burkina Faso
D. Bartley	FAO Inland Water Resources and Aquaculture Service, Rome, Italy
D. E. Bennack	Instituto de Ecología, Xalapa, Veracruz, Mexico
H. Brookfield	Australian National University, act 0200, Australia
A. H. D. Brown	Centre for Plant Biodiversity Research, CSIRO Plant Industry, Canberra, Australia
G. G. Brown	Soil Invertebrate Laboratory, Embrapa Soybean, Londrina, PR, Brazil

- L. Brussaard Wageningen University, Soil Quality Section, Wageningen, The Netherlands
- S. Bunning Land and Plant Nutrient Management Service (AGLL), Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy
- L. A. Burgos-May Centro de Investigaciones y Estudios Avanzados del Incipiente Proyección Nacional, Mérida, Yucatán, Mexico
- T. C. Camacho-Villa Centro de Investigaciones y Estudios Avanzados del Incipiente Proyección Nacional, Mérida, Yucatán, Mexico, and Wageningen University and Research Center, Participatory Approaches Studies, Wageningen, The Netherlands
- M. Ceroni Department of Botany and Gund Institute for Ecological Economics, University of Vermont, USA
- J. L. Chávez-Servia Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional–Instituto Politécnico Nacional, Oaxaca, Mexico
- L. Collado Consorcio para el Desarrollo Sostenible de Ucayali, Pucallpa, Perú
- H. D. Cooper Secretariat, Convention on Biological Diversity, Montreal, Quebec, Canada
- R. Costanza School of Environment and Natural Resources and Gund Institute for Ecological Economics, University of Vermont, USA
- M. Dijmadoum Fédération Nationale des Groupements Naam, Ouahigouya, Burkina Faso
- A. G. Drucker School of Environmental Research, Charles Darwin University, Australia
- M. R. Finckh Department of Ecological Plant Protection, University of Kassel, Wutzenhausen, Ecological Agricultural Science, Germany

- B. M. Freitas                      Departamento de Zootecnia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, Brazil
- D. Gauchan                        Nepal Agricultural Research Council, Kathmandu, Nepal
- B. Gemmill                         African Pollination Initiative, Nairobi, Kenya
- J. P. Gibson                        Institute for Genetics and Bioinformatics Homestead, University of New England, Armidale NWS 2351, Australia
- M. Halwart                         Inland Water Resources and Aquaculture Service, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy
- O. Hanotte                         International Livestock Research Institute, Nairobi, Kenya
- T. Hodgkin                         International Plant Genetic Resources Institute, Maccarese, Rome, Italy
- I. Hoffmann                        Animal Production Service, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy
- N. N. Hue                         Vietnamese Agricultural Science Institute, Hanoi, Vietnam
- V. Imbruce                         New York Botanical Garden, Bronx, NY, USA
- D. I. Jarvis                         International Plant Genetic Resources Institute, Maccarese, Rome, Italy
- T. Johns                         Centre for Indigenous Peoples' Nutrition and Environment and School of Dietetics and Human Nutrition, McGill University, Ste. Anne de Bellevue, Quebec, Canada
- D. Karamura                        International Network for the Improvement of Banana and Plantain, Kampala, Uganda



E. Karamura	International Network for the Improvement of Banana and Plantain, Kampala, Uganda
P. G. Kevan	Department of Environmental Biology, University of Guelph, Guelph, Ontario, Canada
L. Latournerie	Instituto Tecnológico Agropecuario de Condal (SIGA- ITA2), Mérida- Motul, Condal, Yucatán, Mexico
D. Lope	Fundación Kan Uak, A.C. Mérida, Yucatán, Mexico, and Wageningen University and Research Center, Bio-Cultural Diversity Studies, Wageningen, The Netherlands
S. Liu	Rubenstein School of Environment and Natural Resources and Gund Institute for Ecological Economics, University of Vermont, USA
I. Mar	Institute for Agrobotany, Tapioszele, Hungary
A. Montañez	Adriana Montañez, Universidad de Montevideo, Uruguay
A. Ochieng	University of Nairobi, Department of Botany, Nairobi, Kenya
J. Ochoa	Estación Experimental, Santa Catalina, Quito, Ecuador
C. Padoch	The New York Botanical Garden, Bronx, New York
U. Partap	International Centre for Integrated Mountain Development, Kathmandu, Nepal
M. Pinedo-Vásquez	Center for Environmental Research and Conservation, Columbia University, New York, NY, USA
R. Rana	Local Initiatives for Biodiversity, Research and Development, Pokhara, Nepal
V. R. Rao	International Plant Genetic Resources Institute, Regional Office for Asia, Pacific, and Oceania, Serdang, Malaysia

K. Rerkasem	Faculty of Agriculture, Chiang Mai University, Chiang Mai, Thailand
D. Rijal	Local Initiatives for Biodiversity, Research and Development, Pokhara, Nepal, and Noragric, Norwegian University of Life Sciences, Aas, Norway
M. Sadiki	Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, Département d'Agronomie et d'Amélioration des Plantes, Rabat, Morocco
M. Sawadogo	University of Ouagadougou, Unité de Formation et de Recherche en Science de la Vie et de la Terre, Ouagadougou, Burkina Faso
M. Smale	International Plant Genetic Resources Institute, Rome, Italy, and International Food Policy Research Institute, Washington DC, USA
B. Sthapit	International Plant Genetic Resources Institute, Regional Office for Asia, Pacific, and Oceania, Pokhara, Nepal
A. Subedi	Intermediate Technology Group for Development, Kathmandu, Nepal
M. J. Swift	Institut de Recherche et Développement, Centre de Montpellier, Montpellier, France
M. B. Thomas	Centre for Plant Biodiversity Research, CSIRO Entomology, Canberra, Australia
P. Trutmann	International Integrated Pest Management, International Programs, Cornell University, Ithaca, NY, USA
J. Tuxill	Joint Program in Economic Botany, Yale School of Forestry and Environmental Studies and the New York Botanical Garden, New Haven, CT, USA
R. Valdivia	Centro de Investigación de Recursos Naturales y Medio Ambiente, Puno, Perú
Y. Y. Wang	Yunnan Agricultural University, Kunming, Yunnan, P.R. China

- A. Wilby Department of Agricultural Sciences and  
Centre for Population Biology, Imperial College,  
Wye, Kent, UK
- D. Williams USDA, Foreign Agricultural Service, International  
Cooperation and Development, Research and  
Scientific Exchanges Division, Washington, DC,  
USA
- V. A. Wojcik Environmental Science Policy and Management,  
University of California, Berkeley, CA, USA
- J. H. Zhou Yunnan Agricultural University, Kunming, Yun-  
nan, P.R. China
- Y. Y. Zhu Yunnan Agricultural University, Kunming, Yun-  
nan, P.R. China

Gestion de la biodiversité dans les écosystèmes agricoles



# 1 Biodiversité, agriculture, et services des écosystèmes

---

D. I. JARVIS, C. PADOCH, et H. D. COOPER

La biodiversité dans les écosystèmes agricoles nous fournit la nourriture ainsi que les moyens de la produire. Les différentes variétés de plantes et d'animaux qui nous servent de nourriture sont des éléments indéniables de la biodiversité agricole. Moins visibles, mais tout aussi importants, sont les myriades d'organismes du sol, les pollinisateurs, et les ennemis naturels tels que les épidémies et les maladies, essentiellement utiles à la régulation qui renforce la production agricole. Chaque jour, les agriculteurs gèrent ceux-ci ainsi que d'autres aspects de la diversité biologique dans les écosystèmes agricoles afin de produire des denrées alimentaires et d'autres produits pour maintenir leurs moyens de subsistance. La biodiversité dans les écosystèmes agricoles contribue également à générer d'autres services des écosystèmes tels que la protection des bassins versants et la séquestration du carbone. En plus d'avoir cette signification fonctionnelle, le maintien de la biodiversité dans les écosystèmes agricoles peut être considéré comme important en soi. En effet, le développement de l'agriculture est désormais si important que toute stratégie de conservation de la biodiversité doit aborder la question de la biodiversité dans ces larges systèmes anthropiques. En outre, la biodiversité dans les paysages agricoles a une signification culturelle puissante, notamment en raison de son interaction avec des paysages historiques liés à l'agriculture, et en partie parce que beaucoup de gens entrent en contact avec la biodiversité sauvage dans les terres agricoles et autour d'elles.

Ce livre examine ces différents aspects de la biodiversité agricole. Un certain nombre de chapitres examinent les ressources génétiques des cultures (chapitres 1, 2, 3, 10, 11 et 16) et les ressources génétiques ani-

males (chapitres 4, 5 et 17). Les autres chapitres portent sur la biodiversité aquatique (chapitre 6), la diversité des pollinisateurs (Chapitre 7), et la biodiversité des sols (chapitre 8). Trois chapitres (9, 10, et 11) traitent les différents aspects de la relation entre la diversité et la gestion des épidémies et des maladies. Les chapitres 12 et 13 concernent les agriculteurs et leur gestion de la diversité dans un contexte plus large en matière de complexité spatiale et de changements environnementaux et économiques. Le chapitre 14 se penche sur la contribution de la diversité au régime alimentaire, à la nutrition et à la santé humaine. Les chapitres 15 à 17 analysent la valeur des ressources génétiques et des services écologiques apportée par la biodiversité dans les écosystèmes agricoles.

Ce chapitre introductif prépare le terrain pour les chapitres suivants. Après avoir examiné les efforts déployés récemment pour aborder la biodiversité agricole dans la communauté académique et les forums internationaux des politiques à adopter, de multiples dimensions de la biodiversité dans les écosystèmes agricoles sont étudiées. Les sections suivantes examinent la valeur des écosystèmes des services fournis par la biodiversité, les fonctions de cette dernière, et la manière dont ils sont influencés par sa gestion. Le chapitre se termine par une brève vision de l'avenir de la biodiversité dans les écosystèmes agricoles.

## Initiatives récentes et actuelles pour aborder la biodiversité agricole.

L'importance des ressources génétiques végétales, animales et aquatiques pour l'agriculture a été reconnue depuis longtemps. Mais ce n'est que lors de la dernière décennie que la communauté mondiale a reconnu l'importance de tous les éléments de la biodiversité agricole dans le fonctionnement des écosystèmes agricoles. En ce qui concerne les politiques internationales, la biodiversité agricole a été abordée pour la première fois de manière globale lors de la Conférence des Parties à la Convention sur la diversité biologique (CDB) en 1996. Le programme de travail de la CDB sur la biodiversité agricole, qui par la suite a été développé et adopté en 2000, reconnaît les multiples dimensions de la biodiversité agricole et l'éventail des produits et services fournis. En adoptant le programme de travail, la CDB a reconnu la contribution des agriculteurs et les communautés autochtones et indigènes à la conservation et à l'utilisation durable de la biodiversité agricole, ainsi que son importance par rapport à leurs moyens de subsistance. Dans le cadre de la Convention sur le programme du travail se rapportant à la biodiversité agricole, des initiatives spécifiques

sur les pollinisateurs, la biodiversité des sols, de l'alimentation et de la nutrition ont été lancées.

Cette attention portée à la biodiversité agricole est une réaction à large consensus due au fait que les taux globaux de la perte de la biodiversité agricole sont croissants. Les estimations selon la WWL-DAD (*World Watch List of Domestic Animal Diversity*) ont permis de noter que 35% des mammifères et 63% des races aviaires sont menacées d'extinction et qu'une race disparaît chaque semaine. *Les ressources phytogénétiques pour l'agriculture et l'alimentation (RPGAA)* décrit la perte de la diversité des ressources phytogénétiques vis-à-vis de l'alimentation et de l'agriculture comme étant "substantielle", notamment la disparition des espèces, des variétés végétales, et des complexes de gènes (FAO 1998). Tous les continents, sauf l'Antarctique, ont signalé une baisse des pollinisateurs dans au moins une région ou un pays. Le nombre de colonies d'abeilles à miel a chuté en Europe et en Amérique du Nord ainsi que celui des abeilles géantes de l'Himalaya (*Apis Laboriosa*) qui a aussi connu une baisse importante (Ingram et al. 1996). D'autres taxons des pollinisateurs sont également au centre des préoccupations de surveillance, vu les preuves solides de la diminution des pollinisateurs mammifères et aviaires. Globalement, au moins 45 espèces de chauves-souris, 36 espèces de mammifères non volants, 26 espèces de colibris, 7 espèces de souimangas, et 70 espèces de passereaux sont considérées comme étant menacées ou disparues (Kearns et al. 1998).

Le consensus sur les taux amplifiés de la perte de la biodiversité dans les systèmes agricoles et la nécessité d'avoir une meilleure quantification de ces taux de variation, a incité plus d'actions internationales, nationales et locales sur la gestion touchant la biodiversité agricole au cours des dernières années. L'Institut international des ressources phytogénétiques (*The International Plant Genetic Resources Institute-IPGRI*), le projet mondial de conservation dans la ferme (*Global On - Farm Conservation Project*) (Jarvis et Hodgkin 2000; Jarvis et al. 2000), le projet: « Les hommes, la gestion des terres et les changements environnementaux » (*People, Land Management and Environmental Change - PLEC*) (ELD Brookfi 2001; ELD Brookfi et al. 2002), le Programme du développement communautaire de la biodiversité et de conservation (*Community Biodiversity Development and Conservation-CBDC*), le Centre international de l'agriculture tropicale (*Centro Internacional de Agricultura Tropical-CIAT*), l'Institut de la fertilité et de la biologie des sols tropicaux (*Tropical Soil Biology and Fertility Institute-TSBF*) et le projet du Fonds mondial pour l'environnement de la biodiversité souterraine (*Global Environmental Facility Below*



*Ground Biodiversity*-(BGDB), le Projet mondial des pollinisateurs (*Global Pollinator Project*) soutenu par la FAO, le Programme opérationnel sur la biodiversité agricole (*Operational Programme on Agricultural Biodiversity*) et les projets soutenus dans le cadre du Fonds pour l'environnement mondial (FEM) (*Global Environment Facility-GEF*) sont les exemples les plus marquants. De nombreuses études de cas réalisées dans le cadre de ces initiatives, entre autres, ont été examinées lors du colloque international «Gestion de la biodiversité dans les écosystèmes agricoles », qui s'est tenu en 2001 à Montréal en marge de la réunion de l'Organe subsidiaire scientifique de la CDB.

Ce livre s'appuie sur des études de cas présentées au colloque de Montréal. Considérant que les approches conventionnelles de la biodiversité agricole mettent l'accent sur ses composantes en tant qu'éléments statiques, la plupart des chapitres de ce livre soulignent au contraire les aspects dynamiques de la biodiversité agricole et les interactions entre ses composantes. Les chercheurs ayant de l'expérience et intéressés aux sciences sociales et environnementales ont également introduit de nouvelles perspectives et approches sur le terrain. Ils cherchent à comprendre les processus et les liens, le dynamisme et les pratiques essentiels à la biodiversité à la manière avec laquelle la biodiversité, a longtemps été, et continue à être gérée dans les systèmes agricoles, les communautés agricoles et les sociétés en général.

## Les multiples dimensions de la biodiversité agricole

La biodiversité agricole englobe toutes les composantes de la diversité biologique pertinentes à la production dans les systèmes agricoles: la variété et la variabilité des plantes, des animaux et des micro-organismes sur les espèces génétiques et les niveaux de l'écosystème qui sont nécessaires au maintien des fonctions clés, des structures et des processus dans l'agro-écosystème. Ainsi, il inclut les cultures, les arbres et d'autres plantes associées, les poissons, les bétails et les espèces en interaction avec des pollinisateurs, symbiotes, épidémies, parasites, et prédateurs.

Les systèmes de culture impliquent une *biodiversité planifiée*, qui est, la diversité des plantes exploitées en tant que cultures et les animaux élevés en tant que bétail. En plus des espèces sauvages apparentées, cette diversité comprend les ressources génétiques de l'alimentation agricole. Toutefois, *la biodiversité agricole* est un terme plus général englobant également la diversité biologique associée qui prend en charge la production agricole à travers le cycle des nutriments, la lutte antiépidémique, et la pollinisation

(Wood et Lenne 1999) et à travers de multiples produits. La biodiversité, qui fournit de plus grands services écosystémiques tels que la protection des bassins versants, peut également être considérée comme une partie de la biodiversité agricole (Aarnink et al. 1999; CDB 2000; Cromwell et al. 2001).

Cet ouvrage a adopté une approche large et inclusive, tentant de viser de nouveaux enjeux en matière de recherche sur la biodiversité dans les écosystèmes agricoles. Les chapitres 2 à 7 portent principalement sur la diversité des cultures, du bétail et des espèces aquatiques qui constituent une grande partie de la biodiversité planifiée dans les systèmes agricoles. En plus des espèces domestiquées et du bétail, la gestion et la biodiversité sauvage propose un éventail de faune (insectes sauvages et autres arthropodes, espèces aquatiques y compris mollusques, crustacés et poissons à nageoires rayonnées) et de flore (y compris les légumes-feuilles, les fruits et les noix, les champignons) (Pimbert 1999; Koziell et Saunders 2001; voir aussi Halwart et Bartley, chapitre 7). Ces sources de nourriture restent particulièrement importantes pour les pauvres et paysans sans terre (Ahkter dans l'encadré 13.2, chapitre 13) et surtout durant les périodes de famine, d'insécurité ou de conflits, où les approvisionnements alimentaires basiques sont interrompues et les populations indigènes et immigrantes ont un accès limité aux autres formes d'aliments (Scoones et al. 1992; Johns, chapitre 15). Même en période normale, une telle diversité biologique associée (herbes sauvages incluses) est souvent importante en tant que complément pour les aliments de base permettant d'avoir une alimentation équilibrée. Quelques communautés autochtones utilisent 200 espèces ou plus à des fins alimentaires (Kuhnlein et al. 2001; Johns et Sthapit 2004; Johns, chapitre 15).

La diversité génétique comprend la variation totale présente dans une population ou une espèce dans un endroit donné. Celle-ci peut se manifester dans des phénotypes différents ainsi qu'à travers leurs utilisations différentes. Elle peut se caractériser par trois aspects distincts: le nombre d'entités différentes (par exemple, le nombre de variétés utilisées par culture et le nombre d'allèles dans un locus donné), la régularité de la distribution de ces entités, ainsi que leurs mesures de différence. La diversité génétique des cultures peut être mesurée à échelles différentes (en provenance de pays ou de grands agro-écosystèmes, communautés indigènes, fermes et terrains) et ses indicateurs dépendent de l'échelle. Ces problématiques sont examinées par Brown et Hodgkin (chapitre 2) et Sadiki et al. (Chapitre 3) pour la culture, Gibson et al. (Chapitre 5) pour le bétail, et pour la diversité dans les écosystèmes aquatiques de riz par Halwart et Bartley (chapitre 7). Ces

chapitres sont complétés par des études de cas qui illustrent comment les agriculteurs nomment et gèrent les unités de la diversité dans leurs systèmes agricoles pour les cultures (Sadiki et al. Chapitre 3; Hodgkin et al. Chapitre 4), les animaux (Hoffmann, chapitre 6), et les ressources aquatiques (Halwart et Bartley, chapitre 7). Les chapitres 8 à 10 mettent l'accent sur le rôle essentiel de la *biodiversité associée* en soutenant la production agricole (voir aussi Swift et al. 1996; Pimbert 1999; Cromwell et al. 2001). Le chapitre 9 (Brown et al.) explique comment les verres de terre, la faune du sol ainsi que d'autres micro-organismes, avec les racines des plantes et les arbres, maintiennent la structure du sol et assurent le cycle des nutriments. Les ravageurs et les maladies sont tenus en échec par les parasites, les prédateurs et les organismes de contrôle des maladies et par résistances génétiques des plantes cultivées par elles-mêmes (Wilby et Thomas, Chapitre 10; Jarvis et al., chapitre 11; Zhu et al., chapitre 12). Dans le chapitre 8 (Kevan et Wojcik) est décrit comment les insectes pollinisateurs contribuent à la fertilisation croisée de l'allo-fécondation des plantes cultivées. Ce ne sont pas seulement les organismes qui fournissent directement des services de soutien à la production agricole, mais aussi d'autres composants de la chaîne alimentaire, tels que les plantes fourragères de remplacement pour les pollinisateurs (y compris celles dans de petites parcelles de terres en friche dans les paysages agricoles) et les autres proies pour les ennemis naturels des ravageurs des cultures. Ceci a été démontré dans les champs de riz Javanais, où les réseaux trophiques complexes veillent à ce que les ennemis naturels des ravageurs des cultures tels que les insectes, les araignées et autres arthropodes aient d'autres sources alimentaires lorsque les populations de ravageurs sont faibles, assurant la stabilité de ce système de lutte antiparasitaire naturel (Settle et al. 1996).

Les dimensions multiples de la biodiversité dans les systèmes de culture rendent la classification des systèmes de production dans son ensemble sur la biodiversité élevée ou faible difficiles, surtout quand les échelles spatiales et temporelles sont également inclus. Dans le chapitre 11, Jarvis et al, examinent si la diversité génétique des cultures est un avantage ou un danger dans la réduction des maladies, compte tenu de l'émergence potentielle d'agents pathogènes super-races. Ils présentent des études de cas telles que: l'utilisation de génotypes locaux résistants par les agriculteurs, l'utilisation de résistance dans les mélanges intra-spécifique divers et des programmes d'élevage qui ont choisi et utilisé des génotypes résistants et pathogènes aux ravageurs pour réduire la vulnérabilité des cultures. Les auteurs notent le défi d'élaborer des critères qui déterminent où et quand la diversité génétique peut jouer ou joue un rôle dans la gestion des ravageurs et des maladies.

Bien que la recherche universitaire sur la biodiversité agricole soit généralement axée sur des composants spécifiques (par exemple, les cultures, les ravageurs, l'élevage du bétail), les agriculteurs eux, gèrent l'ensemble des systèmes ainsi que ses parties distinctes. Fondée sur une longue histoire d'adaptation, d'innovation et de changement, de riches bases de connaissances et de pratique, la gestion de la biodiversité n'est pas facilement bornée ou décrite. Dans le chapitre 7, Halwart et Bartley expliquent comment les agriculteurs intègrent la gestion de poissons dans leurs systèmes agricoles. Dans le chapitre 13, Brookfield et Padoch discutent les approches des agriculteurs pour comprendre la gestion de la biodiversité agricole sur de plus grandes et plus complexes échelles spatiales et temporelles. Ils affirment que les agriculteurs ont souvent à gérer la biodiversité dans les paysages hétérogènes utilisant une gamme de technologies. Les auteurs utilisent le terme *agrodiversité* pour décrire l'intégration de la biodiversité et la diversité technologique et institutionnelle typique de la production à petite échelle. Le concept de l'agrodiversité est aussi le noyau du chapitre 14. Dans ce chapitre, Rerkasem et Pinedo-Vasquez discutent une série d'exemples de la façon dont les petits agriculteurs gèrent la biodiversité pour résoudre les problèmes émergents. Soulignant la complexité, le dynamisme, et la nature *hybride* de leurs exemples, les auteurs révisent et mettent à jour des vues classiques des connaissances traditionnelles et la pratique afin de mieux refléter les réalités de la production des petits exploitants.

## Les services des écosystèmes et leur valeur

La biodiversité dans les écosystèmes agricoles sous-tend la réserve d'une gamme de produits et des services provenant de ces écosystèmes (Évaluation des écosystèmes pour le Millénaire 2000). La valeur de la biodiversité peut être exprimée en termes économiques puisque les gens et les sociétés tirent profit de l'utilisation des services écosystémiques qu'elle fournit. Le concept de la valeur économique totale qui comprend la valeur courante de l'usage, la valeur optionnelle (valeur d'assurance additionnée à la valeur d'exploration), la valeur d'existence ou préférence humaine pour l'existence de ressources non utilisées. Cette valeur économique est largement utilisée par les économistes pour identifier les différents types de valeur de la biodiversité (Orians et al. 1990; Pearce et Moran 1994, Swanson 1996). En outre, les produits de la biodiversité et ses services ont souvent des propriétés, publiques ou mixtes: publiques et privées. La valeur économique

de ces produits n'est pas adéquate aux prix du marché parce qu'ils ne font pas l'objet de négociation (Brown, 1990). Par exemple, les combinaisons de types de graines cultivées par les agriculteurs afin de produire une récolte dont ils tirent un profit privé par le biais de la consommation alimentaire, la vente ou autres rendements. Quand les graines sont considérées comme des génotypes, elles contribuent à la diversité des cultures génétiques à travers un paysage agricole à partir de duquel non seulement les agriculteurs, mais aussi les résidents ailleurs, et dans le futur peuvent tirer un profit public (Smale, 2005). C'est parce que les décisions prises par des agriculteurs concernant l'utilisation et la gestion de variétés de cultures dans leurs domaines peuvent entraîner une perte d'intérêt potentiel parallèle, que leurs choix ont des conséquences intergénérationnelles et interrégionales.

La théorie économique prédit que tant que la biodiversité agricole est un produit, les agriculteurs en tant que groupe n'en produisant pas assez par rapport à l'optimum social, des interventions institutionnelles sont nécessaires pour combler le manque (Sandler, 1999).

Dans le chapitre 15, Johns donne des preuves empiriques concernant l'importance de la biodiversité agricole, au niveau de la diversité alimentaire, la nutrition et la santé. Gauchan et Smale (chapitre 16) ainsi que Drucker (chapitre 17) décrivent des études de cas illustrant les valeurs de la diversité végétale et animale (variation inter et intra culturelle et raciale) pour les agriculteurs par des méthodes non saisies par l'analyse des prix du marché. En effet, une grande partie de la valeur de la variation des cultures et du bétail est liée d'une part à l'adaptation potentielle ou amélioration des cultures et d'autre part aux services de l'écosystème tels que la prévention contre l'érosion et la lutte contre les maladies.

Comme discuté dans les chapitres 16 et 17, les différents éléments de la société ne perçoivent pas ces valeurs de la même manière (voir également Smale, 2005). Le chapitre 16 compare les valeurs attribuées par les généticiens et les agriculteurs, en identifiant les facteurs influençant la décision des agriculteurs de continuer ou pas à planter les variétés locales de riz, que les phytogénéticiens et les écologistes considèrent comme importantes pour l'adaptation future et l'amélioration des cultures. Le chapitre 17 démontre que la baisse des races indigènes reflète un manque de disponibilité du stock des espèces indigènes plutôt qu'un manque des revenus nets des agriculteurs.

Bien que la valeur de la biodiversité en tant que source de nourriture soit la plus appréciée, d'autres bienfaits de la biodiversité peuvent être très importants (Ceroni et al. chapitre 18). La valeur de la biodiversité et des écosystèmes connexes est généralement calculée marginalement ce qui

nous ramène à déterminer la valeur des changements au niveau des services des écosystèmes résultant soit des décisions de gestion, soit d'autres actions humaines, soit encore dans le but d'évaluer la valeur de la biodiversité ou de services fournis par une superficie limitée comparée à la superficie totale. Malgré l'existence de différentes méthodes permettant de déterminer les différentes valeurs de la biodiversité, seuls les produits des écosystèmes (*ou des services produits par les écosystèmes*) sont systématiquement évalués (Ceroni et al. chapitre 18). La plupart des services de soutien et de régulation ne sont pas du tout évalués parce qu'ils portent les caractéristiques de produits publics et ne sont pas commercialisés.

### Interactions entre les composantes de la biodiversité et la gestion par les agriculteurs

Bien que notre compréhension du rapport entre la biodiversité et le fonctionnement des écosystèmes soit incomplète, plusieurs points peuvent être cités avec une grande certitude. Tout d'abord, la composition des espèces peut être plus importante que le nombre d'espèces. Une grande diversité de guildes fonctionnelles est plus importante d'un point de vue fonctionnel que la richesse des espèces elle-même (Brown et al. chapitre 9). Par exemple, une diversité de guildes fonctionnelles de prédateurs des ravageurs est essentielle à l'efficacité biologique dans le contrôle des ravageurs (Wilby et Thomas, chapitre 10). Deuxièmement, la diversité génétique au sein des populations est importante pour une adaptation continue aux nouvelles conditions et aux besoins des agriculteurs tout au long de l'évolution, finalement, pour l'approvisionnement continu des produits et des services de l'écosystème (voir Brown et Hodgkin, chapitre 2; Sadiki et al. chapitre 3; Hodgkin et al. chapitre 4; Hoffmann, chapitre 6; Halwart et Bartley, chapitre 7; Jarvis et al. chapitre 11). Troisièmement, la diversité au sein des habitats et entre eux, ainsi que le niveau du paysage est également important de multiples façons (Brookfield et Padoch, chapitre 13; Rerkasem et Pinedo-Vasquez, chapitre 14). La diversité au niveau du paysage peut comprendre la diversité des plantes nécessaires à l'apport des pollinisateurs de cultures avec des sources alternatives de fourrage et d'autres sites de nidification, et fournir les sources de nourriture au profit des ennemis naturels des ravageurs des cultures (Kevan et Wojcik, chapitre 8; Wilby et Thomas, chapitre 10).

La plupart des études de cas de la gestion à petite échelle décrites dans ce livre caractérisent l'exploitation de ce qui est communément consi-

déré comme environnements marginaux ou inadéquats à la production agricole. C'est dans de tels environnements (arides, infertiles, sujets aux inondations, secs, ou isolés) qu'on continue à trouver de nombreux petits agriculteurs ainsi que de riches biodiversités agricoles. Dans des circonstances pareilles, la gestion des niveaux élevés de la diversité peut devenir un élément essentiel des stratégies de gestion des moyens de subsistance des agriculteurs et des éleveurs nomades, ainsi que de la survie de leurs communautés (Brookfield et Padoch, chapitre 13; Rerkasem et Pinedo-Vasquez, chapitre 14). La biodiversité agricole contribue à garantir un certain niveau de résistance, avec la capacité de supporter les chocs tout en maintenant sa fonction. Les petits exploitants agricoles et les environnements sociaux et écologiques dans lesquels ils évoluent sont exposés en permanence à de nombreux changements. Quand de soudains changements se produisent, les plus résistants ont la capacité de se renouveler, de se réorganiser, et même de prospérer (Folke et al. 2002). Dans un système qui a perdu sa capacité de résistance, l'adaptation au changement est très difficile dans le meilleur des cas ; par conséquent même les moindres changements sont potentiellement désastreux. L'incapacité de gérer les risques, les contraintes et les chocs, qu'ils soient d'ordre politique, économique, ou environnemental, menace les moyens de subsistance des petits agriculteurs.

### Avenir de la biodiversité agricole

Il est communément reconnu que la mondialisation et la volonté d'obtenir une meilleure productivité sont les ennemis de la biodiversité agricole. La propagation de l'utilisation intensive des semences hybrides de la « Révolution Verte », des technologies modernes, des nouvelles habitudes alimentaires, des lois sur la propriété intellectuelle, des diffusions des variétés et des céréales, l'inscription et la certification, ainsi que les restrictions d'accès dans le monde entier sont des facteurs nuisibles à la diversité. Cependant, les effets de ces tendances de modernisation et mondialisation n'ont été ni simples ni linéaires. De nouvelles opportunités pour gérer la biodiversité agricole et les menaces sont fournies par les nouvelles technologies et la mondialisation des marchés. Dans certains cas, ceux-ci ont tendance à favoriser la spécialisation et l'uniformité dans les systèmes agricoles, certains services fournis par la biodiversité agricole à la ferme sont remplacés en partie par des éléments extérieurs tels que les engrais, les pesticides, et les variétés améliorées. L'utilisation inappropriée ou excessive de certains intrants réduit souvent la biodiversité dans les écosystèmes agricoles et

dans d'autres écosystèmes (compromettant ainsi la productivité future). Comme plusieurs chapitres de ce livre le suggèrent, d'autres approches faisant usage de la biodiversité agricole pour fournir ces services peuvent engendrer des bénéfices pour la productivité et la conservation de la biodiversité. Afin d'identifier les pratiques de gestion ainsi que les technologies et les politiques qui favorisent les effets positifs et atténuent les impacts négatifs de l'agriculture sur la biodiversité, améliorent la productivité et augmentent la capacité d'assurer la subsistance, nous aurons besoin d'une meilleure compréhension des liens, des interactions, et des associations entre les différents éléments de la biodiversité agricole et la façon dont ils peuvent contribuer à la stabilité, à la résistance et à la productivité dans les différents types de systèmes de production. À l'instar des sélectionneurs et des conservateurs de la plupart du monde de la biodiversité agricole, les agriculteurs doivent être aussi pleinement engagés dans ces efforts.

## Bibliographie

- Aarnink, W., S. Bunning, L. Collette, y P. Mulvany, eds. 1999. *Sustaining Agricultural Biodiversity and Agro- Ecosystem Functions: Opportunities, Incentives and Approaches for the Conservation and Sustainable Use of Agricultural Biodiversity in Agro- Ecosystems and Production Systems*. Rome: FAO.
- Brookfield, H. 2001. *Exploring Agrodiversity*. Nueva York: Columbia University Press.
- Brookfield, H., C. Padoch, H. Parsons, and M. Stocking. 2002. *Cultivating Biodiversity: The Understanding, Analysis and Use of Agrodiversity*. Londres: ITDG Publishing.
- Brown, G. M. 1990. Valuing genetic resources. En G. H. Orians, G. M. Brown, W. E. Kunin, y J. E. Swierzbinski, eds., *Preservation and Valuation of Biological Resources*, 203–226. Seattle: University of Washington Press.
- CBD (Convention on Biological Diversity). 2000. *Programme of Work on Agricultural Biodiversity*. Decision V/5 of the Conference of the Parties to the Convention on Biological Diversity, May 2000, Nairobi: Convention on Biological Diversity.
- CBD (Convention on Biological Diversity). 2003. *Monitoring and Indicators: Designing National-Level Monitoring Programmes and Indicators*. Montreal: Convention on Biological Diversity.
- Cromwell, E., D. Cooper, y P. Mulvany. 2001. Agricultural biodiversity and livelihoods: Issues and entry points for development agencies. En I. Koziell y J. Saunders, eds., *Living Off Biodiversity: Exploring Livelihoods and Biodiversity Issues in Natural Resources Management*, 75–112. Londres: International Institute for Environment and Development.



- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 1998. *The State of the World's Plant Genetic Resources for Food and Agriculture*. Rome: FAO.
- Folke, C., S. Carpenter, T. Elmqvist, L. Gunderson, C. S. Holling, y B. Walker. 2002. *Resilience and Sustainable Development: Building Adaptive Capacity in a World of Transformation*. Scientific background paper on resilience for the World Summit on Sustainable Development, on behalf of the Environmental Advisory Council to the Swedish government. Available at [www.un.org/events/wssd](http://www.un.org/events/wssd).
- Hilton-Taylor, C., ed. 2000. *Lista Roja de Especies Amenazadas de la Unión Mundial para la Naturaleza*. Gland, Suiza: IUCN.
- Ingram, M., G. C. Nabhan, y S. Buchmann. 1996. Impending pollination crisis threatens biodiversity and agriculture. *Tropinet* 7:1.
- Jarvis, D. I. y T. Hodgkin. 2000. Farmer decision-making and genetic diversity: Linking multidisciplinary research to implementation on-farm. En S. B. Brush, ed., *Genes in the Field: On-Farm Conservation of Crop Diversity*, 261-278. Boca Raton, FL: Lewis Publishers.
- Jarvis, D. I., L. Myer, H. Klemick, L. Guarino, M. Smale, A. H. D. Brown, M. Sadiki, B. Sthapit, y T. Hodgkin. 2000. *A Training Guide for In situ Conservation On-Farm, Version 1*. Rome: International Plant Genetic Resources Institute.
- Jarvis, D. I., D. Nares, T. Hodgkin, y V. Zoes. 2004. On-farm management of crop genetic diversity and the Convention on Biological Diversity programme of work on agricultural biodiversity. *Plant Genetic Resources Newsletter* 138:5-17.
- Johns, T. y B. R. Sthapit. 2004. Biocultural diversity in the sustainability of developing country food systems. *Food and Nutrition Bulletin* 25:143-155.
- Kearns, C. A., D. W. Inouye, y N. M. Waser. 1998. Endangered mutualisms: The conservation of plant-pollinator interactions. *Annual Review of Ecological Systems* 29:83-112.
- Koziell, I. y J. Saunders, eds. 2001. *Living Off Biodiversity: Exploring Livelihoods and Biodiversity Issues in Natural Resources Management*. London: International Institute for Environment and Development.
- Kuhnlein, H. V., O. Receveur, y H. M. Chan. 2001. Traditional food systems research with Canadian indigenous peoples. *International Journal of Circumpolar Health* 60:112-122.
- Magurran, A. E. 2004. *Measuring Biological Diversity*. Oxford: Blackwell.
- Millennium Ecosystem Assessment. 2005. *Ecosystems and Human Wellbeing. Vol 1: Status and Trends*. Washington, DC: Island Press.
- Noss, R. F. 1990. Indicators for monitoring biodiversity: A hierarchical approach. *Conservation Biology* 4:355-364.
- Orians, G. H., G. M. Brown, W. E. Kunin, y J. E. Swierzbinski, eds. 1990. *Preservation and Valuation of Biological Resources*. Seattle: University of Washington Press.
- Pearce, D. y D. Moran. 1994. *The Economic Value of Biodiversity*. London: Earthscan.

- Pimbert, M. 1999. *Sustaining the Multiple Functions of Agricultural Biodiversity*. Background paper for the FAO/Netherlands Conference on the Multifunctional Character of Agriculture and Land. Rome: FAO.
- Sandler, T. 1999. Intergenerational public goods: Strategies, efficiency, and institutions. En I. Kaul, I. Grunberg, y M. A. Stein, eds., *Global Public Goods*, 20–50. Oxford, UK: United Nations Development Programme and Oxford University Press.
- Scoones, I., M. Melnyk, y J. N. Pretty. 1992. *The Hidden Harvest: Wild Foods and Agricultural Systems—A Literature Review and Annotated Bibliography*. London: International Institute for Environment and Development.
- Settle, W. H., H. A. Ariawan, E. T. Cayahana, W. Hakim, A. L. Hindayana, P. Lestari, y A. S. Pajarningsih and Sartanto. 1996. Managing tropical rice pests through conservation of generalist natural enemies and alternative prey. *Ecology* 77:1975–1988.
- Smale, M. 2005. Concepts, metrics and plan of the book. *Valuing Crop Biodiversity: On-Farm Genetic Resources and Economic Change*. Wallingford, UK: CAB International.
- Swanson, T. 1996. Global values of biological diversity: The public interest in the conservation of plant genetic resources for agriculture. *Plant Genetic Resources Newsletter* 105:1–7.
- Swift, M. J., J. Vandermeer, P. S. Ramakrishnan, J. M. Anderson, C. K. Ong, y B. A. Hawkins. 1996. Biodiversity and agroecosystem function. En H. A. Mooney, J. H. Cushman, E. Medina, O. E. Sala, and E.- D. Schulze, eds., *Functional Roles of Biodiversity: A Global Perspective*. Chichester: Wiley, scope/UNEP.
- Wood, D. y J. M. Lenne. 1999. Why agrobiodiversity? En D. Wood y J. M. Lenne, eds., *Agrobiodiversity: Characterization, Utilization and Management*, 1–14. Wallingford, UK: CAB International.

## 2 Mesurer, gérer et maintenir la diversité génétique des cultures dans les fermes

---

A. H. D. BROWN et T. HODGKIN

Le grand défi qu'affronte la communauté agricole mondiale est la manière dont on peut développer et améliorer la productivité des écosystèmes agricoles afin de diminuer la pauvreté et assurer la sécurité alimentaire d'une manière durable. L'importance de la diversité phytogénétique pour satisfaire les besoins à court-terme et réaliser une viabilité à long terme a été reconnue à l'unanimité.

La gestion de la biodiversité est complexe et synthétique, elle touche la diversité sur tous les niveaux: écosystème, espèces, gènes et environnement. Elle dépend de plusieurs disciplines telles que la génétique, les systèmes agricoles et les sciences sociales. Mais, est-elle vraiment digne d'une attention particulière parmi toutes ces disciplines? Nous soutenons cette hypothèse.

Si c'est bien le cas, nous aurons besoin de connaissances structurées pour gérer la biodiversité agricole au niveau du gène *in situ* et d'une manière durable. Cette structure cognitive doit prendre en considération les moyens pour préserver la biodiversité agricole et la mettre en œuvre. Ce chapitre traite la conservation de la diversité phytogénétique dans les systèmes de production en décrivant la manière dont les différents types d'informations génétiques contribuent à la gestion de la diversité génétique ainsi que les actions et indicateurs qui en dérivent afin de progresser. Le paysage rural comprend des espèces de plantes qui appartiennent à trois catégories différentes. Celles-ci en forment sa biodiversité agricole :

- Les espèces de plantes cultivées et récoltées pour des fins bien déterminées : nourriture, fibres, combustibles, fourrage, bois, médecine, décoration etc.

- Les espèces sauvages qui poussent dans les milieux naturels et qui sont bénéfiques au milieu agricole et ce en lui apportant la protection, l'ombre et en assurant la régulation des eaux souterraines.
- Les espèces sauvages indigènes qui peuvent être croisées avec des cultures appartenant à la même famille, qui contribuent à la formation de leur patrimoine génétique, qui survivent d'une manière autonome, qui souffrent des mêmes ravageurs et maladies et qui peuvent parfois être consommées en temps de famine.

De ces trois catégories, ce chapitre aborde principalement la première.

## De nouvelles perspectives sur la diversité génétique

L'intérêt que porte l'homme à la diversité phytogénétique ne date pas d'aujourd'hui (Frankel et al. 1995). Traditionnellement, les agriculteurs avaient toujours manipulé, choisi et utilisé les différences qu'ils percevaient entre les différentes espèces de plantes qui les aidaient à subsister ainsi que leurs familles. Ces différences se situent au niveau de la morphologie, la productivité, la solidité, la qualité, la résistance aux ravageurs ainsi que les variations qui pourraient échapper à ceux qui manquent d'expérience. Aujourd'hui, nous vivons dans l'ère moléculaire. L'ère moléculaire nous a fournis de nouveaux outils et des moyens nous permettant de comprendre, de nouvelles façons, la diversité génétique à son niveau fondamental. Cette partie nous esquisse de nouvelles perspectives sur la diversité génétique et les lie à des études établies sur les variations agromorphologiques chez les espèces cultivées.

### *Diversité moléculaire*

La diversité génétique se présente avant tout en tant que changements survenant dans la séquence linéaire des nucléotides dans l'ADN. Les changements peuvent survenir au niveau de la séquence dans la région codante des gènes ou dans l'espaceur entre les gènes. Les changements surviennent aussi au niveau du nombre de copies des gènes, des liaisons génétiques ou carrément au niveau de chromosomes entiers. Une partie de ces changements se traduit par la variation des protéines, les marqueurs polymorphes, les caractères, les variations morphologiques au niveau des caractères agronomiques et finalement dans des variétés de différentes appellations.

Pour pouvoir gérer la diversité d'une manière efficace, nous devons la mesurer et comprendre ses limites et sa répartition. Les efforts fournis pour mesurer la variation varient de l'évaluation des phénotypes des plantes en utilisant des caractères morphologiques et jusqu'à l'utilisation des marqueurs génétiques moléculaires. Plus récemment, trois des principaux nouveaux outils de la biologie moléculaire sont en train de fournir de nouvelles perspectives sur la diversité génétique des cultures et d'ouvrir de nouvelles voies pour gérer les ressources phylogénétiques: polymorphisme nucléotidique simple (SNP), analyses phylogénétiques, génomique fonctionnelle. Ils sont considérés comme des outils de recherche puisque la possibilité d'obtenir des données de séquences ADN sur de plus en plus de spécimens ne cesse d'augmenter

#### POLYMORPHISME DE NUCLÉOTIDE SIMPLE

Le tableau 2.1 résume les récentes estimations sur la diversité au niveau de l'ADN chez les plantes cultivées ou les plantes sauvages apparentées.

Tableau 2.1. Des études récentes de la diversité nucléotidique.

Espèces	Echantillon	Gène(s)	K (bp)*	$\theta$ (bp)*	Séquence par individu (kb)
<i>Zea mays</i> (maïs) <sup>a</sup>	9 lignées, 16 variétés locales	21 locus	0.036	0.010	14.4
<i>Hordeum Spontaneum</i> (orge sauvage) <sup>b</sup>	25 adhésions généralisées	<i>Adh1</i> <i>Adh2</i> <i>Adh3</i>	0.01 0.02 0.06	0.003 0.005 0.015	1.4 2.0 1.8
<i>Triticum aestivum</i> (blé tendre) <sup>c</sup>	<8 variétés	Polymorphisme de longueur des fragments de restriction (RFLP)	0.004	—	2.4
<i>Glycine max</i> (soja) <sup>d</sup>	25 génotypes: codage non codant	115 locus	0.002 0.005	0.00053 0.00125	29 48

Sources: <sup>a</sup>Tenaillon et al. (2001), <sup>b</sup>Lin et al. (2002), <sup>c</sup>Bryan et al. (1999), <sup>d</sup>Zhu et al. (2003).  
\* La *statistique de richesse* de la diversité K est le nombre moyen de sites polymorphes par paire de bases, et la *régularité statistique*  $\theta$  correspond grosso modo à l'hétérozygotie.

Ces estimations de PNS sont préliminaires et au niveau des espèces à cause du manque de données. La statistique touchant la richesse de la diversité «K» est la moyenne des sites polymorphes par paire de base, et la statistique de planéité « $\theta$ » correspond à peu près à l'hétérozygotie. Alternativement, on peut considérer que son inverse comme étant la moyenne des paires de base situées entre chaque SNP lorsqu'on compare deux séquences choisies par hasard. Ces estimations et autres montrent que la diversité génétique est vaste au niveau de l'ADN. Les estimations soulignent également de grandes différences au niveau du volume de la diversité existant dans le gène lui-même. Il y a aussi des différences entre les gènes et ce qui l'entoure dans le génome. La diversité moléculaire existant dans le système ADH chez l'orge (alcool déshydrogénase) illustre la tendance à accumuler une diversité supplémentaire d'ADN dans les parties les moins importantes du génome. L'alcool déshydrogénase principale (*Adh1*) détient la moitié de la diversité du locus *Adh2* environ (Tableau 2.1). Le troisième locus (*Adh3*), qui est silencieux dans un lignage majeur de l'orge sauvage semble être le moins important en ce qui concerne le fonctionnement et abrite la majorité de la diversité. Dans un échantillon de cultivars de blé, les estimations faibles de diversité semblent refléter les restrictions liées à la diversité dans le patrimoine génétique hautement sélectionné des variétés, ainsi qu'un possible obstacle dans le nombre restreint d'origines de blé hexaploïde.

Le système de sélection constitue aussi une variable clé. Charlesworth et Pannel (2001) ont récemment examiné les estimations de la diversité moléculaire à partir de populations plantes naturelles et ont souligné l'importance des systèmes de sélection. Le tableau 2.1 présente quelques données sur le maïs afin de les comparer avec les estimations de l'orge sauvage et le maïs, et comme prévu le maïs détient au moins le double des valeurs désignées par les sélectionneurs. Cette différence entre les espèces de croisement est beaucoup plus évidente au niveau des populations qu'au niveau des espèces (Hamrick et Godt 1997).

Une grande partie de cette diversité de la séquence nucléotidique ne serait pas exprimée sur le plan fonctionnel, et la question qui se pose est de savoir quelles fins celle-ci pourrait servir dans la gestion de la biodiversité agricole. Une telle diversité, neutre au niveau de la sélection, est idéale pour la mesure des lignées et des relations comparatives entre les individus, les populations et les espèces, l'obtention de preuves quant aux obstacles touchant la taille de la population, la documentation du flux génétique, la recombinaison, l'approvisionnement en semences et l'identification des variétés.

Le second résultat de l'augmentation des données des séquences ADN et de la capacité à générer des échantillons de séquences à partir de populations existantes est d'avoir des phylogénies plus précises et d'ajouter une dimension temporelle de l'évolution à l'analyse de la diversité des séquences (Clegg 1997). Une fois cette technologie devenue plus accessible, elle sera idéale pour suivre au fil du temps le mouvement des gènes et des populations. Comprendre l'apparenté aide à prendre de meilleures décisions touchant la préservation, à développer les sélections de base, à rechercher de nouvelles caractéristiques (ex : de nouvelles résistances) et à choisir des souches pour l'amélioration des plantes.

A titre d'exemple, une phylogénie des allèles sur des échantillons d'orge sauvage au niveau du locus *Adh3* sépare les adhésions en deux lignages distincts qui se sont séparés il y a 3 millions d'années selon l'horloge moléculaire (Lin et al. 2002). Une colonie s'est multipliée dans la moitié nord et ouest du croissant fertile (Israël, Jordanie, Turquie, Syrie et Iraq). La seconde colonie s'est partiellement étendue à l'est (Iraq, Iran, Turkménistan et Afghanistan). Ce résultat pousse à se demander si la divergence s'applique aux autres parties du génome et à s'interroger sur l'ampleur de l'incorporation des deux lignages *Adh3* dans le patrimoine génétique de l'orge cultivé.

Les phylogénies moléculaires apportent également une nouvelle perspective pour évaluer la biodiversité à préserver (Brown et Brubaker 2000). Dans le sous-genre vivace, la *glycine*, dont les espèces sont des parents sauvages du soja, les phylogénies basées sur des séquences organites (chloroplastes) et sur un atome monogène et des familles polygènes, ont débouché sur de nouvelles idées concernant les rapports entre les espèces et l'origine des lignages polyploïdes. Les mesures de diversité, englobant la spécificité, peuvent par la suite être utilisées pour évaluer l'efficacité d'un réseau de réserves naturelles dans la conservation de tout le patrimoine génétique des sous-genres. Pour évaluer la diversité dans les fermes, les mesures de spécificité aident à cerner les zones qui nécessitent plus d'étude et d'effort.

#### LA GÉNOMIQUE FONCTIONNELLE

Avec autant de diversité nucléotidique chez une espèce localisée dans la partie non exprimée du génome, comment pourrions-nous dépister la fraction minimale de la diversité génétique dont la fonction est importante? La nouvelle technique d'usage de « puces » dans le domaine de la génomique

fournit une nouvelle approche (Aharoni et Vorst 2001 ; Peacock et Chaudhury 2002). La génomique est l'étude de tous les gènes d'un organisme en une seule fois. Les microarrays (puces ADN) nous permettent d'exposer le génome d'une plante dans un ordre spatial. A titre d'exemple, le génome *Arabidopsis* équivaut à 100 000 gouttelettes dans une seule lame de microscope, ce qui pourrait être répliqué et servir de référence à plusieurs reprises. Cette référence peut donc être protégée de deux populations de messagers ARN provenant de deux sources opposées. Cette approche tire son grand pouvoir de sa nature fondamentalement comparative en distinguant les gènes réagissant à un stress particulier de ceux n'y résistant pas. Une expression différentielle entre les génotypes sensibles au stress et ceux résistants au stress pourrait découler soit des différences génétiques au niveau des régions de contrôle régularisant ces séquences indicatrices, soit des différences au niveau des gènes de structures eux-mêmes. Pour l'*Arabidopsis*, un chevauchement de taille survient entre les gènes mobilisés en guise de réaction aux différents types de stress (E. Klok et E. Dennis, comm pers., 2003). De ce fait, la mobilisation de ces 34 gènes a varié en fonction du taux bas d'oxygène et des agressions subies. 5 gènes ont réagi à ces facteurs de stress (hypoxie, agressions, sécheresse). La mise en évidence de tels gènes chez l'*Arabidopsis* pourrait nous fournir un outil puissant pour le dépistage des populations en fonction de leur adaptation au stress chez les plantes cultivées. Ainsi, les approches génomiques et l'utilisation de microarrays offrent la possibilité de relier les expressions différentielles au niveau de l'ADN, à la variation d'adaptation

### *Adaptation aux variations chez les variétés locales*

La technologie microarray est une nouvelle méthode prometteuse qui permet de dévoiler la diversité génétique importante en termes d'adaptation chez les populations, et ce au niveau moléculaire. Cette technologie n'a cependant pas été suffisamment expérimentée à l'échelle substantielle. Des procédures établies ont déjà démontré que les variétés locales sont en fait des réservoirs de variation adaptative. Teshome et coll. (2001) ont récemment revu la recherche publiée se rapportant à la variation chez les races locales de céréales et des légumes à gousse dans leurs centres d'origine (tableau 2.2).

Leur travail s'intéressait aux études de l'influence des facteurs humains, biotiques et abiotiques maintenant la diversité génétique et la différenciation des populations au niveau des cultivars traditionnels. Il y avait plusieurs rapports descriptifs qui mesuraient la variation des marqueurs géné-



tiques ou de la morphologie. Cependant, un nombre moins important de rapports a cherché à analyser la fonction de la diversité et les facteurs clés qui la maintiennent.

Par ailleurs, la majorité des études a examiné la divergence entre les populations; et moins d'études se sont concentrées sur la variation au sein d'une même population. En dépit de ses lacunes, le nombre croissant de preuves indique que les variétés locales sont adaptées aux caractéristiques spécifiques de leur milieu et elles représentent une réserve de diversité que des techniques telles que la microarray pourraient identifier davantage.

Parmi les récentes études portant sur l'adaptation des variétés locales basées sur un grand nombre d'échantillons frais provenant des populations d'origine plutôt que sur des échantillons conservés dans des banques de gènes, on peut citer celle apportée par Weltzien et Fishbeck (1990) démontrant la haute performance des variétés locales d'orge dans leur milieu marginal et aride à savoir le proche orient. Pour mettre en évidence les facteurs majeurs affectant les variétés locales de sorgho, Teshome et al. (1999) ont étudié des échantillons provenant du nord Shewa et du sud de Welo en Ethiopie. Des prélèvements systématiques sur plus de 200 champs ont permis de découvrir 64 variétés qui ont été dénommées par les agriculteurs avec une moyenne de 10 différentes variétés locales par champ. Dans ce contexte où chaque champ regroupe un mélange de variétés locales,

**Tableau 2.2.** Nombre d'études rapportant des divergences entre les variétés de céréales ou de légumineuses à grains pour les marqueurs génétiques (isoenzymes, polymorphisme de l'ADN) ou des caractères morphologiques (par exemple, caractéristiques agronomiques et végétales, la qualité et le rendement).

Type de facteurs de diversification	Marqueurs génétiques	Caractères morphologiques
Séparation géographique à différents niveaux (entre pays, régions ou localités)	12	19
Interactions biotiques (maladies et ravageurs)	0	7
Gradients abiotiques et mosaïques (altitude, climat, sol, taille du champ)	7	14
Les stress abiotiques à engorgement, aridité, chaleur, froid et salinité extrêmes.	2	8
Critères de sélection des agriculteurs	1	3
Total (42 populations et 31 échantillons de banque de gènes)	22	51

Source: Teshome et al. (2001).

chaque variété locale ayant une dénomination bien déterminée a formé une unité dénombrable de diversité génétique. Les statistiques touchant la diversité et qui mesurent la richesse et l'uniformité sont facilement calculables à partir des fréquences morphotypes. De multiples régressions entre la richesse des variétés locales et le tableau des variables sur le terrain ont démontré que la diversité était plus importante dans les champs se situant à des altitudes moyennes, ceux ayant un sol à un taux bas de pH et d'argile, ainsi que les champs où les agriculteurs étaient plus sélectifs vis-à-vis des variétés locales semées. Le chapitre 4 met en évidence des preuves tirées d'études de cas illustrant cette adaptation.

L'étude des caractéristiques morphologiques et de la performance des populations dans les milieux affables et hostiles ne concorderaient pas avec les résultats de la diversité ADN et de ses aspects (nous avons écarté les études touchant la génomique fonctionnelle et la microarray qui sont des technologies pouvant réduire l'écart entre la diversité moléculaire et morphologique). Si les études d'allozyme sont incluses, on aurait eu à consulter un nombre important de publications résultant des différentes analyses de ces relations chez toutes les variétés de plantes, mais ces publications seraient trop étendues pour pouvoir être évoquées dans cette étude. Il y a beaucoup moins d'études portant sur la diversité chez les variétés locales de cultures en tant que telles. Aujourd'hui, l'échelle et l'intensité des prélèvements des données des séquences ADN sont vraiment différentes de celles des études morphologiques. Cependant, ceci est en train de changer, étant donné que les projets visent à détecter le « déséquilibre de liaison » entre les marqueurs et les caractéristiques dans les collections (Rafalski 2002).

Idéalement, on a besoin d'information touchant à la fois le niveau moléculaire et morphologique afin de comprendre parfaitement les aspects adaptatifs, ainsi que leur analyse et interprétation commune en termes de gestion humaine et environnementale. Les points forts des données des séquences ADN consistent en leur capacité à révéler les processus d'évolution (taille des populations, liens, ascendances communes, recombinaison), alors que ceux des aspects d'adaptation sont le fait qu'ils représentent des moyens systématiques d'amélioration des récoltes et des bénéfices touchant directement les besoins des agriculteurs.

## Indicateurs pour gérer la diversité génétique in situ

Nous avons besoin d'indicateurs afin de suivre la diversité génétique dans les fermes. Un indicateur est une importante variable physique, chimique,

biologique, sociale ou économique, qui se mesure d'une manière bien définie et ce pour des fins de gestion.

Le tableau 2.3 dresse la liste des indicateurs proposés pour suivre et gérer la biodiversité agricole *in situ*, et ceux-ci sont classés dans deux groupes : espèces domestiques et sauvages. Il donne également les indicateurs pour pouvoir prendre les liens des cultures *in situ* et *ex situ* en considération (Brown et Brubaker 2002). Le premier groupe comprend des plantes qui sont ou qui peuvent être cultivées par des hommes. Ceci comprend les variétés domestiques qui dépendent des humains pour survivre et les espèces sauvages directement exploitées par les agriculteurs comme les plantes sources de médicaments traditionnels ou utilisés pour d'autres fins culturelles. Le deuxième groupe comprend les autres espèces de plantes qui poussent naturellement dans l'écosystème agricole et qui ne sont pas directement exploitées (nous n'avons pas pris considération des indicateurs des stratégies *ex situ*). Ces indicateurs sont étudiés ailleurs (Brown et Brubaker 2002). Dans cette étude nous avons plutôt insisté sur la diversité *in situ*.

### *Les plantes domestiquées et les espèces sauvages récoltées*

Brown et Brubaker (2002) ont présenté le nombre de variétés locales distinctes de chaque culture dans une zone donnée comme indicateur de base, accompagné de quelques mesures de prévalence ou bien de la superficie qui leur est consacrée en tant que partie de la superficie disponible dans une zone donnée. Même si cela semble systématique théoriquement, l'expérience menée au sein d'IPGRI (Institut international des ressources phyto-génétiques), dans le cadre d'un projet *in situ*, a révélé plusieurs difficultés d'ordre pratique au niveau du regroupement de telles données. Les chercheurs se sont intéressés à l'identification et à la dénomination des variétés locales: comment faire la différence entre les espèces récoltées et les cultures et quelle est l'ampleur de la différence entre les populations dans différents villages pour des variétés locales ayant la même dénomination et ce à travers le temps et l'espace. Une certaine imprécision est inévitable et parfois souhaitable, permettant une certaine flexibilité. Des analyses comme celles faites par Teshome et al. (1999) concernant la capacité des agriculteurs à reconnaître les variétés locales de sorgho en Ethiopie, et celles effectuées par Sadiki et al. (Chapitre 3) et portant sur les variétés locales de fève au Maroc ont démontré que le savoir traditionnel est remarquablement fiable. Le savoir, la reconnaissance et les dénominations de la diversité des cultures des agriculteurs sont apparemment cruciaux pour leur survie. Si les informations de base convenables sont disponibles, le pourcentage de

Tableau 2.3. Les indicateurs proposés pour le contrôle.

Indicateur Proposé	Les problèmes de validité et d'interprétation	Le plus bas niveau ou unité applicable	Capacité de se combiner à des niveaux supérieurs
Plantes domestiquées et espèces sauvages récoltées			
Nombre, fréquence et superficie des variétés distinctes ou récoltés sauvages des populations	Est-ce que les noms sont fiables? Comment une variété locale spécifique varie génétiquement dans l'espace et le temps?	Terrain ou parcelle	++
Amplitude environnementale de la superficie consacrée à chaque culture	Est-ce la diversité génétique est en rapport avec la diversité abiotique et biotique de l'environnement, et à quelle échelle? Quelle est la relation entre l'événement et la productivité?	Région	++
Nombre, durabilité et évolution de la gestion des agriculteurs et des critères de sélection	Est-ce que les critères variés et à divers usages mènent à la diversité génétique?	Ferme	+
Sécurité des savoirs traditionnels	À quels niveaux il y a il une relation entre diversité et connaissance?	Arrondissement administratif	-
Espèces sauvages et cultures apparentées			
Présence des espèces dans des zones désignées couvrent la variation environnementale.	Quelles sont les positions géographiques relatives, la gestion et les politiques de partage des gains des zones visées?	Arrondissement administratif des ressources naturelles	+
Chiffres et tailles de population	Comment la taille du recensement se rapporte à la durabilité? Quelles sont les tailles minimales viables?	Métapopulations (Vallée)	++
Diversité des gènes, population divergence, et distribution	Quelle est la relation entre l'information génétique et la stratégie ?		++

Tableau 2.3, suite

Indicateur Proposé	Les problèmes de validité et d'interprétation	Le plus bas niveau ou unité applicable	Capacité de se combiner à des niveaux supérieurs
<i>Les liens entre les activités in situ et ex situ</i>			
Echantillons ex situ de sauvegarde pour les populations vulnérables de in situ; sites in situ conservés pour les espèces récalcitrantes	Barème d'échantillonnage, réapprovisionnement, et stratégies d'utilisation	Collections individuelles	++
Liens de coopération entre les établissements ex situ et les communautés d'agriculteurs .	Information et protocoles d'échange de graines, partage de gains, transfert de technologie.	Programmes nationaux	-

Source: Adapté de Brown et Brubaker(2002)

\*Se rapporte à savoir si la valeur d'un indicateur des niveaux supérieurs (par exemple, au niveau du village) peut être déduite de sa valeur à un niveau inférieur (par exemple, niveau de l'exploitation) en faisant la moyenne appropriée.

superficie occupée par les variétés locales semble être un indicateur important de changement de la diversité génétique au niveau de la ferme quelque soit la zone.

Les enquêtes portant sur l'apparition des variétés locales et sa fréquence peuvent générer d'énormes quantités de données. Cependant, ces variables peuvent être combinées en mesures sommaires. On peut citer l'exemple de la classification simple des variétés locales de riz au Népal comme pour la fréquence (présente dans peu ou plusieurs fermes) et les superficies plantées (sur des superficies étendues ou en nombre limité dans les petits champs ou jardins) en quatre catégories (tableau 2.4). Étant donné que la comparaison entre trois régions est possible (dans cet exemple, le site Kaski est plus riche en variétés locales rares et propres à la région), peut-on alors comparer les tendances au fil du temps et évaluer les différences en termes de vulnérabilité, de types d'utilisation, de stratégies de conservation et d'options de sélection végétale participative dans chaque catégorie?

En ce qui concerne les espèces médicinales, combustibles et autres espèces à pâturage ou récoltées dans la nature, le recensement du nombre et de la taille des populations est un outil essentiel. Les communautés locales

**Tableau 2.4.** Nombre et répartition des variétés locales de riz en trois sites d'étude in situ, au Népal.

	Bara (80 m asl)	Kaski (650–1,200 m asl)	Jumla (2,200–3,000 m asl)
Surface moyenne par variété locale	0.95	1.17	0.91
Nombre total de variétés locales	33	63	23
Type de race			
Espace vaste, plusieurs maisons	9	9	4
Espace vaste, plusieurs maisons	2	3	0
Espace étroit, plusieurs maisons	3	3	3
Espace étroit, peu de maisons	19	48	16

*Source:* Données par Joshi et al. telles que résumées dans Jarvis et al. Jarvis (2000:83–85).

s'intéressent directement à exécuter les stratégies de préservation de ces plantes. Néanmoins, les besoins primaires, surtout durant les périodes difficiles, mènent à la surexploitation. S'attarder sur la question de la baisse du nombre chez les populations des espèces très prisées, négligées ou sous-exploitées, est évident au niveau des stratégies de conservation et est mesurable grâce à de tels indicateurs.

Théoriquement, la taille de la population doit être liée à la richesse du génotype: les populations et les échantillons de taille supérieure devraient inclure plus de génotypes. Si cette liaison est généralisée, la taille de la culture serait un moyen rapide pour évaluer la richesse dans une région donnée où réaliser des enquêtes génétiques est impossible.

Une fois la cartographie de la culture des variétés locales est faite, l'étape qui suit consiste à établir son lien avec les cartes climatiques, topographiques et pédologiques afin de mesurer en gros la diversité de leurs environnements. Des exemples illustrant ce type d'indicateurs lors de l'érosion des végétations naturelles sont les cartes traçant la dévégétation croissante au fil du temps de la ceinture céréalière de l'ouest de l'Australie. Les outils intégratifs des systèmes d'information géographique (SIGs) (Guarino et al. 2002) offrent la possibilité d'estimer les aspects de la diversité et de surveiller les changements dans les superficies consacrées aux variétés locales et les changements au niveau de la distribution, ainsi que la taille des populations des espèces utiles et ce afin de déterminer si les certains habitats sont en train de s'appauvrir en termes de diversité.

De telles informations seraient plus utiles si elles étaient accompagnées de recherches portant sur le lien entre la divergence environnementale et

la diversité génétique. Cette liaison n'est pas toujours directe et devrait intéresser la recherche davantage. Comme Teshome et al. (2001) l'ont souligné, une variété locale peut avoir une grande adaptabilité et une bonne rentabilité dans des environnements et habitats différents. Son utilisation est répandue et peut être un choix délibéré des agriculteurs basé sur leur préférence des performances déjà connues et prouvées aux autres variétés indisponibles. Dans un cas pareil, la grande adaptabilité de la population est d'une grande valeur et ne doit pas être sous-estimée à cause du manque apparent de la richesse des variétés locales. Les conclusions seraient plus fermes si les données sur les systèmes d'information géographique basées sur l'existence de variétés locales dans la région sont liées à la performance. A titre d'exemple, si la culture des variétés locales est cartographiée dans une zone marginale tout au début de la saison de croissance et que le rendement n'est pas satisfaisant, une cartographie prématurée ne serait donc plus une preuve d'entretien durable dans la région identifiée.

Comme on l'a mentionné précédemment, enquêter sur le fondement des choix des agriculteurs est un moyen direct de comprendre comment la diversité est maintenue. Les utilisations sont des forces sélectives et comme pour les appellations, on peut y trouver beaucoup de variation entre les agriculteurs et les années, comme pour le but de faire pousser des variétés locales. L'enquête de Taba (1997) a révélé qu'en Argentine, des agriculteurs ont fait pousser 13 des 16 variétés locales de maïs essentiellement pour obtenir des graines (tableau 2.5). D'autres agriculteurs ont planté les mêmes 13 variétés et les 3 autres en plus, pour un total de 31 utilisations principales supplémentaires, 24 utilisations secondaires et 13 utilisations tertiaires. En général, ces utilisations diverses suggèrent un modèle mul-

**Tableau 2.5.** Nombre de différentes utilisations spécifiques primaires, secondaires et tertiaires, à des fins culinaires spécifiées pour les variétés de maïs cultivées dans des pays différents.

Pays	Nombre de variétés locales	Nombre utilisé pour des graines	D'autres utilisations spécifiques primaires	Utilisations secondaires	Utilisations tertiaires
Argentine	16	13	31	24	13
Bolivie	42	Tous	8	10	2
Chili	13	3	5	4	2
Mexique	12	Tous	5	11	3

*Source:* résumé de Taba (1997).

ti-niche de diversification des choix qui favorise la diversité adaptative (Crow et Kimura 1970 :262 ; Gillepsie 1998 :71). A part les différents usages culinaires, on peut ajouter le choix des génotypes, fait par les agriculteurs pour des raisons environnementales spécifiques (ex : les variétés connues pour leur adaptation aux conditions difficiles, ou celles choisies pour les parcelles inondées).

Le problème qui se pose est le fait que l'usage multiple d'un ensemble de variétés locales lui-même pourrait ne pas assurer la diversification des choix. Par exemple, si une nouvelle variété en particulier sert à bien atteindre plusieurs fins, elle serait largement cultivée, et ce aux dépens d'autres variétés plus spécialisées. Cependant, une baisse générale dans les statistiques mesurant les types d'usage tend à signaler une perte au niveau de la diversification des choix, le prélude de la perte de la diversité.

Il paraît donc évident que le calcul simple des différents critères de sélection n'est qu'un travail à titre indicatif.

La relation présumée entre les diverses raisons justifiant les choix des agriculteurs et la diversité génétique réelle doit être testée. A présent, ceci peut être tenté au niveau des variétés locales dénommées.

Enfin, le maintien de la diversité génétique dans les fermes est plus probable si les mécanismes nécessaires sont mis en place pour mettre fin à l'érosion du savoir traditionnel et pour partager les bénéfices générés par l'exploitation de cette diversité dans les milieux exotiques. Une série d'approches est nécessaire pour déterminer quel savoir traditionnel est maintenu et par qui. Ces approches peuvent fonder la base des indicateurs de la sécurité du savoir traditionnel. Les processus affectant le savoir traditionnel sont difficiles à cerner. En effet, on commence tout juste à aborder ces problématiques. Un autre problème se pose, il s'agit de la séparation temporelle entre la décision de l'agriculteur de cultiver diverse populations dans l'immédiat, et le gain éventuel tiré de l'utilisation de cette matière ailleurs ultérieurement. Les gains immédiats sont le fruit de décisions antérieures et ne sont probablement qu'une faible incitation à la plantation continue de la diversité aujourd'hui. C'est pour de telles raisons que cet indicateur a tendance à être le plus applicable de tous à l'échelle nationale ou régionale.

### *Les espèces sauvages et les cultures apparentées dans les zones agricoles*

La section précédente a traité les indicateurs de gestion de la diversité dans les fermes chez les espèces domestiquées. Cependant, comme nous l'avons indiqué au début du chapitre, la gestion de la biodiversité agricole dans les



zones agricoles comprend également les espèces sauvages. Le besoin d'inclure les cultures sauvages apparentées dans notre étude provient de leurs nombreux liens avec les espèces cultivées. Il existe des liens écologiques lorsque l'agriculture cause directement la perte ou l'endommagement de l'habitat sauvage. Les espèces sauvages apparentées sont souvent les mauvaises herbes se trouvant dans les champs des agriculteurs. Les cultures et leurs espèces apparentées partagent les insectes bénéfiques et les insectes, les épidémies et les maladies engendrant des liens co-évolutionnaires complexes. De plus, les espèces sauvages apparentées peuvent servir de sources de gènes, nouveaux et utiles (Jarvis et Hodgkin 1999). Par conséquent, il est important d'élargir la question de la conservation de façon à ce qu'elle englobe les espèces sauvages dans les systèmes agricoles.

En effet, les espèces sauvages peuvent être des indicateurs annonçant d'importants changements dans les systèmes de production. C'est pour cette raison que les indicateurs de la gestion génétiques des espèces de plantes sauvages sont nécessaires.

Surveiller l'état des espèces de plantes sauvages dans les zones agricoles représente un défi. Les problématiques majeures sont notamment de savoir si certaines espèces sont prioritaires ou pas, et si les populations dans les îres protégées ou les régions non propices à l'agriculture compensent les populations vulnérables ou décimées en milieu rural. Tout comme pour la priorité des espèces, Brown et Brubaker (2002) ont affirmé que les espèces sauvages apparentées méritent un intérêt adéquat, puisque elles peuvent servir de produits de gamme et qu'elles représentent des hôtes pour les mêmes épidémies et maladies que les cultures qui leur sont apparentées. Le futur de telles espèces apparentées qui poussent près des champs des agriculteurs peut être menacé, à moins que les agriculteurs les entretiennent volontairement. Ceci se produit certainement pour les souches sauvages de certaines cultures, comme le maïs, mais est peu probable pour les espèces de parents plus éloignés. Ces populations sauvages ne s'accommodent pas facilement à la gestion spécifique des fins de conservation, d'où l'importance des populations sauvages dans les îres protégées désignées (comme la réserve de la biosphère de Sierra de Manantlan au Mexique consacrée à la *Zea diploperennis*, mais également considérée comme une zone de production).

Puisque les agences de conservation sont en train d'assembler les données touchant la menace à laquelle sont confrontées plusieurs flores, il est donc possible d'extraire des informations à grande échelle concernant les espèces liées aux cultures. Par exemple, Brown et Brubaker (2002) ont résumé l'état de la conservation des espèces sauvages de genres de cultures originaires d'Australie. Cette liste a révélé deux caractéristiques de base:

plus de la moitié des taxons soupçonnés d'être menacés étaient classés « trop peu connus » pour pouvoir évaluer leur statut, et seulement environ 20% des cultures apparentées menacées peuvent être confirmées en tant qu'espèce poussant dans une aire protégée. L'amélioration de telles mesures constitue un défi pour la politique de conservation du gouvernement.

Toutefois, on reconnaît que ces listes d'espèces présentes à grande échelle géographique permettent uniquement d'avoir un aperçu sommaire des zones importantes. Elles ne fournissent aucun détail révélant le degré de précarité de telles espèces ou si les aires conservées représentent les espèces d'une manière adéquate ou pas. L'interprétation fiable dépend des informations concernant les plans de gestion et le partage des bénéfices dans le cadre rural (ex : si les pratiques agricoles telles que l'utilisation des herbicides menacent les populations des espèces sauvages apparentées ; si les agriculteurs ont droit aux bienfaits de ces populations). Les indicateurs à grande échelle ne sont en soi ni exactes ni sensibles aux changements. Par ailleurs, les programmes nationaux peuvent améliorer les statistiques en termes de chiffres mais dissimulent encore l'érosion génétique à travers la perte des habitats dans le paysage rural.

Comme pour les espèces domestiquées, l'énumération des populations ainsi que la distribution de leurs tailles constitue un ensemble de données, applicable à petite échelle, plus précis que l'étude de la présence des espèces, et donc plus révélatrice de leurs caractéristiques. Rocha et al. (2002) ont fourni un exemple détaillé se rapportant aux populations sauvages d'haricots de Lima au Costa Rica. Cette approche est applicable aux espèces rares et en voie de disparition comme le prouvent les publications biologiques touchant ces espèces. De telles données peuvent masquer les préoccupations suivantes : quel est le rapport entre la taille d'une plante d'une part et sa persistance vis-à-vis des champs des agriculteurs d'autre part ? Quel est son rapport avec la diversité génétique ? Comment évaluer les tailles minimales, le nombre des populations et la distribution nécessaire ? La combinaison chez des espèces similaires peut être directe mais comment peut-on combiner les nombres et les tailles d'une population de lignées pérennes avec ceux d'une population éphémère ? La dynamique de la banque de semences doit également être surveillée.

Les études continuent à s'intéresser aux espèces sauvages apparentées du point de vue de leur structure génétique et ce en utilisant les méthodes moléculaires les plus récentes, ainsi que des tests de résistance aux maladies et de tolérance au stress environnemental. De telles données peuvent être utilisées afin de déduire l'ampleur de la diversité (la richesse des allèles et l'hétérozygotie) préservée par le biais de plusieurs stratégies ; ou afin de

pouvoir suivre les phénomènes survenant au fil du temps. Sur le plan fondamental, ils révèlent les caractéristiques majeures du système génétique comme la polyploïdie cryptique, les variations du système de reproduction ou l'appauvrissement de l'auto incompatibilité des allèles chez les *Rutidosis leptorrhynchoides* (Young et al. 2000), que la taille des populations seule, ne peut révéler.

Par ailleurs, d'après les systèmes de croisement à auto fertilisation prédominante ou apomixie, les populations semblent varier au niveau de leur polymorphisme. On a découvert récemment que les populations coloniales, largement dispersées, semblent être moins variables que les populations situées au centre d'origine. Dans le cadre du paysage rural, les études génétiques effectuées sur les échantillons d'espèces sauvages apparentées prélevés à partir des champs des agriculteurs seraient plus instructifs comme il en est pour les réactions comparatives aux pressions communes biotiques et abiotiques.

### *Les liaisons entre les actions in situ et ex situ*

Les programmes de la conservation et l'utilisation des ressources génétiques in situ vont probablement inclure des actions ex situ si elles sont résilientes face aux fluctuations et bouleversements dans les champs. Des catastrophes telles que les guerres engendrant la perte de variétés in situ ou des pertes majeures de viabilité endommageant les échantillons dans les banques de gènes, sont des exemples extrêmes illustrant le besoin d'action dans les deux domaines ; d'où le besoin de surveiller les rapports entre les stratégies in situ (dans les fermes) et ex situ (les banques de gènes), pour que les actions soient coordonnées. La question est de connaître la manière selon laquelle les activités vont interférer et les indicateurs nécessaires pour la mesure du degré du progrès permettant de maintenir la diversité.

La complémentarité des échantillons est un niveau accessible. Parmi les populations in situ reconnues menacées, quelles sont celles qui ont des échantillons de réserve dans les collections ex situ ? Il en est de même pour les échantillons, récalcitrants au stockage de graines, de courte viabilité ou ceux dont la reproduction est couteuse. Parmi ces populations, quelles sont celles qui ont des sources in situ sécurisantes ?

Les stratégies communes posent une condition à la collaboration entre les institutions et les communautés agricoles. Ces dernières doivent être développées pour persister. Les mécanismes d'échange d'informations et de technologies, ainsi que les stratégies approuvées d'échange de semence et de partage de bénéfices vont renforcer ces liens.

## Les défis de recherche et les opportunités de développement

Mieux on comprend les facteurs agissant sur la variation *in situ* dans les champs des agriculteurs, meilleure sera notre suivi et notre gestion. La figure 2.1 représente le diagramme des caractéristiques clés d'une démarche visant à lier les efforts de la recherche et du développement. L'accent est mis sur la compréhension et l'utilisation des forces évolutives affectant la diversité dans les fermes. Dans les deux bulles centrales on trouve les facteurs évolutifs agissant *in situ* au niveau de la structure génétiques des populations. On trouve à gauche les facteurs qui sont des processus de population structuraux et non sélectifs (ex : taille et fluctuation de la population, migration, système de croisement et recombinaison) agissant au niveau de tout le génome. On retrouve à droite les facteurs sélectifs (incluant les facteurs environnementaux et les choix des agriculteurs) liés au rôle du gène. Dans une certaine mesure la division est arbitraire étant

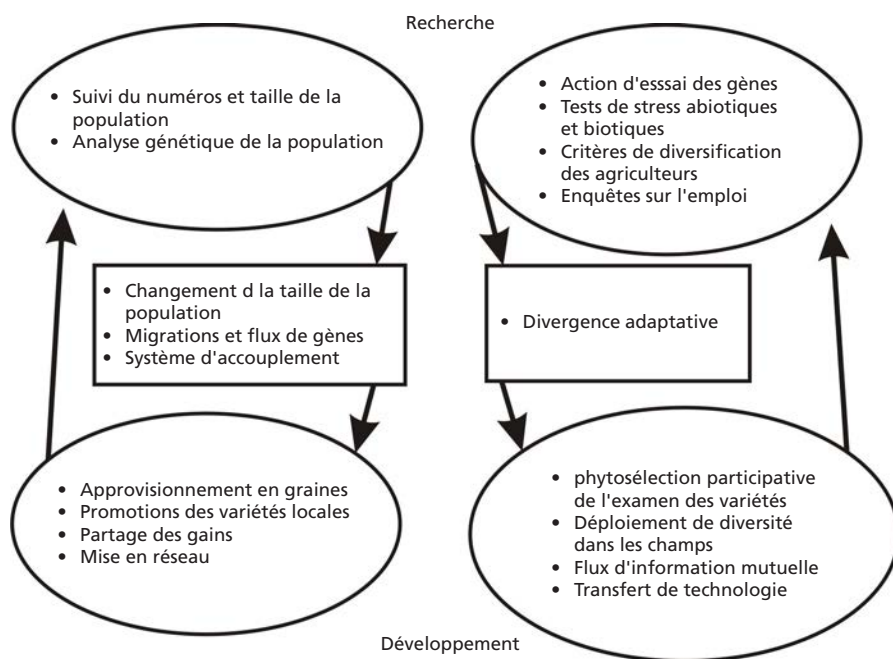


FIGURE 2.1. Recherche et possibilités de développement par rapport aux processus génétiques de populations. Recherche concernant les ménages (*en haut à gauche et à droite*) et les options de gestion et d'action pour le développement (*en bas à gauche et à droite*) qui ciblent les deux groupes de forces qui influent sur la diversité à la ferme.

donné que la sélection (principal agent de l'évolution adaptative) agit à travers la survie différentielle, la reproduction et la recombinaison. Toutefois, la séparation sert à organiser les options et les opportunités de recherche et de gestion, ainsi qu'à mettre en évidence les relations qui les lient. Les axes de recherche sont cités dans les deux bulles en haut et divisés selon les forces actives et les variations génétiques qu'ils élicitent. Pour les forces de population situées dans la moitié gauche du diagramme, la recherche fournit des données à propos du nombre des populations et les fréquences alléliques des marqueurs de gènes. Les actions de développement connexes sont montrées dans la bulle du bas (ex : les systèmes d'approvisionnement en semence, les schémas de promotion des variétés locales). Ceux sont des stratégies visant à faire face aux changements indésirables au niveau du nombre de populations ainsi qu'au niveau du flux de gènes et on peut mettre l'expérience de recherche et les actions menées au profit des recherches futures.

La moitié droite du diagramme insiste sur la divergence adaptative et la diversité fonctionnelle des variétés locales. Les stratégies de recherche incluent l'analyse des actions des gènes en microarray, les tests permettant d'observer la réaction du plasma germinatif face au stress biotique et abiotique, et l'enquête portant sur les critères de sélection de l'agriculteur en rapport avec la diversité. Les actions de développement, qui promouvaient la diversité et qui sont adéquates dans ce cas particulier, consistent à examiner les variétés d'une manière participative, reproduire les plantes, améliorer l'utilisation de la diversité dans les champs, le flux des informations et des technologies afin d'améliorer le choix de l'agriculteur.

La séparation entre les deux types de forces et les activités annexes est difficile à établir à cause de l'abondance des interactions et des liens. A titre d'exemple, les meilleurs schémas participatifs de reproduction abordent des problématiques touchant la promotion des variétés locales, le partage des bénéfices, l'approvisionnement en semence et la distribution de leur production (ex : l'adoption du cultivar de riz Kalinga 3 au nord ouest de l'Inde, analysé par Witcombe et al. 1999). Néanmoins, quand on considère la manière avec laquelle ces actions vont affecter la diversité, il serait utile de les classer en se basant sur leur répercussion principale : soit sur la diversité de tout le génome à travers la structure des populations, soit sur des gènes spécifique par le biais des régimes de sélection.

Comment pourrait l'action de développement guider les recherches futures ? À titre d'exemple, on peut citer le problème de l'effet du BPP sur la diversité dans les fermes. Savoir si le BPP engendre une hausse ou une baisse de la diversité est une question importante dont la réponse est dif-

ficile à cause du manque de données disponibles. Les résultats précédents concernant les cultivars de riz au Népal (Sthapit et Joshi 1998) révèlent une hausse rapide et encourageante du nombre des variétés locales, pour les agriculteurs dans les hautes terres marginales, résultant du BPP. Cependant, la généralisation de ce résultat tout comme les effets indirects sur la biodiversité agricole locale et sa gestion exige des recherches.

La multitude d'utilisations est un facteur clé reconnu qui augmente la probabilité de conservation des diverses variétés locales. Plusieurs exemples impliquent le sorgho en Ethiopie (Teshome et al. 1999) et le maïs dans l'Amérique latine (Taba 1997) (tableau 2.5). Par conséquent, la diversité des utilisations constitue un sujet phare pour la recherche et la documentation. De telles informations fournissent une référence de savoir indigène permettant de renforcer les diversifiant régimes de sélection par la promotion de la sélection pour différents usages. Cela pourrait être la base des études génétiques moléculaires portant sur la diversité des caractères liés à l'usage.

## Conclusion

La diversité génétique mérite une attention particulière dans la gestion de la biodiversité agricole puisque c'est la ressource principale que nous cherchons à ménager. Mesurer l'érosion génétique dans un cadre agricole représente un défi à cause de son aspect complexe. Malgré ce fait, nous devons savoir si l'érosion génétique est en phase de décélération ou d'accélération.

La diversité génétique est importante de deux points de vue : les aspects structurels de la population, qui se reflètent lors de l'observation des gènes marqueurs et qui révèle l'état présumé, actuel et antérieur du système ; ainsi que l'aspect fonctionnel, fournissant l'adaptation actuelle face à la diversité environnementale et aux conditions extrêmes, et les variations brutes répondant aux besoins futurs.

On ne peut pas percevoir la diversité génétique en tant qu'entité amorphe et indifférenciée pour laquelle il suffit d'avoir une certaine quantité. Nous devons identifier les changements cruciaux. Comment ceux concernés par la conservation au niveau des fermes gèrent-ils le changement, et quel genre d'indicateur serait le mieux adapté à différencier les changements de taille (érosion ou perte) de ceux qui représentent seulement un aspect de tout système agricole dynamique ? Les indicateurs pour le suivi de la gestion de la diversité génétique doivent traquer à la fois la structure génétique des populations et la diversité fonctionnelle.

Les approches holistiques de la conservation de la biodiversité agricole et du développement soulignent, à juste titre, une vision de l'écosystème assez globale pour inclure l'amélioration des conditions au sein de la communauté humaine. Ces approches sont prises en compte pour l'érosion génétique et la mise en danger des espèces en général. Cependant, ils prennent le risque de présumer que le développement de l'écosystème agricole d'une manière plus durable comblera automatiquement la perte au niveau de la diversité génétique et protégera les espèces peu exploitées. En effet, plusieurs chercheurs se posent la question : pourquoi faut-il suivre la diversité génétique en premier lieu ? Cette question est particulièrement pertinente contenu de la montée en puissance de la capacité de la technologie moléculaire moderne à révéler notre héritage génétique dans ses moindres détails.

Ce chapitre avait pour but de clarifier le processus de la conservation de la diversité génétique des plantes et présente la manière avec laquelle nous pourrions observer le progrès permettant de mieux fructifier la conservation. Les stratégies doivent s'appliquer aux espèces cultivées aussi bien qu'aux espèces sauvages se développant dans l'écosystème. Dans plusieurs cas, les espèces sauvages nécessitant une attention particulière sont des parents évolutionnaires des espèces cultivées. Il existe de plus en plus d'estimations de la diversité génétique de points de vue variations selon les fermes et changements au fil du temps auxquels il faut faire face. Des indicateurs cruciaux peuvent être facilement submergés. La nature de la divergence des populations est une caractéristique clé englobant les problèmes allant de la reconnaissance et la dénomination des variétés locales ; et cela jusqu'aux critères de sélection des agriculteurs.

## Remerciements

Ce travail est le fruit du projet mondial « Le renforcement de la base scientifique de la conservation in situ de la biodiversité agricole dans les fermes » conduit par IPGRI. Les auteurs voudraient remercier les gouvernements de la Suisse (L'Agence Suisse pour Le Développement et la Coopération), des Pays-Bas (la Direction Générale des Coopérations Internationales), d'Allemagne (Bundesministerium fur Wirtschaftliche Zusammenarbeit, Deutsche Gesellschaft fur Technische Zusammenarbeit), du Canada (Le Centre International de Recherche pour le développement), du Japon (l'Agence Japonaise pour la Coopération Internationale), ainsi que ceux de l'Espagne et du Pérou pour leur soutien financier.

## Bibliographie

- Aharoni, A. and O. Vorst. 2001. DNA microarrays for functional plant genomics. *Plant Molecular Biology* 48:99–118.
- Brown, A. H. D. and C. L. Brubaker. 2000. Genetics and the conservation and use of Australian wild relatives of crops. *Australian Journal of Botany* 48:297–303.
- Brown, A. H. D. and C. L. Brubaker. 2002. Indicators for sustainable management of plant genetic resources: How well are we doing? En J. M. M. Engels, V. Ramanatha Rao, A. H. D. Brown, y M. T. Jackson, eds., *Managing Plant Genetic Diversity*, 249–262. Wallingford, UK: CAB International.
- Bryan, G. J., P. Stephenson, A. Collins, J. Kirby, J. B. Smith, and M. D. Gale. 1999. Low levels of DNA sequence variation among adapted genotype of hexaploide wheat. *Theoretical and Applied Genetics* 99:192–198.
- Charlesworth, D. and J. R. Pannell. 2001. Mating systems and population genetics structure in the light of coalescent theory. En J. Silverton and J. Antonovics, eds., *Integrating Ecology and Evolution in a Spatial Context*, 73–95. Oxford, UK: Blackwell.
- Clegg, M. T. 1997. Plant genetic diversity and the struggle to measure selection. *Journal of Heredity* 88:1–7.
- Crow, J. F. and M. Kimura. 1970. *An Introduction to Population Genetics Theory*. New York: Harper & Row.
- Frankel, O. H., A. H. D. Brown, y J. J. Burdon. 1995. *The Conservation of Plant Biodiversity*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Gillespie, J. H. 1998. *Population Genetics: A Concise Guide*. Baltimore: Johns Hopkins University Press.
- Guarino, L., A. Jarvis, R. J. Hijmans, and N. Maxted. 2002. Geographic information systems (GIS) and the conservation and use of plant genetic resources. En J. M. M. Engels, V. R. Rao, A. H. D. Brown, and M. T. Jackson, eds., *Managing Plant Genetic Diversity*, 387–404. Wallingford, UK: CAB International.
- Hamrick, J. L. and M. J. W. Godt. 1997. Allozyme diversity in cultivated crops. *Crop Science* 37:26–30.
- Jarvis, D. I. and T. Hodgkin. 1999. Wild relatives and crop cultivars: Detecting natural introgression and farmer selection of new genetic combinations in agroecosystems. *Molecular Ecology* 8:S159–173.
- Jarvis, D. I., L. Myer, H. Klemick, L. Guarino, M. Smale, A. H. D. Brown, M. Sadiki, B. Sthapit, and T. Hodgkin. 2000. *A Training Guide for In situ Conservation On-Farm*. Rome: IPGRI.
- Lin, J. Z., P. L. Morrell, and M. T. Clegg. 2002. The influence of linkage and inbreeding on patterns of nucleotide sequence diversity at duplicate alcohol dehydrogenase loci in wild barley (*Hordeum vulgare ssp. spontaneum*). *Genetics* 162:2007–2015.



- Peacock, J. and A. Chaudhury. 2002. The impact of gene technologies on the use of genetic resources. En J. M. M. Engels, V. R. Rao, A. H. D. Brown, and M. T. Jackson, eds., *Managing Plant Genetic Diversity*, 33–42. Wallingford, UK: CAB International.
- Rafalski, J. A. 2002. Novel genetic mapping tools in plants: SNPS and LD- based approaches. *Plant Science* 162:329–333.
- Rocha, O. J., J. Degreef, D. Barrantes, E. Castro, G. Macaya, and L. Guarino. 2002. Metapopulation dynamics of lima bean (*Phaseolus lunatus* L.) in the central valley of Costa Rica. En J. M. M. Engels, V. R. Rao, A. H. D. Brown, and M. T. Jackson, eds., *Managing Plant Genetic Diversity*, 205–215. Wallingford, UK: CAB International.
- Sthapit, B. R. and K. D. Joshi. 1998. Participatory plant breeding for in situ conservation of crop genetic resources: A case study of high altitude rice in Nepal. En T. Partap y B. Sthapit, eds., *Managing Agrobiodiversity*, 311–328. Katmandú, Nepal: International Centre for Integrated Mountain Development.
- Taba, S. 1997. Maize. En D. Fuccillo, L. Sears, y P. Stapleton, eds., *Biodiversity in Trust*, 213–226. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Tenaillon, M. I., M. C. Sawkins, A. D. Kong, R. L. Gaut, J. F. Doebley, y B. S. Gaut. 2001. Patterns of DNA sequence polymorphism along chromosome 1 of maize (*Zea mays ssp. mays* L.). *Proceedings of the National Academy of Science USA* 98:9161–9166.
- Teshome, A., A. H. D. Brown, y T. Hodgkin. 2001. Diversity in landraces of cereal and legume crops. *Plant Breeding Reviews* 21:221–261.
- Teshome, A., L. Fahrig, J. K. Torrance, J. D. Lambert, J. T. Arnason, and B. R. Baum. 1999. Maintenance of sorghum (*Sorghum bicolor*, Poaceae) landrace diversity by farmers' selection in Ethiopia. *Economic Botany* 53:69–78.
- Weltzien, E. and G. Fischbeck. 1990. Performance and variability of local barley landraces in Near- Eastern environments. *Plant Breeding* 104:58–67.
- Witcombe, J. R., R. Petre, S. Jones, and A. Joshi. 1999. Farmer participatory crop improvement. IV. The spread and impact of a rice variety identified by participatory varietal selection. *Experimental Agriculture* 35:471–487.
- Young, A. G., A. H. D. Brown, B. G. Murray, P. H. Thrall, and C. H. Miller. 2000. Genetic erosion, restricted mating and reduced viability in fragmented populations of the endangered grassland herb *Rutidosis leptorrhynchoides*. En A. G. Young y G. M. Clarke, eds., *Genetics, Demography and Viability of Fragmented Populations*, 334–359. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Zhu, Y. L., Q. J. Song, D. L. Hyten, C. P. VanTassel, L. K. Matukumalli, D. R. Grimm, S. M. Hyatt, E. W. Fickus, N. D. Young, and P. B. Cregan. 2003. Single- nucleotide polymorphisms in soybean. *Genetics* 163:1123–1134.

## Un point d'entrée à la diversité génétique des cultures et à la distribution dans les écosystèmes agricoles

M. SADIKI, D. JARVIS, D. RIJAL, J. BAJRACHARYA, N. N. HUE, T. C. CAMACHO-VILLA, L. A. BURGOS-MAY, M. SAWADOGO, D. BALMA, D. LOPE, L. ARIAS, I. MAR, D. KARAMURA, D. WILLIAMS, J. L. CHAVEZ-SERVIA, B. STHAPIT and V. R. RAO

Les noms que les agriculteurs donnent à leurs variétés traditionnelles ou indigènes sont essentiels à leur existence même et à leur exploitation. Harlan (1975) explique comment les variétés locales sont reconnaissables à leur morphologie, comment les agriculteurs leur ont attribué des noms et comment les variétés indigènes sont connues en termes d'adaptation au type de sol, de période de semailles, de date de maturation, de hauteur, de valeur nutritive, d'utilisation, etc. Plusieurs études ont mis en exergue la manière dont les agriculteurs reconnaissent et nomment les variétés qu'ils plantent selon leurs caractéristiques agro-morphologiques, éco-adaptatives, qualitatives ainsi qu'à leur utilisation (Boster 1985; Quiros et al. 1990; Bellon et Brush 1994; Teshome et al. 1997; Schneider 1999; Soleri et Cleveland 2001). Pourtant, face à cette abondance littéraire sur la façon dont les agriculteurs nomment leurs variétés, il y a eu peu d'études systématiques sur la cohérence entre les agriculteurs au sein des villages et entre les communautés concernant les noms et les traits descriptifs qu'ils attribuent aux plantes cultivées. Encore moins d'attention a été accordée afin de savoir si les éléments de la diversité que les agriculteurs cultivent ont des appellations spécifiques bien déterminées pouvant être comparées (Jarvis et al. 2000).

Ce n'est que récemment que des études ont cherché à savoir si les noms des variétés locales peuvent effectivement être utilisés comme base permettant d'estimer la diversité des plantes locales cultivées dans les fermes. En outre, une autre question est de définir si les variétés nommées sont des unités identifiables de la diversité gérée par les agriculteurs. Afin d'assurer la disponibilité d'une diversité utile, il faut savoir si ces unités de diversité

identifiées sont génétiquement distinctes et si elles forment des populations génétiquement identifiables au niveau agro-morphologique, biochimique ou moléculaire. Si les variétés auxquelles les agriculteurs ont attribué des noms ne sont pas génétiquement distinctes, alors l'utilité des noms en tant que moyen d'identifier et de quantifier la diversité des écosystèmes agricoles est limitée. En revanche, si ces variétés sont génétiquement distinctes, alors l'échantillonnage structuré basé sur les noms peut être utilisé pour évaluer le taux de la diversité dans les fermes, et des relations génétiques pourront être établies entre les variétés.

De plus, des informations sur le caractère distinctif des variétés portant des noms similaires favoriseraient la préservation et l'utilisation de cette diversité, car cette dernière pourrait être perdue si elles sont écartées à cause de la similarité de leurs noms. La répartition des noms de variétés à l'intérieur et entre les communautés et les régions fournit des données brutes pour estimer la richesse et la régularité de la diversité dans le paysage agricole.

Les niveaux de diversité peuvent varier considérablement d'une variété indigène à une autre. Identifier les variétés et les caractères, rares ou communs dans une population donnée ou un paysage, aide à comprendre la distribution de la diversité à travers les paysages agricoles. La compréhension des agriculteurs et leurs convictions concernant les espaces de production qu'ils gèrent influencent la structuration de la diversité. Si la diversité est la solution permettant aux agriculteurs de subvenir à leurs besoins agricoles, l'identification des zones de forte diversité est donc importante. Il s'agira notamment de déterminer les domaines où les variétés de cultures indigènes sont capables d'adaptation aux paramètres environnementaux particuliers. C'est dans ces domaines que la diversité joue un rôle dans l'utilisation durable de l'agriculture.

Dans le chapitre 2, Brown et Hodgkin ont discuté les avancées moléculaires récentes pour quantifier le taux de la diversité dans les fermes. Ce chapitre présente des études empiriques récentes dans les champs des agriculteurs et des évaluations en laboratoire sur la distinction génétique, la cohérence et la distribution des variétés de cultures indigènes maintenues dans les fermes.

## Les noms en tant qu'indicateurs de diversité

Il existe beaucoup de caractéristiques phénotypiques des plantes que les agriculteurs utilisent pour identifier et sélectionner leurs variétés. Ces cri-

tères agro-morphologiques peuvent prendre plusieurs formes et sont généralement liés au phénotype d'une culture. Ils sont utilisés par les agriculteurs pour déterminer et nommer les variétés et sont souvent à la base des choix des agriculteurs concernant les graines à planter. Dans l'évaluation de la diversité des cultures maintenues dans les ferme, il serait important de déterminer les noms que les agriculteurs attribuent à leurs variétés à partir des caractères agro-morphologiques qu'ils utilisent afin d'identifier, choisir, évaluer et enfin sélectionner des graines ou des propagules pour la prochaine génération. Un agriculteur, par exemple, peut identifier une variété dénommée de maïs par sa couleur, la forme de ses feuilles, sa région d'origine, l'évaluer en termes de qualité culinaire, puis la sélectionner dans la descendance des graines à type pures. Les travaux sur le taro (tableau 3.1) montrent comment la signification littérale des noms peut différer des descripteurs utilisés par les agriculteurs pour décrire leurs variétés de taro nommé (*Colocasia esculenta*) dans Le Begnas, au Népal. L'enquête auprès des ménage a révélé que les agriculteurs ont utilisé au moins 15 descripteurs clés pour distinguer les variétés de taro.

En Hongrie, Mar et Holly (2000) ont signalé que les noms des variétés indigènes d'haricots attribués par les agriculteurs, ont été corrélés à une partie des cultures à caractère agromorphologique, en particulier la couleur des graines (par exemple, *fehérbab* = *haricots blancs*, *feketebab* = *haricots noirs*, *barnabab* = *haricots brun*), et dans plusieurs cas visés à l'utilisation traditionnelle de ces variétés indigènes (*menyecskebab* = *jeune épouse haricot*). Afin de comprendre comment les agriculteurs nomment et gèrent les variétés de maïs, des études menées dans le Yucatan au Mexique ont montré que le cycle de croissance était le caractère principal pour distinguer les variétés, suivi par la forme, la couleur de la rafle et la graine. Les traits essentiels utilisés pour distinguer les populations au sein des variétés nommés ont été sous la forme de la glume, la hauteur des plantes, et la taille des graines. La forme de la glume est hautement classée comme un trait distinctif car elle protège la graine contre les parasites pendant le stockage. L'insuffisance de la cosse autour des épis a limité l'importance de l'admission des variétés améliorées dans la région (tableau 3.2; Arias et al. 2000; Chavez-Serbie et al. 2000; 2004 Arias; Burgos-May et al. 2004; Latournerie Moreno et al. 2005).

En Ouganda, les agriculteurs donnent des noms aux cultivars de bananier en utilisant des caractères exprimés dans leur localité importants pour eux-mêmes et les consommateurs. Karamura (2004) a classifié les clones de bananiers des hauts plateaux en grappes de cinq ayant les mêmes propriétés, en utilisant des caractéristiques importantes pour les agriculteurs

Tableau 3.1. Description des cultivars de taro nommés par des agriculteurs (*Colocasia esculenta*), Begnas, Népal.

Nom local	Nom botanique	Sens littéral de la description des agriculteurs	Distinction des caractères morphologiques
<i>Bhaisi khutte</i>	Var. <i>esculenta</i>	Des cornes multiples comme les empreintes de pas du Buffle, annuelle, corne non ramifié, de nombreux bourgeons, tubercules latéraux peu; feuilles en forme de coupe; morphotype similaire aux <i>hattipow</i> , <i>panchamukhe Seto</i> , <i>panchamukhe</i>	Corne multiple et plate, sénescence des feuilles lente et tardive, bourgeons blancs.
<i>Chhatre</i>	Var. <i>antiquorum</i>	Feuille en forme de parapluie, longues et de couleur verte; bourgeon rouge avec un bulbe rond.	Cornes en halères avec bourgeon rose, peau rose et tubercules latéraux coniques.
<i>Chhaure</i>	<i>C. esculenta</i>	Plusieurs tubercules latéraux comme des coquelicots.	Tubercules latéraux longs avec un bulbe autour du bourgeon rouge.
<i>Dhudhe karkalo</i>	<i>C. esculenta</i>	Pétiole blanc lacté, bourgeon et sève colorés, plante épaisse; pas de corne, mais le système racinaire est abondant; feuilles rondes adaptées aux jardins.	Corne multiple, pas de tubercules latéraux, bulbe cylindrique et en forme de coupe.
<i>Gante</i>	<i>C. esculenta</i>	Pétiole noir et court, corne de branchement, petits tubercules latéraux larges; bourgeon, pétiole et gaine rouges, petits cornes ronds.	Bulbe en forme d'halère avec des cornes ronds.
<i>Hattipow</i>	Var. <i>esculenta</i>	Corne en forme de pied d'éléphant, plante haute et épaisse, feuilles larges et blanches; multi-cornes grands avec de bourgeons déprimés, pétiole vert clair; feuilles dures ( <i>jerro</i> ); tubercules latéraux peu; conçu pour des terrains ouverts	Corne multiple et plate, la sénescence des feuilles est tardive et lente avec un bourgeon blanc.

<i>Kaat</i>	Var. <i>esculenta</i>	Cuisson facile selon le dialecte <i>Gurung</i> ; des feuilles douces et rondes, qualité excellente pour la cuisine, similaire à <i>panchamukhe Rato</i>	Bourgeons rouges et nombreux.
<i>Khari chhoto</i>	C. <i>esculenta</i>	Corme court; pétiole rose, corme long, semblable à <i>thagne Khari, thangue, Khari pindalu</i>	Cormes cultivés debout; taro couvert par une gaine plumeuse.
<i>Khari pindalu</i>	C. <i>esculenta</i>	Bulbe cylindrique	
<i>Khujure</i>	Var. <i>antiquorum</i>	Cormes multiples, avec de nombreux tubercules latéraux, causant des démangeaisons; tubercules latéraux avec de nombreux bourgeons blancs, pétiole blanc; jonction du pétiole pourpre sombre; feuilles pourpres et rondes.	Corme et tubercules latéraux ronds avec bourgeons blancs; bulbes acré.
<i>Khujure kalo</i>	Var. <i>antiquorum</i>	Tubercules noirs et multiples, pétiole noir, nombreux cormes et tubercules latéraux comestibles; bourgeon blanc, pétiole violet ( <i>Kalo</i> ); feuille longue.	Corme ramifié, rond avec bourgeon blanc.
<i>Khujure seto</i>	Var. <i>antiquorum</i>	Multiples tubercules latéraux blancs; pétiole noir, cormes et tubercules latéraux causant des démangeaisons, beaucoup de pétioles noirs, feuille à bord violet.	Corme ramifié et tubercules latéraux ronds et très petits avec des bourgeons blancs.

Tableau 3.1., suite à la page suivante

Tableau 3-1, suite

Nom local	Nom botanique	Sens littéral de la description des agriculteurs	Distinction des caractères morphologiques
<i>Panchamukbe</i>	Var. <i>esculenta</i>	Bulbe blanc à cinq faces, plantes hautes et épaisses, larges feuilles blanchâtres ressemblant <i>hattipow</i> ; de nombreux bourgeons enfoncés, la taille du bourgeon est grande; feuilles rugueuses ( <i>Jarro</i> ) avec grande plante; grosse veine	Multi-bulbe Plat, sans tubercules latéraux; bourgeon blanc, sénescence tardive et lente.
<i>Panchamukbe seto</i>	Var. <i>esculenta</i>	Corne blanc à cinq faces, feuilles larges et blanchâtres; plantes hautes et épaisses, de types multi cornes ; des bourgeons blancs, pétiole vert clair; semblable à <i>panchamukbe</i> , <i>bhaishi khutte</i> , <i>hattipow</i>	Corne en grappe sans tubercules latéraux; bourgeon blanc; sénescence lente et tardive.
<i>Rato or raate</i>	Var. <i>antiquorum</i>	Pétiole rouge-violet.	Racines séminales rouges avec bourgeons blancs, pédoncule réduits à la jonction du pétiole.
<i>Rato mukbe</i>	Var. <i>antiquorum</i>	Corne rouge, grands bourgeons ronds avec de larges cornes et tubercules latéraux.	Base de pétiole rose; feuille du pédoncule freinée, feuille épaisse; racines rouges.
<i>Rato thado</i>	Var. <i>antiquorum</i>	Corne rouge cultivé en verticale; bourgeons blancs; grande plante.	Point pourpre à la face dorsale de la jonction du pétiole, croissance verticale du corne.
<i>Satmukbe</i>	Var. <i>esculenta</i>	Corne à sept-faces; morphotypes similaires à <i>chhoto Khari</i> , <i>mukbe thado</i> , <i>thagne</i> .	Multi-corme couvert par une substance comme la plume ( <i>bbutla</i> ).
<i>Thado</i>	Var. <i>esculenta</i>	Croissance verticale de la corne.	Corne cylindrique, non ramifié.
<i>Thagne khari</i>	Var. <i>esculenta</i>	Vieilles apparences, tissus plumeux recouvrant les cornes ( <i>thagne</i> ).	Pointe pourpre à la jonction du pétiole, tubercules latéraux grands.

Sources: Rijal et al. (2003); focus group discussions, Begnas, 2001.

Tableau 3.2. Caractères utilisés au Mexique par les agriculteurs pour distinguer les variétés de maïs à Yaxcaba, Yucatan.

Variétés* Nommées par les agriculteurs	Oreillette			Épi (moelle)			Noyau			Tige		Cycle
	Taille	Forme	Couleur	Glume	Taille	Couleur courbe	Couleur	Forme	Hauteur	Épaisseur	Couleur	
<i>Xnuk nal</i> <i>Kannal*</i>	Large	Longue	Colorée	Épaisse colorée	Épaisse Longue, fine	Coloré	Jaune		longue	Épaisse	Pourpre	3-5-4-5
<i>Xnuk nal</i> <i>saknal</i>	Large	Épaisse	Colorée	Épaisse Longue	Épaisse, fine	Coloré	Blanc	Large	Longue	Épaisse		3-5-4-4
<i>Xhe ub*</i>	Large	Colorée	Colorée	Plusieurs feuilles	Épaisse, fine	Coloré	Épaisse, noir	Pourpre, Large, petite	Longue			2-5-3-5
<i>X-mejen</i> <i>Kannal*</i>	Petite	Ronde	Colorée	Épaisse	Petite		Jaune	Petite	Courte, Longue			2-2-5
<i>X-mejen</i> <i>nal,</i> <i>saknal*</i>	Petite, Régulière		Colorée	Épaisse	Petite Coloré		Blanc	Large	Longue Courte			2-3
<i>X-tup nal</i>	Petite, avec pointe		Colorée	Épaisse, avec plusieurs feuilles	Épaisse			Petite	Courte			2-2-5
<i>Ts'itit bakal</i>	Petite, large			Fine et pointue	Fine, longue				Longue			3-3-5
<i>Nal xoy</i>	Large		Colorée	Epine épaisse	Épaisse		Petite		Longue			3-3-5

Source: Morales- Valderrama and Quinones- Vega (2000), données analysées par Claudia Eyzaguirre, 2002.

\**kannal* = jaune; *saknal* = blanc; *xhe ub* = pourpre.



et les consommateurs. Par exemple, les clones de dragons en une seule grappe aspirant à profusion, mûrissent rapidement, et produisent une texture alimentaire douce, alors que dans une autre grappe les clones sont lents dans la production de dragons, prennent beaucoup de temps pour mûrir et produisent des bananes de texture dure. Ces caractères utilisés, en particulier ceux qui sont exprimés dans leur localité, sont conforme dans une large mesure, mais pas complètement. Ils sont aussi importants aux agriculteurs qu'aux consommateurs. Basée sur une expérience à long terme, la sélection de caractères similaires pourrait avoir été pratiquée au cours des générations.

**Tableau 3.3.** Comparaison de certains caractères utilisés par les agriculteurs pour faire la distinction entre et à travers les variétés de fève au Maroc et de maïs à le Yucatan, Mexique

	Morphologie			Cycle de croissance	Adaptation	Utilisation				
	Forme de la gousse, longueur, et forme (FB)	Couleur de la graine	Taille de la graine	Forme de la feuille	Épaisseur de la glume	Temps de récolte	Résistance à la sécheresse	Résistance au soleil	Capacité ou facilité de cuisson	Facilité d'enlèvement des graines de l'épi
<i>Fève</i>										
Distinction entre les variétés	X	X	X							
Distinction au sein des variétés (Entre lots de graines)				X		X	X		X	
<i>Maïs</i>										
Distinction entre les variétés	X	X	X			X				
Distinction au sein des variétés (Entrelots de graines)				X	X		X	X		X

Sources: Arias et al. (2000); Sadiki et al. (2001); Morales- Valderrama and Quiñones- Vega (2000)

Les études sur le maïs au Mexique et la fève au Maroc montrent que les agriculteurs peuvent mettre des caractères en évidence pour distinguer les populations à travers des variétés qui sont différentes des caractères utilisés pour les distinguer.

Les caractéristiques morphologiques du maïs et de la fève sont importantes pour la distinction entre les variétés, tandis que d'adaptation et l'utilisation des traits sont plus communément utilisées pour distinguer les populations de race unique (Tableau 3.3; voir aussi Cazarez-Sanchez 2004 et Cazarez-Sanchez et Duch Gary-2004 pour les qualités nutritionnelles et physiques des variétés locales du maïs et leur association avec des plats spécifiques). Ce qui est intéressant, c'est l'importance apportée à la précocité --ou la période de la récolte-- pour distinguer les variétés de maïs au Yucatan, où le raccourcissement du cycle de croissance est fondamental pour éviter les périodes de sécheresse. Au Maroc, en revanche, le cycle est seulement utilisé pour distinguer les populations à partir d'une variété.

Le nom qu'un agriculteur donne à un cultivar pourrait bien être le même nom que d'autres agriculteurs, dans le village, donnent au même cultivar. Cependant, comme les échelles spatiales augmentent, ces noms ne peuvent plus être compatibles avec ceux du village à proximité. Des preuves en Éthiopie ont révélé des noms différents pour le même cultivar, mettant l'accent sur des qualités différentes par de différents agriculteurs ou communautés. Un exemple se ramène sur le blé dur en Éthiopie: dans certains villages une variété est dite « *blanche* », tandis que dans d'autres la même variété est appelée « *précoce* » (Tanto 2001). Tesfaye et Ludders (2003) ont trouvé des preuves similaires en Éthiopie pour l'ensète, une culture à propagation clonale, pour lesquels les races primitives ont pris quelques noms distincts à différents endroits. Même au sein d'un village, des agriculteurs divers peuvent avoir les mêmes variétés de cultures avec des noms différents.

Sawadogo et al. (2005) ont mesuré la cohérence de la dénomination des agriculteurs aux variétés de sorgho dans des sites au Burkina Faso (tableau 3.4). Les noms de variétés sont liés à la morphologie des plantes (taille, forme, couleur, taille des graines, comportement de la couleur et ouverture des glumes pour les céréales), au comportement agronomique (cycle de croissance, dates de floraison), à l'adaptation à l'environnement (tolérance à la sécheresse, résistance aux ravageurs, aux maladies et aux oiseaux, adaptation du sol), et à leur utilisation (consommés fraîchement cueillis, cuisine de qualité, goût). Certaines différences des noms de variétés dans le même village ou communauté reflètent des différences dans les langues utilisées pour les nommer.

**Tableau 3.4.** Cohérence des noms de la variété de sorgho des agriculteurs indigènes au Burkina Faso

La majorité des Nom communs donnés à la variété	La variété que les agriculteurs reconnaissent sous le nom commun dans le site où elle est largement cultivée (%)		Autres noms donnés à la variété par les agriculteurs dans un ou deux sites (%)		
	Site Thiougou (6 villages)	Site Tougouri (6 villages)	Nom 2	Nom 3	Nom 4
<i>Kurbuli</i>	100	5.55	0	0	0
<i>Zugilga</i>	0	100	33.34	0	0
<i>Zuwoko</i>	72.22	0	77.8	27.77	22.22
<i>Fibmiugu</i>	83.40	0	77.8	22.22	16.66
<i>Z. fibsablega</i>	100	16.70	83.4	0	0
<i>Gambré</i>	100	0	0	0	0
<i>Z. wabugu</i>	0	94.44	100	5.55	0
<i>Balingpelga</i>	0	100	100	0	0
<i>Pokmiugu</i>	5.55	77.80	94.44	22.22	0
<i>Pisyobe</i>	0	50.00	27.77	22.22	0
<i>Zuzeda</i>	0	72.22	27.77	22.22	0

Source: Sawadogo et al. (2005).

Par exemple, la variété pokmiugu de Thiougou est *fibmiugu* en Tougouri. *Pok* est *fiba* et signifie «glume» en Mooré ; *fibmiugu* est alors *pokmiugu*. Certaines variétés telles que (*kurbuli* et *gambré*) ne sont connues que dans un seul site, tandis que les variétés *zuwoko* et *fibmiugu* ont été trouvées et utilisées dans un autre, mais connues par les agriculteurs ailleurs par trois noms différents (*pokmiugu*, *banigpelega*, *fibmiugu*).

### Caractères agronomiques en tant qu'indicateur de diversité

Le niveau sur lequel la diversité génétique des cultures à la ferme est évaluée fournira des informations différentes sur la quantité et le type de la diversité maintenue. L'inventaire du nombre des variétés nommées pour évaluer leur richesse sur des échelles spatiales et temporelles spécifiées ont été utilisés pour donner une indication de la diversité maintenue à la ferme pour de nombreuses cultures importantes, y compris les pommes de terre

(Quiros et al. 1990; Brush et al. 1995; Zimmerer 2003), le maïs (Bellon et Taylor, 1993; Bellon et Brush, 1994; Louette et al. 1997), les haricots (Martin et Adams, 1987; Voss 1992), le manioc (Boster 1985), et le sorgho (Teshome et al. 1997; voir aussi chapitre 2). Mais la question demeure de savoir si l'utilisation des noms locaux des variétés de cultures estime correctement la diversité variétale des cultures indigènes, car les agriculteurs ne peuvent pas être précis dans leur nomination et description des variétés végétales indigènes (Jarvis et al. 2004).

Au nord du Maroc, Sadiki et al. (2001, 2002) ont montré que les agriculteurs des différents villages utilisent des noms différents pour désigner les variétés de fève décrites par le même ensemble de graines et les caractéristiques de l'écorce. Ces noms et descriptions ont été rassemblés avec des échantillons de graines de 185 fermes choisies au hasard dans 15 villages appartenant à cinq communautés de trois provinces. Les agriculteurs ont été invités à donner la liste des noms et à décrire les types de variétés indigènes de fève qu'ils connaissent et cultivent. Les caractéristiques de chaque cultivar ont été répertoriées avec des caractères distinctifs selon la déclaration de chaque agriculteur. Pour les nommer, la cohérence chez les agriculteurs a été évaluée par le pourcentage d'agriculteurs en reconnaissant le cultivar par le même nom et description. Le tableau 3.5 montre que certains cultivars ont des noms différents, tels que *Sbai Lahmar*, *foul roumi*, et *Lakbir Lahmar*, mais sont décrits par les agriculteurs avec les mêmes caractères. Dans d'autres cas, des variétés de cultivars, telles que *moutouassate labiade*, sont décrits différemment par de différents agriculteurs.

Enfin, d'autres cas ont été trouvés, dans lesquels des noms particuliers n'ont pas été attribués aux variétés. Ils ont été désignés par un nom générique *beldi*, bien que les agriculteurs ont été en mesure de distinguer les différentes unités au sein de cette catégorie sans donner de noms précis. La cohérence dans les noms des cultivars de fève a été notée chez les agriculteurs de huit villages Marocains, dans trois communautés différentes, à l'aide d'un coefficient de corrélation non paramétrique pour les paires de villages fondés sur la Loi du  $\chi^2$  (tableau 3.5b).

Un exemple est donné pour une variété de fève, qui montre que la cohérence diminue dès que la distance géographique est augmentée. Sadiki (données non publiées) a également comparé la cohérence des noms de variétés avec des ensembles de caractères que les agriculteurs ont utilisé pour les décrire et a constaté qu'ils ont beaucoup plus de cohérence sur des zones géographiques que sur les noms des variétés. Cette cohérence parmi les agriculteurs est plus élevée entre les villages proches (villages de la même communauté). L'indice de cohérence (coefficient de corrélation) diminue à

**Tableau 3.5a.** Noms et descriptions des cultivars de fève cités et décrits par des agriculteurs selon les types qu'ils ont connus, vus, cultivés ou desquels ils ont entendus parler, au cours des enquêtes de terrains au Maroc.

Nom du cultivar	Code de la variété	Longueur de la gousse	Nombre de graines par gousse	Taille de la graine (mg/graine)	Couleur de la graine	Forme de la gousse
<i>Foul sbai labiade</i>	A	Longue	7	Large (>1.5)	Jaune clair	Aplatie
<i>Foul sbai lahmar</i>	B	Longue	6-7	Large	Marron	Aplatie
<i>Foul roumi</i>	C	Longue	6-7	Large	Marron	Aplatie
<i>Lakbir lahmar</i>	D	Longue	6-7	Large	Marron	Aplatie
<i>R'bai labiade</i>	E	Moyenne	4-5	Large	Jaune clair	Aplatie
<i>R'bai laghlid lahmar</i>	F	Moyenne	4-5	Large	Marron	Aplatie
<i>Khmassi laghlide khdar</i>	G	Moyenne	4-5	Large	Verte	Aplatie
<i>Foul beldi lou l'khal</i>	H	Moyenne	4-5	Large	Violet	Aplatie
<i>T'lati laghlide beldi</i>	I	Courte	3	Large	Marron foncé	Aplatie
<i>Beldi Moutouassate labiade</i>	J	Moyenne	4-5	Moyenne (0.8-1.5)	Jaune clair	Aplatie
<i>Foul beldi aadi</i>	K	Moyenne	4-5	Moyenne	Jaune clair	Aplatie
<i>Moutouassate labiade</i>	L	Moyenne	4-5	Moyenne	Jaune clair	Cylindrique
<i>Foul lahmar moutouassate</i>	M	Moyenne	4-5	Moyenne	Marron clair	Cylindrique
<i>Foul mou-touassate lou l'khal</i>	N	Moyenne	4-5	Moyenne	Violet	Cylindrique
<i>Moutouassate labiade</i>	O	Moyenne	4-5	Moyenne	Marron	Cylindrique
<i>Beldi mou-touassate lakhdar</i>	P	Moyenne	4-5	Moyenne	Verte	Aplatie

Tableau 3.5a, suite

Nom du cultivar	Code de la variété	Longueur de la gousse	Nombre de graines par gousse	Taille de la graine (mg/graine)	Couleur de la graine	Forme de la gousse
<i>Beldi (A)</i>	Q	Courte	3	Moyenne	Gris clair	Aplatie
<i>Beldi (B)</i>	R	Courte	3	Moyenne	Violet	Cylindrique
<i>Beldi (C)</i>	S	Courte	3	Petite	Marron	Cylindrique
<i>Foul r'guigue labmar</i>	T	Courte	3	Petite (<0.8)	Marron	Cylindrique
<i>Filt labiade</i>	U	Courte	3	Petite	Gris clairs	Cylindrique
<i>Fouila baldia khadra</i>	V	Courte	3	Petite (<0.8)	Vert	Cylindrique
<i>Foul bouzid s'ghir</i>	W	Courte	3	Petite (<0.8)	Violet	Cylindrique
<i>Lou l'khal s'ghir</i>	X	Courte	3	Petite (<0.8)	Noir	Cylindrique

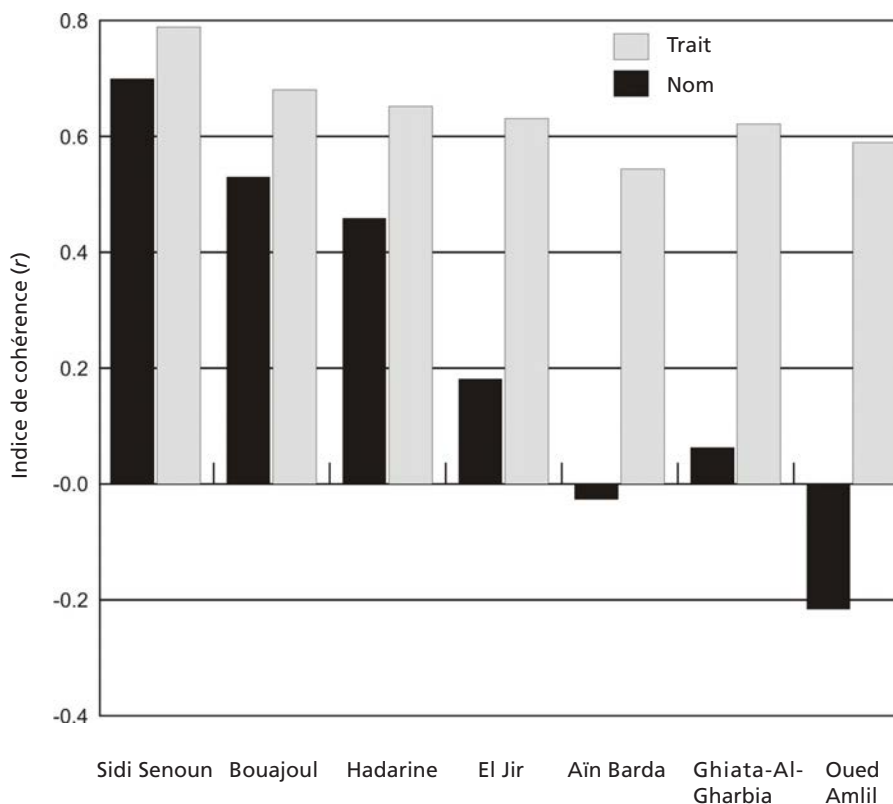
mesure que la distance géographique entre les villages augmente beaucoup plus rapidement pour les noms que pour les caractères (figure 3.1), indiquant que des ensembles de caractères agromorphologiques ont le potentiel d'être plus cohérent dans l'espace géographique que les noms.

En Hongrie, Mar et al. (2004) ont constaté que certains agriculteurs ont distingué des variétés d'haricot ordinaire par des caractères agromorphologiques, mais n'ont donné que le nom générique *haricot*.

Ceci est similaire au système de nommage de l'orge au Maroc, où la majorité des variétés indigènes ont été appelés *beldi*, qui signifie «locale», par opposition aux variétés modernes introduites. Néanmoins, les agriculteurs identifient et distinguent clairement les variétés basées sur les graines, les oreillettes, les caractéristiques des plantes, la récolte de la paille, la qualité des aliments pour les animaux, et souvent la qualité de la farine (Rh'rib et al. 2002).

Contrairement à la fève, les études sur les noms du blé dur au Maroc ont indiqué que les agriculteurs désignent les grandes catégories comportant de différentes variétés ou entités. (Taghouti et Saidi, 2002). Cette méta-classification est basée sur les caractéristiques d'oreillette, en particulier la couleur (noir ou blanc).





Villages (classés sur distance géographique en KM à partir de Ain Kchir)

FIGURE 3.1. Comparaison de l'adaptation des noms avec les caractères de cohérence de la variété de fève (*foul Sbaï labiade*) entre les villages, basée sur l'indice de cohérence ( $r$ ). Le coefficient de corrélation entre  $r$  (indice de cohérence) et  $d$  (distance en km à partir de Ain Kchir à 7 autres villages) des noms et des traits =  $-0,537$  et  $-0,173$  et le degré d'importance de la corrélation des noms et des traits =  $0,002$  et  $0,280$ , respectivement (M. Sadiki, M. Arbaoui, LG Houti, et D. Jarvis, données non publiées, 2004).

Dans chaque catégorie, les variétés ont le même nom, mais se distinguent par les agriculteurs par d'autres caractères, tels que la qualité de la farine et la hauteur des plantes.

Dans un autre cas, les variétés de luzerne au Maroc sont généralement nommées d'après leur origine géographique. Leur noms provenant du même écosite sont génériques et évoquent l'adaptation au sol et aux conditions climatiques. Deux grands groupes se distinguent: *demante* (zone de montagne) et *rich* (zone oasis). Ces deux groupes diffèrent les uns



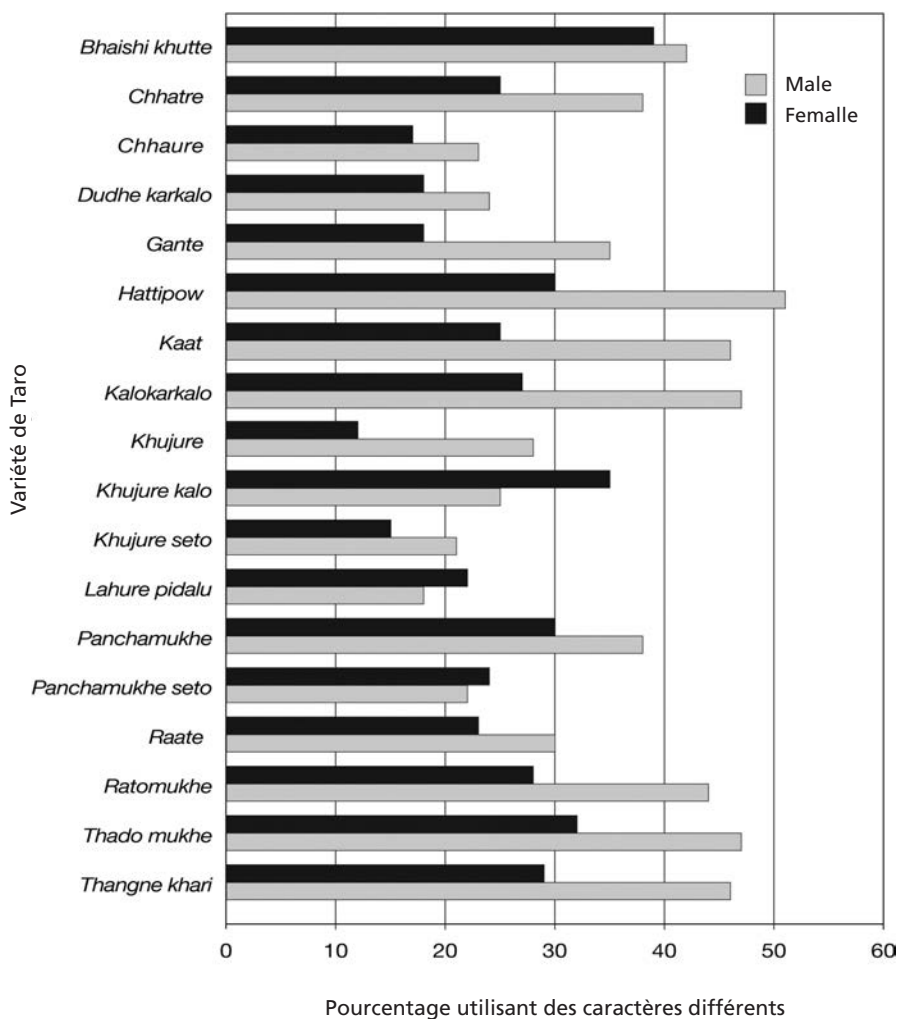


FIGURE 3.2. Description de cultivars de taro nommés par des agriculteurs hommes et femmes (pourcentage des hommes et des femmes utilisant des caractères différents pour chaque variété) (Deepak Rijal, données non publiées, 2004). La différence des caractères de fréquences utilisés par les femmes et les hommes a été testée par Wilcoxon ( $Z = -5,696$ ).

des autres dans les habitudes et la vitesse de croissance après coupure et résistance à l'hiver.

Dans chaque groupe, les agriculteurs séparent les variétés sur la base des caractères agronomiques et morphologiques de la plante (Bouzegaren et al. 2002).

Si les ensembles de caractères sont l'unité de l'unification pour la reconnaissance des variétés, est-ce que tous les agriculteurs reconnaissent le même cultivar local en utilisant les mêmes caractères? Est-ce que la divergence des intérêts entre les sexes peut être corrélée avec la désignation de la diversité des unités et des exploitations à la ferme? Les enquêtes dans la nomination de variétés indigènes de taro au Népal, illustré à la figure 3.2, indiquent que les femmes sont plus cohérentes que les hommes dans les caractères qu'elles utilisent pour décrire notamment les variétés de taro. Les agriculteurs ont caractérisé 18 variétés de taro contre 24 descripteurs associés à la corne (type, forme, taille, croissance), tubercules latéraux (nombre, taille), la forme des feuilles (taille, texture, couleur), pétiole (couleur, couleur de gaine, nombre), hauteur de la plante (courte, moyenne, grande), et du système racinaire (abondant). Comparativement à leurs homologues hommes, les agriculteurs femmes ont le plus souvent utilisé les mêmes descripteurs pour les races primitives et étaient plus fiables dans la reconnaissance de descripteurs spécifiques que les hommes lorsqu'on leur a demandé de caractériser les variétés indigènes. Les hommes ont, souvent, uniquement utilisés la corne et les caractéristiques de pousse pour distinguer les variétés, tandis que les femmes utilisaient les tubercules latéraux, la forme et la taille des feuilles ainsi que les habitudes de croissance comme descripteurs supplémentaires.

Une étude similaire a été menée au Vietnam, où les résultats des études ont montré que le niveau de cohérence parmi les femmes (80,57 à 98,5%) était légèrement plus élevé que chez les hommes (de 78,2 à 94%), mais non statistiquement significative quand il s'agit de nommer et décrire les 47 cultivars de taro cultivés dans sept sites à travers le Vietnam (Canh et al. 2003; Hue et al. 2003).

### Les noms de variétés des agriculteurs et leurs distinctions génétiques

Les noms ou les caractères que les agriculteurs utilisent pour distinguer les variétés peuvent être les mêmes au sein et entre les villages, mais cela n'aborde pas la question de la mesure dans laquelle ces unités nommées sont génétiquement distinctes ou à quel niveau agromorphologiques, biochimiques, moléculaire- cette distinction pourrait être trouvée. Des analyses de groupement ont été effectuées sur les données agromorphologiques des variétés du riz à partir de trois sites à différentes altitudes au Népal (Bara, <100 m; Kaski / Begnas, 600-1,400 m et Jumla, 2,200-3,000 m) pour évaluer le caractère distinctif de ces variétés nommées au

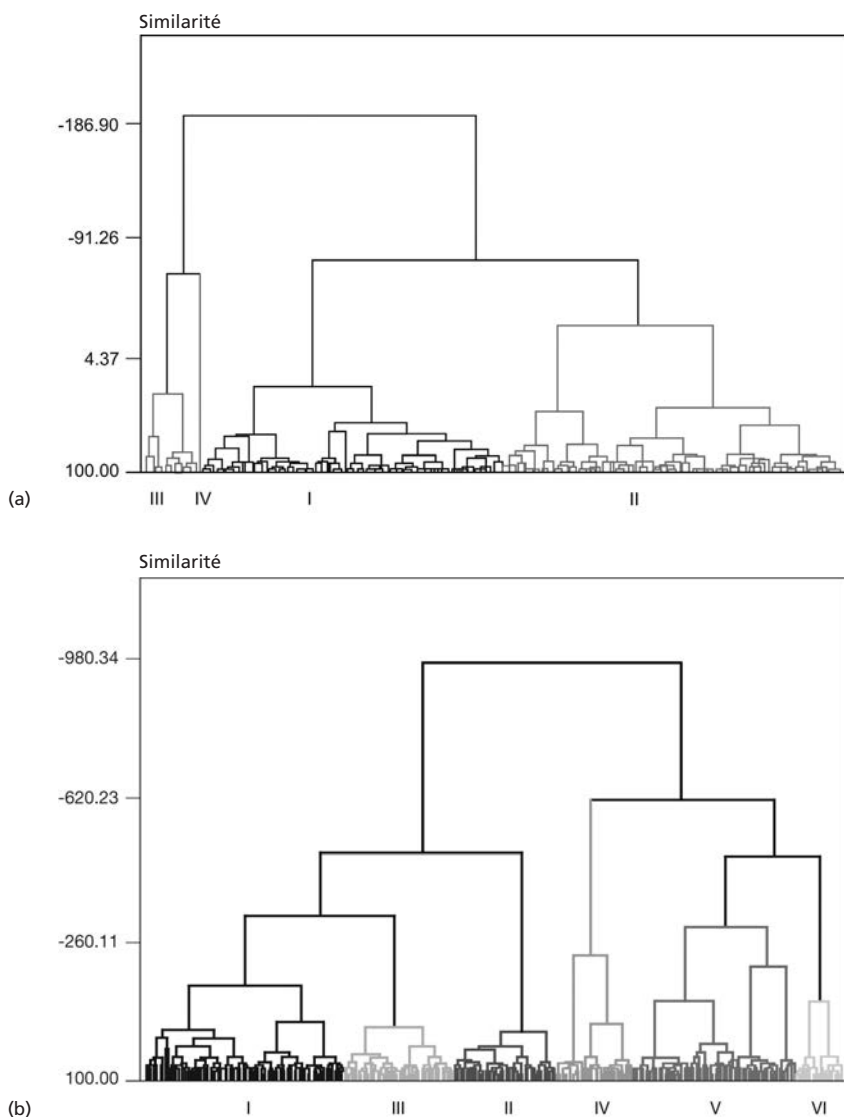


FIGURE 3.3. Dendrogramme des accessions de riz et vérification des variétés modernes à partir de trois sites du Népal (Bajracharya 2003; Bajracharya et al. 2006). (a) Le site de Jumla: les variétés locales ont une large diversité des noms, comparées à la minorité des diversités génétiques (morphologiques). Figure 3 (a) adapté par Bajracharya et al. 2006; la couleur des arrêtes et des stigmates sont des caractères distinctifs. (b) Kaski site: porte le même nom des variétés locales regroupées, présentant un haut degré de cohérence dans les noms et les descriptions agromorphologiques; un large éventail de variabilité agromorphologique a été rencontré; les caractères morphologiques des feuilles et des graines sont importants. (c) site Bara: le regroupement des unités de la diversité et des agroécosystèmes des agriculteurs montrent la cohérence élevée dans les noms et les descriptions agromorphologiques; les caractères quantitatifs représentent 60% de la variation totale dans l'analyse en composantes principales; les caractères de la durée de croissance sont importantes.

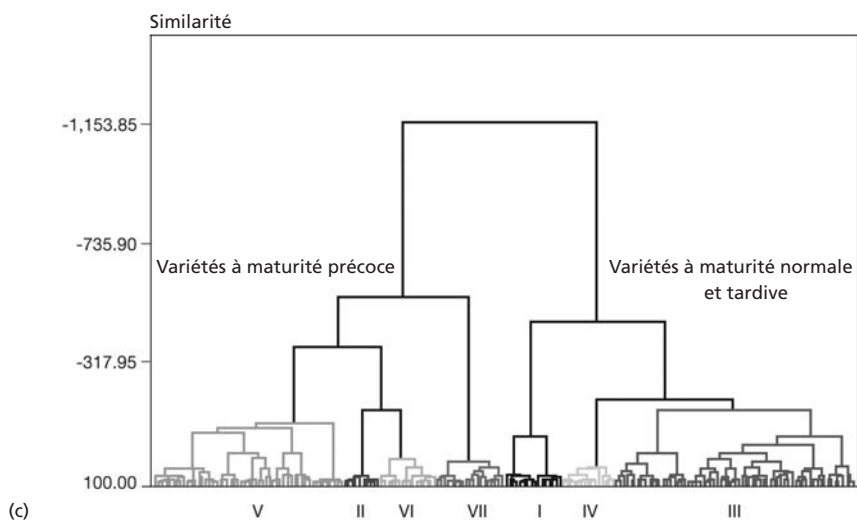


FIGURE 3.3. *suite*

niveau agromorphologique (Bajracharya 2003; Bajracharya et al. 2006; figure 3.3).

Dans les deux sites de basse altitude portant le même nom de variétés indigènes regroupées, un haut degré de cohérence dans les noms et les descriptions agro-morphologiques est présent, alors que dans le site à haute altitude de Jumla, bien qu'il y ait de nombreux noms, peu de diversité morphologique des caractères mesurés a été trouvée. L'évaluation de la morphologie du taro au Vietnam a également révélé des variations dans les noms similaires (Hai et al. 2003) et entre les différents cultivars de taro nommés (Hue et al. 2003; Tuyen et al. 2003). Les enquêtes menées sur les cultivars de riz en Inde et dans la vallée de Cagayan aux Philippines ont montré que les échantillons du même nom avaient souvent une constitution génétique très différente au niveau biochimique et moléculaire (Pham et al. 1999; Sébastien et al. 2001). Une analyse similaire sur les différences génétiques des variétés de fèves entre les agriculteurs au Maroc (évaluation agro-morphologique en utilisant 10 variétés décrites parmi les 14 cultivées dans la région), a mis en évidence une grande quantité de diversité phénotypique dans ces différents types de la plupart des caractéristiques étudiées (Sadiki et al. 2002). Une analyse de classification hiérarchique ainsi qu'une analyse multivariée et discriminante ont révélées que les lots de graines portant le même nom sont généralement regroupés. Ces résultats sont en

**Tableau 3.6.** Pourcentage des adhésions de chaque variété classées en catégories définies par des fonctions discriminantes basées sur la probabilité a posteriori de l'adhésion.

Nom	Code	Classes (Groupes)*										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
<i>Lakbir labmar</i>	D	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>R'baï labiade</i>	E	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Foul beldi lou l'khal</i>	H	0	0	86	0	0	0	14	0	0	0	0
<i>T'lati laghlide beldi</i>	I	0	0	0	71	0	0	0	29	0	0	0
<i>Beldi moutouassate labiade</i>	J	0	0	0	14	86	0	0	0	0	0	0
<i>Foul labmar moutouassate</i>	M	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0
<i>Foul moutouassate lou l'khal</i>	N	0	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0
<i>Filt labiade</i>	U	0	0	0	0	0	0	0	100	0	0	0
<i>Foul r'guigue labmar</i>	T	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	0
<i>Foul bouzid s'ghir</i>	W	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100

Source: Sadiki et al., données non publiées

\* 94 % des adhésions ont été classés correctement par l'analyse FDA en fonction de leurs variétés d'origine

accord avec la description phénotypique des types par les agriculteurs, ce qui indique que pour ces populations, les unités nommées par les agriculteurs sont distinctes, et les caractères ont une base génétique.

Les données préliminaires de marqueurs moléculaires, basées sur les distances génétiques utilisant des cations d'amplification rapide d'ADN polymorphe, ont confirmés que les différences entre les lots de semences de différents types ont dépassé les différences entre les lots de semences portant le même nom (Belqadi 2003; Benchechou 2004).

Au Maroc, le modèle d'adhésion de classement établi pour 10 variétés indigènes, basées sur des caractères phénotypiques, est très compatible avec les descripteurs des agriculteurs des variétés de fèves (Belqadi 2003). Le tableau 3.6 montre que 94% des 70 accessions ont été classées correctement dans leurs divers types selon les similitudes de traits agro-morphologiques. Par conséquent, la structure du regroupement phénotypique est en étroite collaboration avec la description des agriculteurs des variétés indigènes. La distinction des variétés, en fonction des caractères phénotypiques, correspond à la perception des agriculteurs en désignant les variétés. Pour ces 10 variétés, les unités de la diversité des agriculteurs coïncident avec les unités de la diversité phénotypique mesurée.

### Variabilité acceptable au niveau de la distinction génétique et des noms

Quelle est la taille de la variabilité associée à un nom « conforme » ? En Ouganda, les nouveaux clones de bananiers peuvent être transférés vers de nouvelles régions sans leur appellation d'origine, on leur attribue de nouvelles appellations, tout comme les différents groupes ethniques qui peuvent changer l'appellation d'un nouveau clone qu'ils viennent juste de recevoir (Karamura et Karamura 1994). Afin d'identifier d'éventuels chevauchements de 192 variantes de la banane nommée, Karamura (1999) a d'abord calculé une estimation de paires de dissemblance des deux modules de ramets de la même plante basée sur 61 caractères morphologiques. Ces deux modules avaient un coefficient de distance qui variait de 0,044 à 0,147. Ceci a été utilisé comme base pour observer les variétés qui partagent le même nom mais pas le même ramet pour déterminer si les échantillons étaient en fait des variétés génétiquement différentes. Soixante-dix-neuf clones se sont révélés différents de l'étude de 192 variantes nommées. Dix-huit couples d'adhésions avec des noms similaires avaient des valeurs de dissemblance inférieures à 0,1, en donnant des valeurs similaires aux ramets qui venaient de la même plante. Quatre paires ont des valeurs de

similarité qui n'entrent pas dans la gamme des ramets et pouvaient donc être considérés comme de clones différents.

## Gestion de la diversité des unités des agriculteurs

Contrairement à la simple utilisation du nom d'une variété, les discussions sur la gestion de la diversité des unités des agriculteurs soulèvent plusieurs questions: Comme elle est dynamique et peut changer au fil du temps, est-ce que cette unité est également unique? Est-il possible à une unité d'être unique en la joignant à l'informateur qui a nommé la variété?

Les noms et les caractères utilisés pour décrire des variétés, ont le potentiel de se différencier, non seulement sur des échelles spatiales, mais aussi au fil du temps. Un nom peut rester le même, mais les caractères peuvent changer. De même, ceux-ci peuvent rester les mêmes, mais le nom qu'on leur a associé peut aussi changer, tant que les nouveaux agriculteurs adoptent et cultivent les matières. Les agriculteurs peuvent également modifier les noms génériques en leur ajoutant un nouveau descripteur, puisque de nouveaux caractères apparaissent dans leur population (voir Pandey et al. 2003 pour un exemple de courge-torchon et Rijal et al. 2003 pour un exemple de taro). Les changements de noms peuvent aussi dépendre de la façon dont les connaissances traditionnelles au fil des générations, ainsi que les attitudes et les perceptions à l'égard de ces variétés, changent avec le temps. Un autre concept basé sur ces possibilités est l'idée que la composition génétique des variétés indigènes n'est pas statique, mais continue d'évoluer. (Brown, 2000). Comme les agriculteurs sélectionnent des graines ou des plantes, les caractères utilisés dans cette sélection pour le prochain cycle de plantation peut rester constant ou peut changer, ce qui pourrait entraîner des changements dans la structure génétique de la plante (voir chapitre 4). Il est aussi possible, afin de distinguer une variété, que les caractères les plus importants pour les agriculteurs ne soit pas génétiquement distincts et utilisés par les chercheurs pour les différencier.

Au Nigeria, Busso et al. (2000) ont constaté que les pratiques de gestion des agriculteurs du millet perle, qui est une culture à pollinisation croisée, a abouti à plus de différences entre les agriculteurs qu'entre ceux cultivant la variété du même nom. Ainsi, les variétés indigènes individuelles ayant des noms distincts et cultivées par un seul agriculteur étaient plus semblables, dans leur structure génétique, que les variétés indigènes du même nom cultivées par des agriculteurs différents. Dans ce cas, les caractères

que les agriculteurs utilisent pour distinguer les différentes variétés nommées n'a pas conduit à l'identité génétique au niveau moléculaire.

Pareillement au Mexique, Pressoir et Berthaud (2004) ont constaté qu'entre les populations, la forte variation des intervalles de floraison et de l'anthèse-sortie des soies du maïs (une autre espèce à pollinisation croisée) a suggéré que le modèle de structure des populations pour ces caractères agro-morphologiques pourrait être très différent de celui décrit avec des marqueurs moléculaires.

Malgré les changements qui se produisent pour une variété au fil du temps, son nom dans un ménage ou dans un village, peut continuer comme par le passé. Cependant, ce nom là peut également être changé par son conservateur, qui juge que ce qui est maintenant disponible (par rapport au passé) est tout à fait différent de ce qu'il était (comme vu dans le chapitre 4 dans le cas de la banane). Toutefois, l'important est que les noms des populations, indépendamment des différences génétiques, seront traités d'une manière particulière, et ce, à son tour, aura une incidence, voire le contrôle de la future structure génétique des populations à la ferme.

Il pourrait y avoir des différences dans la manière dont la diversité est classée en fonction des caractéristiques biologiques des cultures. Hamrick et Godt (1997) ont ainsi résumé l'effet du système de pollinisation sur les variations, au sein et entre les cultures des populations, révélant que les variétés autogames (endogames) ont montré deux fois plus de distinction que les variétés allogames (exogames).

Ainsi, les différences entre eux devraient être moins importantes dans les cultures à pollinisation croisée que dans l'autopollinisation. D'autre part, les variétés nommées par les agriculteurs peuvent être à une échelle plus précise pour les endogames que pour les exogames. Concernant la luzerne exogame, le nom générique « local » s'applique à la matière cultivée dans un village tout entier, alors que pour le sorgho qui est une culture à croisement partiel, plusieurs variétés citées peuvent être cultivées dans la même parcelle. Une fois que les variétés indigènes exogames comme le maïs sont nommées, gérées comme des unités distinctes, classées selon les caractères morphologiques héréditaires tels que la couleur des graines et la dissimilitude dans le temps de floraison, elles peuvent s'accumuler une divergence génétique très significative au fil du temps.

Est-il possible de classer les variétés nommées en groupes fonctionnels? Est-ce qu'une méta classification des noms est possible à travers l'analyse de perception des agriculteurs de ces groupes? Xu et al. (2001) ont montré que malgré que différents groupes ethniques du sud-ouest de la Chine avaient des noms différents pour les cultures selon les langues locales, les



principaux types morphologiques ont été clairement distingués à travers les différents groupes ethniques. Gauchan et al. (2003; voir également le chapitre 16) ont classé les variétés nommées avec une grande diversité de niveaux : ceux avec des caractères adaptatifs spécifiques et ceux qui sont rares, notant que différents types de ménages sont plus propices au maintien des variétés dans une catégorie que dans une autre.

### *Modèles de diversité spatiale et noms des variétés*

La répartition des noms des variétés, à l'intérieur des communautés et des régions et entre elles, peut donner des indications sur la richesse et la régularité de la diversité génétique à la ferme. Pour caractériser la quantité et la répartition des cultivars plantés, des méthodes fondées sur la superficie moyenne et le nombre de ménages récoltant chaque cultivar ont été développées au Népal (Sthapit et al. 2000). Les cultivars locaux ont été classés en groupes en fonction des surfaces (grandes ou petites) qu'ils occupent (à partir de la surface moyenne) et du nombre de ménages (nombreux ou peu nombreux) qui les cultivent. Cette méthode d'analyse en quatre cellules (Four-cells analysis : FCA) a été utilisée de plusieurs façons. Rana et ses collègues (voir Rana 2004) ont calculé une superficie moyenne par ménage (en hectares), pour chaque variété cultivée dans un village, afin de déterminer si une variété est cultivée par chaque foyer dans une petite ou une grande zone. Cette méthode pose un problème dans la mesure où un foyer avec plus de terres agricoles peut planter de plus grandes surfaces pour chaque variété qu'un autre avec moins de terres. Pour remédier à ce problème, les informations ont été traitées pour exprimer un pourcentage de surface couverte par une variété afin de pouvoir comparer les données de plusieurs agriculteurs. Les résultats sont présentés dans la figure 3.4.

Les variétés dans le coin supérieur droit de la figure 3.4c sont cultivées par de nombreux agriculteurs et couvrent un pourcentage significatif de la zone du village consacrée à la riziculture. Il y a aussi un nombre significatif de variétés cultivées par peu d'agriculteurs et ne couvrant au total qu'un faible pourcentage des zones de rizicultures. Sur le graphique, il apparaît comme évident que, pour la majorité des variétés cultivées, la superficie couverte augmente parallèlement au nombre d'agriculteurs cultivant ces variétés. Les variétés qui n'entrent pas dans cette tendance principale sont remarquables, comme les deux points dans le coin inférieur droit de la figure 3.4c, qui sont cultivés par de nombreux agriculteurs, mais sur des domaines si petits que le pourcentage total de couverture n'augmente pas au même rythme que celui des autres variétés. Ces deux variétés,

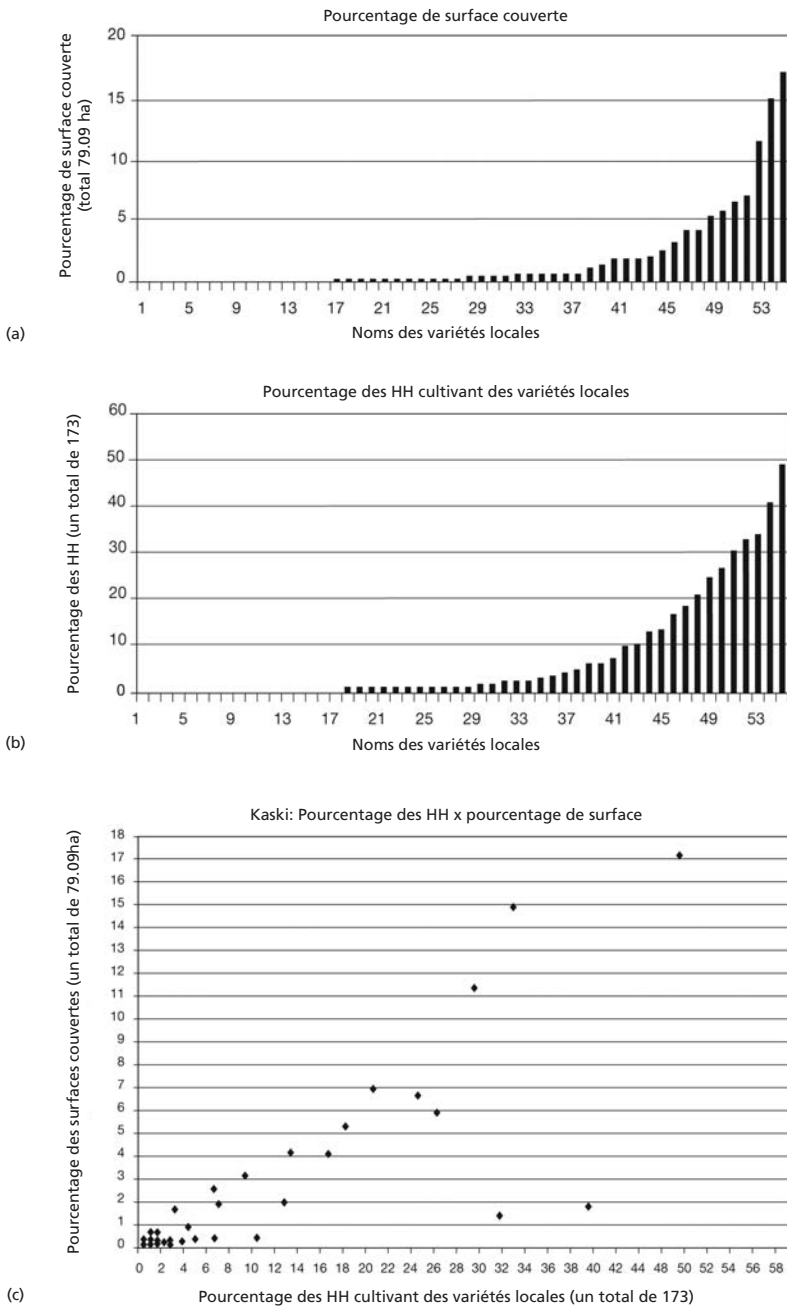


FIGURE 3.4.

(a) Nouvelle analyse de la base de données sur le riz (b) Pourcentage de superficie couverte (total 79,09 ha) (c) Pourcentage d'agriculteurs (HH = foyer, 173 au total) cultivant la variété dans le district de Kaski, écosite à mi-colline (données brutes provenant de Sthapit et al. 2000).

*Rato Anadi* et *Seto Anadi*, sont des riz glutineux cultivés le plus souvent dans les zones irriguées ou en *dhab* (zones inondées permanentes). Ils sont appréciés pour la gastronomie indigène au cours des festivités. Les agriculteurs ont tendance à produire ces deux variétés, qui ont une signification religieuse et culturelle particulière, dans de petites parcelles pour leurs propres besoins.

Hue et al. (2003) ont noté une deuxième limite à la méthode FCA décrite dans le cadre de son utilisation pour le taro au Vietnam. La superficie moyenne plantée de taro variait considérablement en fonction des conditions agroécologiques et des fluctuations du marché. Dans les sites étudiés, elle variait de 28 à 3600 m<sup>2</sup>, alors que le nombre moyen des agriculteurs cultivant chaque variété de taros variait 1 à 25. Ainsi, la répartition en fonction de la couverture de grandes ou de petites zones et du nombre d'agriculteurs était relative et différente d'un village à l'autre. En outre, une analyse des modes de distribution a montré que les villages où l'on trouvait de grandes parcelles de taro n'étaient pas forcément riches en termes de diversité. En général, deux à trois cultivars locaux de taro sont cultivés sur de vastes zones par de nombreux ménages. Ces cultivars peuvent alors être considérés comme répandus dans cet endroit. Ces cultivars communs et répandus sont très demandés sur le marché en raison de leur qualité. Toutefois, de nombreux cultivars (entre quatre et neuf) sont encore plantés par quelques ménages sur de petites parcelles.

Le tableau 3.7 donne un aperçu de la diversité de taro en termes de nombre de variétés nommées. Le Midland népalais, les montagnes et les régions côtières du sud sablonneuses sont riches en nombre de variétés de taros. Les indices de diversité des génotypes de taro ont été obtenus en utilisant l'indice de Simpson pour comparer la distribution des différents types de taro (c'est-à-dire la fréquence avec laquelle les agriculteurs cultivent chaque cultivar de taro au sein d'un village donné). Le tableau 3.7 illustre également la comparaison des indices de diversité de taro entre les sites. L'indice de diversité le plus élevé a été trouvé dans le site de Sa Pa, suivi par Da Bac, Phu Vang et Nho Quan. La plus faible diversité a été enregistrée en Tra Cu.

Au Maroc, l'importance des variétés indigènes a été évaluée en pourcentage de la superficie de la ferme cultivée pour chaque variété locale dans une zone géographique donnée. La répartition spatiale des variétés indigènes a été estimée à partir de la proportion d'agriculteurs plantant chaque variété. Il a été constaté que le nombre de variétés de fèves plantées, dans une même saison, par chaque agriculteur, n'est pas corrélé à la taille des exploitations (Sadiki et al. 2005).

Tableau 3.7. Etat de la diversité du taro dans différentes régions écologiques du Vietnam, 2003

Site écologique	Nbre de variétés	Fourchette de superficies plantées / Cultivar	Nbres moyens de variétés par ferme	Index de diversité (H')
Sa pa	12	28-907	2-4	0.847
Da bac	10	25-360	2-3	0.800
Nho quan	9	40-1,810	1-3	0.680
Phu vang	9	50-241	2-4	0.730
Nghia hung	4	36-216	1-2	0.378
Tra cu	3	50-310	1-2	0.340

Source: Hue et al. (2003).

Grum et al. (2003) ont démontré qu'au lieu de calculer les zones réelles, les chercheurs en collaboration avec les agriculteurs et les agents travaillant pour le développement indigène, pourraient utiliser la méthode FCA pour donner aux agriculteurs la possibilité de discuter de leurs perceptions de la façon dont une variété devrait être classée dans les quatre catégories : s'ils l'estiment rare ou commune, généralisée ou indigène. Grum et ses collègues ont utilisé cette méthode en Afrique subsaharienne afin de discuter des perceptions des agriculteurs sur le riz, l'igname, le sorgho, le mil et le niébé. La méthode a engendré une sensibilisation significative chez les agriculteurs et les agents de vulgarisation sur l'ampleur et la distribution des variétés de plantes indigènes cultivées. Elle est actuellement utilisée à l'université au Bénin et au Zimbabwe comme un outil pour évaluer la diversité des exploitations agricoles (M. Grum, comm. Pers., 2003). La méthode est également utilisée pour comprendre les raisons des agriculteurs motivant l'attribution de parcelles pour chaque cultivar, identifier les cultivars communs et rares et surveiller la diversité des cultures indigènes pour mener des actions de conservation au Népal, au Mozambique, au Sri Lanka et en Malaisie (B. Sthapit, pers. comm., 2003).

La méthode est, par ailleurs, utilisée afin de comprendre la justification des agriculteurs pour l'attribution d'une superficie pour chaque cultivar, l'identification des cultivars communs et rares, et le contrôle de la diversité des cultures indigènes pour des actions de conservation au Népal, le Mozambique, Sri Lanka et en Malaisie (B. Sthapit, pers.comm., 2003).

En Ouganda, Mulumba et al. (2004) ont utilisé cette méthode FCA pour identifier et comprendre les meilleures pratiques pour la conservation

de variétés indigènes rares de bananes dans la région semi-aride ougandaise de Lwengo. En utilisant cette méthode, les chercheurs ont dénombré un total de 66 variétés de bananes dans cette zone. Pour 19 d'entre elles, les agriculteurs les considéraient comme rares. Au total, 21 pratiques de gestion ont été identifiées. L'analyse a montré que sur les 21 pratiques, 9 mettaient dangereusement en question la survie des races rares.

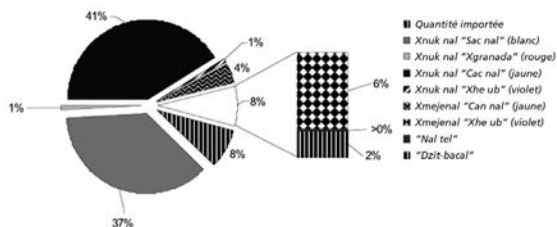
Karamura et al. (2004) ont utilisé la même analyse pour comprendre les stratégies des agriculteurs permettant de déterminer laquelle contribuait à la diminution de la présence de parasites, tout en maintenant la diversité. Leurs résultats indiquent que les communautés sur le site de l'étude continuent à obtenir et à sélectionner de nouveaux génotypes de bananiers, pour un nombre moyen de 13 génotypes par ferme. Parmi la diversité trouvée sur ce site, environ 45 % a été maintenu en petites quantités et sur une superficie très faible pour diverses raisons. Bien que les agriculteurs ont identifié plus de 20 pratiques de gestion communautaire basées sur la banane essentielles pour le maintien de la diversité maximale possible des cultivars, la gestion réussie des bananeraies reposait sur une mise en œuvre minutieuse d'un certain nombre de pratiques communautaires sélectionnées et intégrées (y compris la plantation isolée, le labourage du sol, la relocalisation continue, la transplantation et l'épandage de fumier).

La répartition spatiale des variétés sur différents espaces de production et l'utilisation des terres combine les connaissances écologiques sur l'environnement avec les pratiques culturelles. L'encadré 3.1 décrit un exemple dans lequel la répartition des variétés est liée au type des espaces de production au Mexique. Les agriculteurs ne peuvent pas souvent prendre de risques dans l'optimisation de l'allocation des variétés aux espaces de production. Il peut arriver que les variétés de niches qui ont été transmises de génération en génération puissent en réalité être plus largement adaptées, ou même être plus productives dans des espaces de production différents de leur milieu d'origine. Leur évaluation avec des caractères sélectionnés peut être incomplète, comme cela a été constaté au Népal (encadré 3.2).

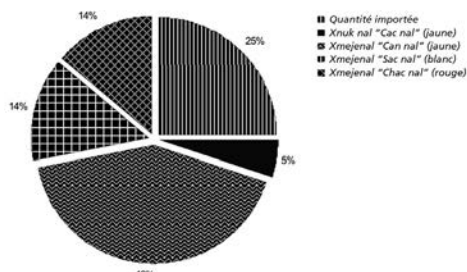
L'utilisation des méthodes FCA contribue à révéler l'ampleur des différences entre les variétés individuelles, contrairement à l'évaluation de la présence ou de l'absence de variétés dans une ferme. Ce qui est commun aux travaux présentés ici et à d'autres études publiées est l'existence d'un petit nombre de variétés très abondantes, cultivées dans toute une région et d'un plus grand nombre de variétés moyennement communes, côtoyant une quantité importante de variétés rares cultivées par une ou deux familles uniquement (Boster 1985; Zimmerer et Douches 1991; Pham et al. 1999; Tesfaye et Ludders 2003).

**Encadré 3.1.** Répartition de la diversité et des espaces de production des cultures dans le Yucatan, Mexique.

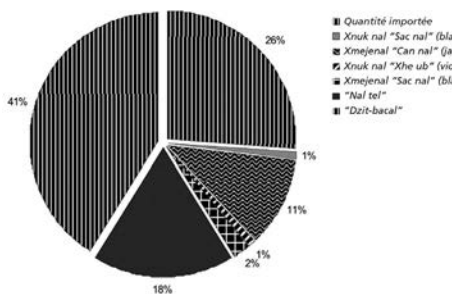
Dans le Yucatan, au Mexique, la culture continue de la diversité des cultures repose largement sur l'interaction entre les principaux espaces de production au sein des systèmes agricoles traditionnels : jardins familiaux, champs agricoles (milpas) et parcelles communautaires<sup>1</sup>



Pourcentages de maïs dans 346.000 m<sup>2</sup> approximativement de champs



Pourcentages de maïs dans 10.000 m<sup>2</sup> approximativement de parcelles communautaires



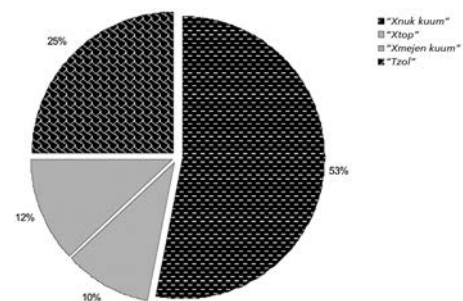
Pourcentages de maïs dans 1.136 m<sup>2</sup> approximativement de jardins de c

(a)

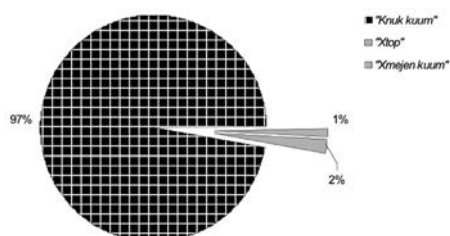
FIGURE DE L'ENCADRÉ 3.1. (a) Montant et la distribution de variétés de maïs dans la population de recherche. (b) Montant et la distribution de variétés de courges dans la population de recherche (Figure adaptée de Lope 2004).

Encadré 3.1, suite à la page suivante

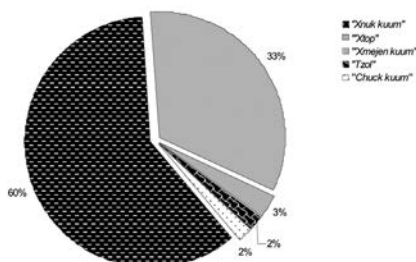
Encadré 3.1, suite



Pourcentages de courges dans 1.014 m<sup>2</sup> approximativement de jardins de case



Pourcentages de courges dans 333.600 m<sup>2</sup> approximativement de parcelles communautaires



(b) Pourcentages de courges dans 10.000 m<sup>2</sup> de parcelles communautaires

FIGURE DE L'ENCADRÉ 3.1, suite

Les relations entre les hommes et les femmes se manifestent à travers les espaces de production qui sont attachés à un sexe plus qu'à l'autre. Ce rapport entre les genres, qui se retrouve également dans le partage du travail et les connaissances spécifiques, est donc susceptible de refléter des modes de culture différents et pour différentes variétés.

Les hommes sont les seuls responsables de la culture dans les milpas, alors que les femmes ne sont pas autorisées à sortir sans une présence masculine.

Encadré 3.1, suite

Les femmes ne participent au travail des champs, que lorsqu'une présence supplémentaire est nécessaire, comme lors de la récolte. À l'inverse, les femmes effectuent la plupart du travail et prennent la plupart des décisions concernant les jardins familiaux et peuvent y travailler seules. Les jardins familiaux sont considérés comme un domaine essentiellement féminin, alors que les terres agricoles s'avèrent un domaine réservé aux hommes. Les règles régissant le comportement des hommes et des femmes se sont révélées être les plus strictes dans ces deux espaces traditionnels. Concernant les parcelles communautaires des villages, ces règles sont plus souples, parce que les hommes et les femmes choisissent expressément quels cultivars planter dans ces espaces et en quelles quantités. Les femmes peuvent aller et travailler seules aux parcelles du village ; les hommes y travaillent aussi (en particulier dans celles qui sont situées en périphérie de la communauté). Hommes et femmes peuvent prendre des décisions sur quoi et comment planter. La figure de l'encadré 3.1 récapitule les types et quantités de cultivars plantés en fonction des espaces de production.

Les résultats indiquent qu'il est difficile de classer le maïs ou la courge comme étant une culture appartenant spécifiquement aux femmes ou aux hommes. Par contre, il a été constaté, dans la zone d'étude, que les espaces de production traditionnels, champs agricoles (l'espace des hommes) et jardins familiaux (l'espace des femmes), sont interdépendants en termes de sélection et de conservation des variétés. Il a été noté que cette interdépendance est le résultat à la fois de raisons communes et spécifiques des deux genres de planter un cultivar donné dans un espace de production en particulier, couplées à l'influence qu'ils exercent les uns sur les autres pour la sélection variétale selon l'espace de production. Cette influence s'exprime sous la forme d'une négociation explicite ou subtile.

1. Les champs agricoles des Mayas, ou milpas, sont mis en culture intercalaire pour produire maïs, haricots et courges en utilisant des techniques de culture itinérante, sans mécanisation et uniquement alimentées en eau par les précipitations. Des espaces pour d'autres cultures horticoles sont également trouvés dans les milpas mais ils sont généralement séparés du maïs et de ses cultures associées. La taille des champs agricoles peut varier de quelques mécatés (20 × 20 m, une unité utilisée par les agriculteurs locaux pour mesurer les milpas) à 4-5 ha. Les jardins familiaux contiennent une plus grande diversité d'espèces qui sont principalement utilisées pour fournir nourriture, remèdes, fourrage, combustible et plantes ornementales. En plus de ces deux espaces traditionnels, les parcelles du village (*terrenos*) sont composées d'anciens jardins familiaux ou sites de résidence saisonnière (*ranchos*) qui ne sont plus occupés et des terres communautaires distribuées à chaque famille pour une utilisation future, en fonction de l'aménagement du territoire du village et de la croissance démographique. Parmi les familles étudiées dans cette recherche, ces parcelles ont une superficie moyenne de 40 × 60 m et sont utilisées d'une manière qui reflète à la fois les méthodes utilisées dans les champs agricoles et celles mises en œuvre dans les jardins familiaux.

Source: Lope (2004).



**Encadré 3.2.** Comparaison des rendements de cultivars de riz dans une expérience de transplantation réciproque, Kaski, Népal (1 150 m)

Les agriculteurs ne peuvent souvent pas prendre de risques afin d'évaluer si l'affectation des variétés à des espaces de production est optimisée. Au Népal, la performance relative des cultivars de riz sous différents régimes hydriques a été examinée, afin de déterminer si les performances des variétés indigènes changeaient lorsqu'elles étaient testées dans des milieux différents en termes de fertilité et de régime hydrique, et si les différents écosystèmes rizicoles nécessitaient une adaptation spécifique des variétés (tableau de l'encadré 3.2). Des semailles réciproques ont été réalisées dans trois écosystèmes rizicoles aux régimes hydriques différents: *Ghaiya* (écosystème rizicole d'altitude), *Tari* (écosystème rizicole alimenté en précipitations) et *Sinchit* (écosystème rizicole irrigué).

Les résultats ont montré que la variété des interactions des écosystèmes a été significative et que l'adaptation a été variété spécifique (figure de l'encadré 3,2). Les variétés des écosystèmes *Tari* et *Ghaiya* ont produit le rendement le plus élevé dans leur milieu d'origine, alors que parmi les variétés du *Sinchit*, seuls le *rato anadi* et *khumal 4* ont donné leur meilleur rendement dans cet écosystème d'origine. Les variétés *jhinuwa kalo* et *ekle* avaient des rendements nettement plus élevés en dehors de leur milieu naturel dans l'écosystème rizicole *Tari* (zone non irriguée).

TABLEAU DE L'ENCADRÉ 3.2. Cultivars de riz et régimes d'humidité

Régimes d'humidité (écosystèmes agricoles différents)	Cultivars à tester provenant de régimes d'humidité différents	Caractéristiques et valeurs distinctes
<i>Ghaiya</i> (hauteurs)	<i>Rato ghaiya</i>	Paille de bonne qualité, Exigeant en termes de nutriments
<i>Tari</i> (pluvial)	<i>Mansara</i>	Cultivé dans les zones marginales, environnements à faible fertilité, mauvaise qualité alimentaire
<i>Sinchit</i> (irrigué)	<i>Kathe gurdi</i>	Maturité précoce
	<i>Kalo jhinuwa</i>	Riz aromatisé de bonne qualité
	<i>Ekle</i>	Populaire et à forte productivité
	<i>Rato aanadi</i>	Riz gluant
	<i>Khumal 4</i> (testigo)	Variété améliorée

Source: D. Rijal, données non publiées, 2004.

Encadré 3.2, suite

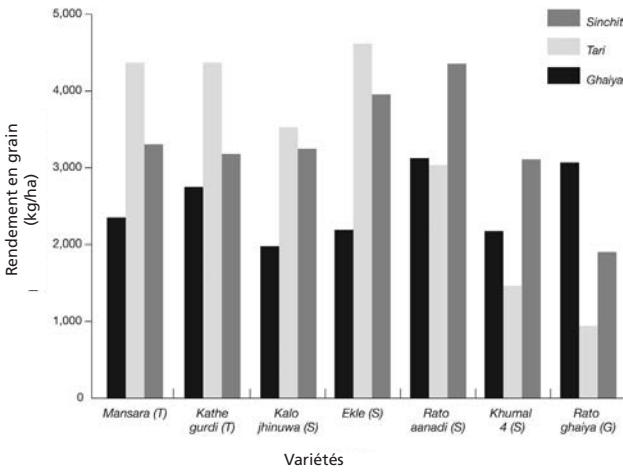


FIGURE DE L'ENCADRÉ 3.2. Comparaison des cultivars de riz pour le rendement en grains dans une expérience de transplantation réciproque, Kaski, Népal (1.150 m) (Rijal, données non publiées).

Le classement des sites en fonction du rendement des différentes variétés ont montré que les cultivars *mansara*, *kathe gurdi*, *kalo jhinuwa* et *ekle* donnaient leurs meilleurs rendements respectivement à *Tari*, *Sinchit* puis à *Ghaiya*. Les performances du *rato aanadi* étaient similaires à *Ghaiya* et à *Tari*, mais étaient moins importantes à *Sinchit*. Le *rato* de *Ghaiya* avait un meilleur rendement à *Sinchit* qu'à *Tari*, mais il est bien inférieur à celui obtenu dans son écosystème d'origine (*Ghaiya*). Le *khumal 4* avait un meilleur rendement sous irrigation (*Sinchit*), puis à *Ghaiya*.

Source: D. Rijal, non publié

La méthode FCA adopte une approche similaire à celle proposée par Marshall et Brown (1975) et Brown (1978), pour l'échantillonnage des allèles au cours de la collecte de matériel génétique. Marshall et Brown ont fait valoir que les allèles qui méritent un échantillonnage prioritaire sont ceux qui ont une présence fréquente, mais sur un périmètre restreint. Cette technique d'échantillonnage a été largement utilisée dans la collecte des ressources génétiques agricoles. Mais comment cette méthode s'applique-t-elle au niveau des variétés ? Si de nombreux agriculteurs cultivent une variété indigène dans de nombreuses régions, elle pourrait être considérée

comme très répandue. Cela nous conduit à considérer la sélection de variétés cultivées par de nombreux agriculteurs sur de petites parcelles comme prioritaires pour la conservation. Toutefois, il convient de noter que le fait qu'une race indigène soit cultivée par de nombreux agriculteurs dans de nombreuses petites zones réduit le risque de son extinction.

Une race indigène cultivée par seulement quelques agriculteurs dans les zones réglementées peut être considérée comme ayant une distribution très localisée (peu d'agriculteurs et de petites surfaces). Puis, cette race primitive pourrait être considérée comme unique et très menacée, donc elle devient importante pour la conservation ex-situ, parce que la conservation à la ferme d'un tel patrimoine génétique unique ne serait pas forcément suffisante. C'est également un moyen de lier la conservation sur l'exploitation et la conservation ex-situ. Si la conservation à la ferme de ce matériel génétique doit être envisagée, alors de plus amples renseignements sont nécessaires sur sa survie durant de nombreuses années.

Si une race indigène est cultivée par un petit nombre d'agriculteurs sur de grandes surfaces, il faut prêter attention à leur conservation en exploitation, parce que de telles races peuvent avoir des complexes de gènes adaptatifs et un potentiel pour une adaptation spécifique. En outre, sa survie à la ferme est assurée, rendant sa conservation plus rentable, ainsi que les opportunités de poursuite de son évolution. Enfin, les variétés qui sont cultivées par de nombreux agriculteurs sur de grandes zones sont probablement d'origine plus récente ; leur survie n'est pas menacée. Elles peuvent être des candidates pour la conservation en exploitation dans un avenir proche, une fois que la conservation d'espèces plus importantes est assurée.

## Représentativité des variétés indigènes de la diversité régionale

Dans ce chapitre, certains éléments de preuve ont été présentés pour démontrer que la richesse ou le nombre des variétés paysannes n'augmente pas nécessairement au même rythme que la diversité (richesse allénique). Il est possible que la diversité génétique d'un petit nombre de variétés dans certains villages soit comparable à la diversité génétique contenue dans les villages avec de nombreuses variétés. Il est également possible que quelques villages contiennent la majorité des caractères de régions beaucoup plus grandes.

Dans quelle mesure un site peut-il être représentatif de la diversité d'une région ? Afin de déterminer dans quelle mesure la diversité du maïs a été

représentée par une seule étude de site, celui de Yaxcaba, dans la province du Yucatan (péninsule du Yucatan), Chavez et ses collègues ont comparé la diversité agromorphologique de 314 variétés de maïs des trois provinces de la péninsule du Yucatan avec celle de 15 maïs locaux de Yaxcaba. La répartition géographique des deux principaux éléments montre que les échantillons de maïs de Yaxcaba possèdent des caractères très variables. La diversité, mesurée par les traits agromorphologiques, des 15 variétés de Yaxcaba couvre presque toute la palette de variations agromorphologiques existant dans toute la péninsule du Yucatan (figure 3.5)

De façon similaire, la caractérisation agromorphologique menée sur 312 types de fèvesoles représentant différentes variétés indigènes collectées à travers les plus grandes zones de culture de ces fèves au Maroc, a montré que la plus grande diversité a été couverte dans les échantillons provenant de deux provinces du nord (Belqadi 2003). Il semble y avoir une certaine relation entre géographie et diversité génétique. Il serait intéressant d'étudier si cela peut être attribué à des différences dans les pratiques des agriculteurs dans ces différentes provinces.

## Conclusion

Un des principaux résultats de l'examen de la relation entre les variétés nommées par les paysans et la diversité génétique à travers plusieurs pays et cultures est la reconnaissance du fait, que la caractérisation par les fermiers des unités de la diversité de cultures qu'ils gèrent, peut aller de la simple utilisation d'un nom générique comme *haricot* pour toutes les variétés, même si elles sont cultivées différemment, à une nomenclature géolocalisée variant en fonction des caractères de la variété.

Cette reconnaissance du fait, que le nom peut ou non représenter le niveau de la diversité de la gestion des agriculteurs, a permis d'affiner les méthodes de compréhension de la façon dont les agriculteurs gèrent la diversité à la ferme. Si un nom reflète clairement le niveau de diversité d'une race primitive plantée par l'agriculteur, alors ce nom peut être utilisé comme une unité de conservation. Lorsque le nom n'est pas compatible avec l'unité gérée par l'agriculteur, d'autres paramètres doivent être ajoutés pour définir précisément l'unité de conservation. Si des variétés bien distinctes sont toutes appelées "locales", alors le nom du village ou du foyer devrait entrer dans l'équation afin de définir ces éléments. Il est possible que certaines des rares variétés nommées dans un village ou une région soient sélectionnées à partir de quelques-unes des variétés les

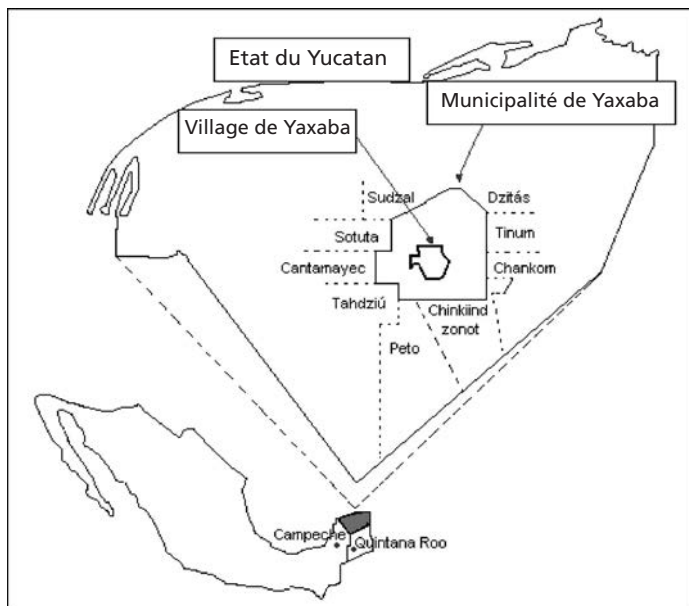
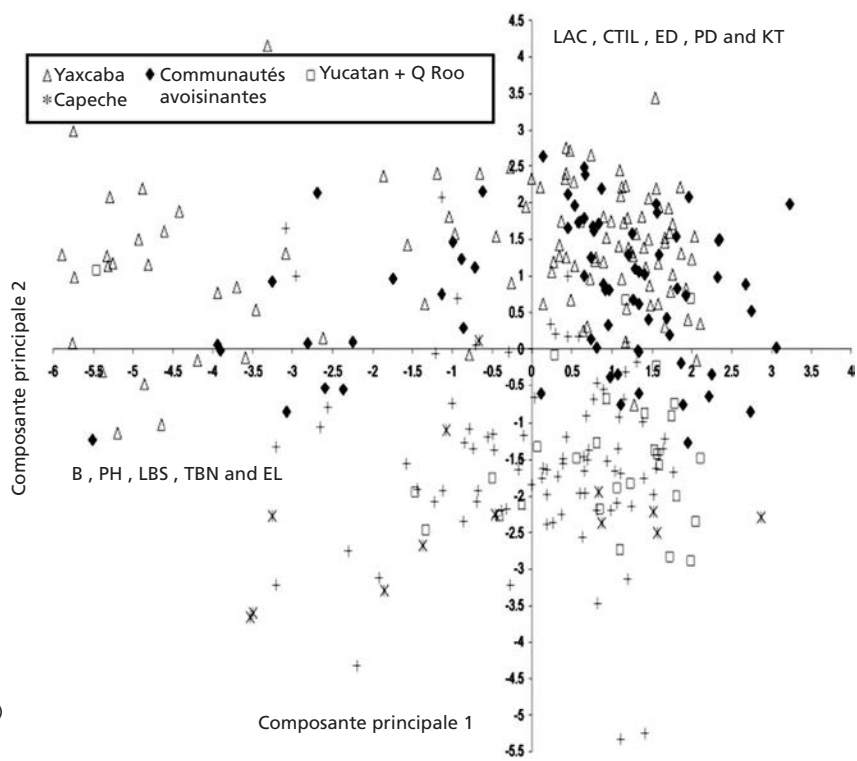


FIGURE 3.5

plus courantes et que les variétés communes contiennent toute la diversité des variétés rares. Analyser ce problème entraînerait l'examen d'une série de variétés rares et leur comparaison avec les variétés communes. Ces questions sont nécessaires pour comprendre le lien entre l'unité reconnue par l'agriculteur (ou son nom de variété) et l'effectif de la diversité génétique du système qu'il gère. On ne sait pas si les variétés communes utilisées dans un village ou une région ont tendance à être plus variables que les variétés moins courantes. Il est possible que les différences soient liées à des traits différents (et éventuellement à la répartition de la diversité) et que toutes les variétés aient presque la même richesse allélique. Si les variétés communes plantées localement par les agriculteurs ont le plus grand nombre d'allèles communs locaux, ou si les variétés rares que les agriculteurs conservent sont en effet des sélections de variétés plus communes, la question à poser serait de savoir si le maintien des variétés communes à la ferme est suffisant. Si les variétés localement communes semblent être particulièrement importantes pour les agriculteurs en raison de certaines caractéristiques spécifiques, on peut s'attendre à ce qu'elles contiennent

---

FIGURE 3.5. (a) Tableau de dispersion des deux éléments principaux montrant la dispersion de 314 populations de maïs de la péninsule du Yucatan. En 1999, des populations de maïs ont été prélevées dans les trois états de la péninsule du Yucatan : État du Yucatan, État de Quintana Roo et État de Campeche. Sur les 314 populations, 182 ont été collectées dans le village de Yaxcabá et les communautés avoisinantes, qui sont situées au cœur géographique et culturelle de la péninsule du Yucatan. Les populations sont caractérisées par 34 caractères morphologiques et phénologiques. L'axe 1 (composante principale 1) a été déterminé essentiellement par les fleurs (B), la hauteur des plantes (PH), la longueur de l'espace des branches (LB), le nombre total de branches à glands (TBN) et la longueur de l'épi (EL). L'axe 2 (composante principale 2), selon ses vecteurs propres, a été déterminé par les feuilles au-dessus de l'épi (BAC), la longueur des pointes centrales (CTIL), le diamètre de l'épi (ED), le diamètre de la moelle (PD) et la texture du grain (KT). Les principaux caractères morphologiques qui décrivent la différence entre les populations de maïs de la péninsule du Yucatan sont liés à des caractères de reproduction comme les glands (longueur, branches, nœuds), forme de l'épi (longueur, diamètre, moelle) et le grain (épaisseur, texture). Comme le montre le graphique, les populations de maïs en provenance de Yaxcabá et de ses communautés avoisinantes couvrent la quasi-totalité de la diversité morphologique le long de l'axe du deuxième composant principal, qui a été déterminé par les feuilles au-dessus de l'épi (BAC), la longueur des pointes centrales (CTIL), le diamètre de l'épi (ED), le diamètre de la moelle (PD) et la texture du grain (KT). La fleur (B), la hauteur du plant (ph), la longueur de l'espace des branches (LB), le nombre total de branches à glands (TBN) et la longueur de l'épi (EL) dans l'axe du premier composant principal établissent les différences entre les variétés des États de Campeche et de Quintana Roo d'un côté et celles de l'État du Yucatan de l'autre (Chavez-Serbie et al. 2000; Chavez-Serbie, Camacho, et Burgos-mai, données non publiées). Neighbor comm. = communes voisines; Q. Roo = Quintana Roo; Yaxcaba = commune visée. (b) Carte de l'origine des échantillons de maïs étudiés. Les États du Yucatan, Campeche et Quintana Roo forment la péninsule du Yucatan.

une forte proportion d'allèles locaux communs s'exprimant par l'adaptation. Soutenir le maintien à la ferme de ces variétés localement communes est donc particulièrement important, aussi bien pour l'usage des agriculteurs d'aujourd'hui que pour une utilisation potentielle pour l'humanité de demain.

## Remerciements

Ce travail est le résultat du projet global « Strengthening the Scientific Basis of In Situ Conservation of Agricultural Biodiversity On-Farm » (Renforcer les bases scientifiques de la conservation In-Situ de la biodiversité agricole dans la ferme) soutenu par l'Institut international des ressources phytogénétiques (International Plant Genetic Resources Institute-IPGRI). Les auteurs tiennent à remercier les gouvernements de la Suisse (Office fédéral pour le développement et de la coopération), des Pays-Bas (Direction générale de la coopération internationale), d'Allemagne (Bundesministerium für Wirtschaftliche Zusammenarbeit / Deutsche Gesellschaft für Zusammenarbeit Technische), du Canada (Centre de recherches pour le développement), du Japon (Agence japonaise de coopération internationale), d'Espagne et du Pérou pour leur appui financier, le Dr A.H.D. Brown pour sa révision du manuscrit et le Dr Jean-Louis Pham pour son aide dans la synthèse des idées sur les noms de variétés en tant que point d'entrée en matière de diversité à la ferme.

## Bibliographie

- Arias, L. 2004. *Diversidad genética y conservación in situ de los maíces locales de Yucatán, México*. [Genetic Diversity and In Situ Conservation of Local Maize in Yucatán, Mexico]. PhD thesis, Instituto Tecnológico de Merida, Yucatán, México.
- Arias, L., J. Chávez, B. Cob, L. Burgos and J. Canul. 2000. Agro-morphological characters and farmer perceptions: Data collection and analysis. Mexico. En D. Jarvis, B. Sthapit y L. Sears, eds., *Conserving Agricultural Biodiversity In Situ: A Scientific Basis for Sustainable Agriculture*, 95–100. Rome: IPGRI.
- Bajracharya, J. 2003. *Genetic Diversity Study in Landraces of Rice (Oryza sativa L.) by Agro-morphological Characters and Microsatellite DNA Markers*. PhD thesis, Bangor, UK.

- Bajracharya, J., K. A. Steele, D. I. Jarvis, B. R. Sthapit and J. R. Witcombe. 2006. Rice landrace diversity in Nepal. Variability of agro-morphological traits and ssr markers in landraces from a high altitude site. *Field Crop Research* 95:327-335.
- Bellon, M. R. and S. B. Brush. 1994. Keepers of the maize in Chiapas, Mexico. *Economic Botany* 48:196-209.
- Bellon, M. R. and J. E. Taylor. 1993. "Folk" soil taxonomy and the partial adoption of new seed varieties. *Economic Development and Cultural Change* 41(4):763-786.
- Belqadi, L. 2003. *Diversité et ressources génétiques de Vicia faba L. au Maroc: Variabilité, conservation ex situ et in situ et valorisation*. Doctorat de thèse- sciences agronomiques, Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, Rabat, Maroc.
- Benckekchou, Z. 2004. *Analyse de la structure de la diversité génétique de la fève in situ en relation avec sa gestion à la ferme: Contribution au développement des bases scientifi ques pour la conservation in situ de la fève au Maroc*. Mémoire de 3ème cycle du diplôme d'ingénieur d'état en agronomie, Option: Amélioration Génétique des Plantes. Rabat, Maroc: Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II.
- Boster, J. S. 1985. Selection for perceptual distinctiveness: Evidence from Aguaruna cultivars of *Manihot esculenta*. *Economic Botany* 39(3):310-325.
- Bouzeggaren, A., A. Birouk, S. Kerfal, H. Hmama and D. Jarvis. 2002. Conservation *in situ* de la biodiversité des populations noyaux de luzerne locale au Maroc. En A. Birouk, M. Sadiki, F. Nassif, S. Saidi, H. Mellas, A. Bammoune y D. Jarvis, eds., *La conservation in situ de la biodiversité agricole: Un défi pour une agriculture durable*. Rome: IPGRI.
- Brown, A. H. D. 1978. Isozymes, plant population Genetics structure and Genetic conservation. *Theoretical and Applied Genetics* 52:145-157.
- Brown, A. H. D. 2000. The genetic structure of crop landraces and the challenge to conserve them in situ on farms. En S. B. Brush, ed., *Genes in the Field*, 29-48. Ottawa, Canada: IDRC/IPGRI/Lewis Publishers.
- Brown, A. H. D. and C. Brubaker. 2002. Indicators for sustainable management of plant genetic resources: How well are we doing? En J. M. M. Engles, V. R. Rao, A. H. D. Brown y M. T. Jackson, eds., *Managing Plant Genetic Diversity*, 249-262. Rome: IPGRI y Wallingford, UK: CABI.
- Brush, S., R. Kesselli, R. Ortega, P. Cisneros, K. Zimmerer and C. Quiros. 1995. Potato diversity in the Andean Center of Crop Domestication. *Conservation Biology* 9(5):1189-1198.
- Burgos-May, L. A., J. L. Chávez-Servia and J. Ortiz-Cereceres. 2004. Variabilidad morfológica de maíces criollos de la península de Yucatán, México. En J. L. Chávez- Servia, J. Tuxill y D. I. Jarvis, eds., *Manejo de la diversidad de los cultivos en los agroecosistemas tradicionales*, 58-66. Cali, Colombia: Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos.



- Busso, C. S., K. M. Devos, G. Ross, M. Mortimore, W. M. Adams, M. J. Ambrose, S. Alldrick and M. D. Gale. 2000. Genetic diversity within and among landraces of pearl millet (*Pennisetum laucum*) under farmer management in West Africa. *Genetic Resources and Crop Evolution* 60:1-8.
- Camacho-Villa, C. and J. L. Chávez-Servia. 2004. Diversidad morfológica del maíz criollo de la región centro de Yucatán, México. En J. L. Chávez-Servia, J. Tuxill y D. I. Jarvis, eds., *Manejo de la diversidad de los cultivos en los agroecosistemas tradicionales*, 47-57. Cali, Colombia: Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos.
- Canh, N. T., T. V. On, N. V. Trung, C. A. Tiep and H. V. Lam. 2003. Preliminary study of genetic diversity in rice landraces in Ban Khoang Commune, Sa Pa District. En H. D. Tuan, N. N. Hue, B. R. Sthapit y D. I. Jarvis, eds., *On-Farm Management of Agricultural Biodiversity in Vietnam*. Proceedings of a symposium, Diciembre 6-12, 2001, Hanoi, Vietnam. Rome: IPGRI.
- Cazarez-Sánchez, E. 2004. *Diversidad genética y su relación con la tecnología de alimentos tradicionales*. MS thesis, Colegio de Postgraduados, Montecillos, Texcoco, México.
- Cazarez-Sánchez, E. and J. Duch-Gary. 2004. La diversidad genética de variedades locales de maíz, frijol, calabaza y chile, y su relación con características culinarias. En J. L. Chávez-Servia, J. Tuxill and D. I. Jarvis, eds., *Manejo de la diversidad de los cultivos en los agroecosistemas tradicionales*, 250-255. Cali, Colombia: Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos.
- Chávez-Servia, J. L., L. Burgos-May, J. Canul-Ku, T. C. Camacho, J. Vidal-Cob and L. M. Arias-Reyes. 2000. Análisis de la diversidad en un proyecto de conservación in situ en México [Diversity analysis of an in situ conservation project in Mexico]. *In Proceedings of the XII Scientific Seminar*, November 14-17, 2000, Havana, Cuba.
- Gauchan, D., M. Smale and P. Chaudhary. 2003. *(Market-Based) Incentives for Conserving Diversity on Farms: The Case of Rice Landraces in Central Terai, Nepal*. Paper presented at the fourth Biocon Workshop, August 28-29, 2003, Venice, Italy.
- Grum, M., E. A. Gyasi, C. Osei and G. Kranjac-Berisavljevic. 2003. *Evaluation of Best Practices for Landrace Conservation: Farmer Evaluation*. Paper presented at Sub-Saharan Africa Meeting, Nairobi, 2003.
- Hai, V. M., H. Q. Tin and N. N. De. 2003. Agromorphological variation of Mon Saptaro populations in the Mekong Delta, Vietnam: Role of on-farm conservation. En H. D. Tuan, N. N. Hue, B. R. Sthapit and D. I. Jarvis, eds., *On-Farm Management of Agricultural Biodiversity in Vietnam*. Proceedings of a symposium, December 6-12, 2001, Hanoi, Vietnam. Rome: IPGRI.

- Hamrick, J. L. and M. J. W. Godt. 1997. Allozyme diversity in cultivated crops. *Crop Science* 37:26–30.
- Harlan, J. R. 1975. Our vanishing genetic resources. *Science* 188:618–621.
- Hue, N., L. Trinh, N. Ha, B. Sthapit and D. Jarvis. 2003. Taro cultivar diversity in three ecosites of North Vietnam. En H. D. Tuan, N. N. Hue, B. R. Sthapit and D. I. Jarvis, eds., *On-Farm Management of Agricultural Biodiversity in Vietnam*. Proceedings of a Symposium, December 6–12, 2001, Hanoi, Vietnam. Rome: IPGRI.
- Jarvis, D., L. Myer, H. Klemick, L. Guarino, M. Smale, A. H. D. Brown, M. Sadiki, B. Sthapit and T. Hodgkin. 2000. *A Training Guide for In Situ Conservation On-Farm*. Version 1. Rome: IPGRI.
- Jarvis, D. I., V. Zoes, D. Nares and T. Hodgkin. 2004. On-farm management of crop genetic diversity and the Convention on Biological Diversity's Programme of Work on Agricultural Biodiversity. *Plant Genetic Resources Newsletter* 138:5–17.
- Karamura, D. A. 1999. *Numerical Taxonomic Studies of the East African Highland Bananas (Musa AAA–East Africa) in Uganda*. Montpellier, France: INIBAP.
- Karamura, D. 2004. *Estimation of Distinct Clones in the Uganda National Banana Germplasm Collection*. Presentation at “Workshop on Data Variables and Structure to Answer Questions That Support the Conservation and Use of Crop Genetic Diversity On-Farm,” September 20–24, 2004, Rome.
- Karamura, D. and E. Karamura. 1994. *A Provisional Checklist of Banana Cultivars in Uganda*. Kampala, Uganda: National Agricultural Research Organization (NARO) y INIBAP.
- Karamura, D., E. Karamura, J. Wasswa, B. Kayiwa, A. Kalanzi and C. Nkwiine. 2004. *Analysis of Community Banana Based Management Practices: A Farmers' Perspective Towards Maintaining Diversity*. Presentation at “Workshop on Data Variables and Structure to Answer Questions That Support the Conservation and Use of Crop Genetic Diversity On-Farm,” Septiembre 20–24, 2004, Rome.
- Latournerie Moreno, L., J. Tuxill, E. Yupit Moo, L. Arias Reyes, J. Crisotbal Alejo and D. I. Jarvis. 2006. Traditional maize storage methods of Mayan farmers in Yucatan, Mexico: Implication for seed selection and crop diversity. *Biodiversity and Conservation*, 15(5): 1771–1795.
- Lope, D. 2004. *Gender Relations as a Basis for Varietal Selection in Production Spaces in Yucatan, Mexico*. M.S. thesis, Wageningen University, The Netherlands.
- Louette, D., A. Charrier and J. Berthaud. 1997. In situ conservation of maize in Mexico: Genetic diversity and maize seed management in a traditional community. *Economic Botany* 51:20–38.
- Mar, I. and L. Holly. 2000. Hungary. Adding benefits. En D. Jarvis, B. Sthapit and L. Sears, eds., *Conserving Agricultural Biodiversity In Situ: A Scientific Basis for Sustainable Agriculture*, 194–198. Rome: IPGRI.

- Mar, I., A. Simon and A. Gyovai. 2004. *Data Variables on Percent Coverage, Number of Farmers, Measurements of Richness and Evenness in Maize and Beans in Hungary*. Presentación en “Workshop on Data Variables and Structure to Answer Questions That Support the Conservation and Use of Crop Genetic Diversity On-Farm,” Septiembre, 20–24, Rome.
- Marshall, D. R. and A. H. D. Brown. 1975. Optimal sampling strategies in genetic conservation. En O. H. Frankel and J. G. Hawkes, eds., *Crop Genetic Resources for Today and Tomorrow*, 53–80. Cambridge: Cambridge University Press.
- Martin, G. B. and M. W. Adams. 1987. Landraces of *Phaseolus vulgaris* (Fabaceae) in northern Malawi. I. Regional variation. *Economic Botany* 41:190–203.
- Morales-Valderrama, C. and T. Quiñones-Vega. 2000. Social, cultural and economic data collection and analysis including gender: Methods used for increasing access, participation and decision-making. In D. Jarvis, B. Sthapit and L. Sears, eds., *Conserving Agricultural Biodiversity In Situ: A Scientific Basis for Sustainable Agriculture*, 49–50. Rome: IPGRI.
- Mulumba, W. J., C. Nkwiine, K. B. Male, A. Kalanzi and D. Karamura. 2004. Evaluation of farmers’ best practices for on-farm conservation of rare banana (*Musa*) landraces in the semi-arid region of Lwengo sub-county, Masaka district—Uganda. *Uganda Journal of Agriculture* 9(1):275–281.
- Pandey, Y. R., D. K. Rijal, M. P. Upadhyay, B. R. Sthapit and B. K. Joshi. 2003. In situ characterization of morphological traits of sponge gourd at Begnas ecosite, Kaski, Nepal. En B. R. Sthapit, M. P. Upadhyaya, B. K. Baniya, A. Subedi and B. K. Joshi, eds., *On-Farm Management of Agricultural Biodiversity in Nepal*, 63–70. Proceedings of a national workshop, April 24–26, 2001, Lumle, Nepal. Kathmandu, Nepal: NARC/LI- BIRD/IPGRI.
- Pham, J. L., S. Quilloy, L. D. Huong, T. V. Tuyen, T. V. Minh and S. Morin. 1999. *Molecular Diversity of Rice Varieties in Central Vietnam*. Paper presented at the workshop of the participants of the project “Safeguarding and Preserving the Biodiversity of the Rice GenePool. Component II: On-Farm Conservation,” Mayo 17–22, 1999, International Rice Research Institute, Los Baños, Philippines.
- Pressoir, G. and J. Berthaud. 2004. Patterns of population structure in maize landraces from the Central Valleys of Oaxaca in Mexico. *Heredity* 92:88–94.
- Quiros, C. F., S. B. Brush, D. S. Douches, K. S. Zimmerer and G. Huestis. 1990. Biochemical and folk assessment of variability of Andean cultivated potatoes. *Economic Botany* 44(2):254–266.
- Rana, R. B. 2004. *Influence of Socio-Economic and Cultural Factors on Agrobiodiversity Conservation On-Farm in Nepal*. PhD thesis, International and Rural Development Department, University of Reading.

- Rh'rib, K., A. Amri and M. Sadiki. 2002. Caractérisation agro morphologique des populations locales d'orge des sutes Tanant et Taounate. En A. Birouk, M. Sadiki, F. Nassif, S. Saidi, H. Mellas, A. Bammoune and D. Jarvis, eds., *La conservation in situ de la biodiversité agricole: Un défi pour une agriculture durable*, 286–294. Rome: IPGRI.
- Rijal, D. K., B. R. Sthapit, R. B. Rana and D. I. Jarvis. 2003. Adaptation and uses of taro diversity in agroecosystems of Nepal. En B. R. Sthapit, M. P. Upadhyaya, B. K. Baniya, A. Subedi and B. K. Joshi, eds., *On-Farm Management of Agricultural Biodiversity in Nepal*, 29–36. Proceedings of a national workshop, April 24–26, 2001, Lumle, Nepal. Kathmandu, Nepal: NARC/LI- BIRD/IPGRI.
- Sadiki, M., M. Arbaoui, L. Ghaouti and D. Jarvis. 2005. Seed exchange and suply systems and on-farm maintenance of crop genetic diversity: A case study of faba bean in Morocco. En D. I. Jarvis, R. Sevilla-Panizo, J.-L. Chávez-Servia and T. Hodgkin, eds., *Seed Systems and Crop Genetic Diversity On-Farm*, 81– 86. Proceedings of a workshop, September 16–20, 2003, Pucallpa, Perú. Rome: IPGRI.
- Sadiki, M., L. Belqadi, M. Mahdi and D. Jarvis. 2001. Identifying units of diversity management by comparing traits used by farmers to name and distingúís faba bean (*Vicia faba* L.) cultivars with measurements of genetic distinctiveness in Morocco. En *Memorias del Simposio LEGUMED "Grain Legumes in the Mediterranean Agriculture,"* October 25–27, 2001, Rabat, Maorocco. París: AEP.
- Sadiki, M., A. Birouk, A. Bouizzgaren, L. Belqadi, K. Rh'rib, M. Taghouti, S. Kerfal, M. Lahbhili, H. Bouhya, R. Douiden, S. Saidi and D. Jarvis. 2002. La diversité génétique in situ du blé dur, de l'orge, de la luzerne et de la fève: Options de stratégie pour sa conservation. En A. Birouk, M. Sadiki, F. Nassif, S. Saidi, H. Mellas, A. Bammoune and D. Jarvis, eds., *La conservation in situ de la biodiversité agricole: Un défi pour une agriculture durable*, 37–117. Rome: IPGRI.
- Sawadogo, M., J. T. Ouedraogo, R. G. Zangre and D. Balma. 2005. Diversité biologique agricole et les facteurs de don maintien en milieu paysan. En D. Balma, B. Dossou, M. Sawadogo, R. G. Zangre, J. T. Ouedraogo and D. I. Jarvis, eds., *La gestion de la diversité des plantes agricoles dans les agro- ecosystèmes*. Comptendu des travaux d'un atelier abrite par CNRST, Burkina Faso et International Plant Genetic Resources Institute, Ouagadougou, Burkina Faso, December 27–28, 2001. Rome: IPGRI.
- Schneider, J. 1999. Varietal diversity and farmers' knowledge: The case of sweet potato in Irian Jaya. En G. Prain, S. Fujusaka y M. D. Warren, eds., *Biological and Cultural Diversity*, 97–114. London: It Publications.
- Sebastian, L. S., J. S. Garcia, L. R. Hipolito, S. M. Quilloy, P. L. Sanchez, M. C. Califo and J. L. Pham. 2001. *Assessment of Diversity and Identity of Farmers'*

- Rice Varieties Using Molecular Markers*. Conferencia Presentada en el Taller “In Situ Conservation of Agrobiodiversity: Scientific and Institutional Experiences and Implications for National Policies,” International Potato Center (CIP), August 14–17, 2001, La Molina, Peru.
- Soleri, D. and D. A. Cleveland. 2001. Farmers’ genetic perceptions regarding their crop populations: An example with maize in the central valleys of Oaxaca, México. *Economic Botany* 55(1):106–128.
- Sthapit, B., K. Joshi, R. Rana, M. P. Upadhaya, P. Eyzaguirre and D. Jarvis. 2000. Enhancing biodiversity and production through participatory plant breeding: Setting breeding goals. En *An Exchange of Experiences from South and South East Asia*. Memorias de The International Symposium on Participatory Plant Breeding and Participatory Plant Genetic Resources Enhancement, May 1–5, 2000, Pokhara, Nepal. Cali, Colombia: CIAT.
- Taghouti, M. and S. Saidi. 2002. Perception et désignation des entités de blé dur gérées par les agriculteurs. En A. Birouk, M. Sadiki, F. Nassif, S. Saidi, H. Mellas, A. Bammoune and D. Jarvis, eds., *La conservation in situ de la biodiversité agricole: Un défi pour une agriculture durable*, 275–279. Rome: IPGRI.
- Tanto, T. 2001. . Unpublished data presented at “Strengthening the Scientific Basis of In Situ Conservation of Agricultural Biodiversity: Genetic Diversity and On- Farm Conservation Workshop,” June 11–19, 2001, Ouagadougou, Burkina Faso.
- Tesfaye, B. and P. Ludders. 2003. Diversity and distribution patterns of enset landraces in Sidama, southern Ethiopia. *Genetic Resources and Crop Evolution* 50:359–371.
- Teshome, A., B. R. Baum, L. Fähring, J. K. Torrance, T. J. Arnason and J. D. Lambert. 1997. Sorghum (*Sorghum bicolor*) landrace variation and classification in North Shewa and South Welo, Ethiopia. *Euphytica* 97:225–263.
- Tuyen, T. V., N. V. Truong and H. T. T. Hoa. 2003. *Farmers’ Management of Taro Diversity as a Part of Farming Systems in a Coastal Sandy Area of Phuda*. Paper presented at the national workshop “Strengthening the Scientific Basis of In Situ Conservation of Agricultural Biodiversity On- Farm,” December 6–8, 2002, Ban Me Thuot, Vietnam.
- Voss, J. 1992. Conserving and increasing on-farm genetic diversity: Farmer Management of varietal bean mixtures in central Africa. En J. L. Moock and R. E. Rhoades, eds., *Diversity, Farmer Knowledge and Sustainability*, 34–51. Ithaca, NY: Cornell University Press.
- Xu, J. C., Y. P. Yang, Y. D. Pu, W. G. Ayad, and P. Eyzaguirre. 2001. Genetic Diversity in taro (*Colocasia esculenta* Schott, *Araceae*) in China: An ethnobotanical and genetic approach. *Economic Botany* 55:14–31.
- Zimmerer, K. S. 2003. Just small potatoes (and ulluco)? The use of seed-size variation in “native commercialized” agriculture and agrobiodiversity conservation among Peruvian farmers. *Agriculture and Human Values* 20:107–123.

Zimmerer, K. S. and D. S. Douches. 1991. Geographical approaches to native crop research and conservation: The partitioning of allelic diversity in Andean potatoes. *Economic Botany* 45:176-189.

## 4 Les systèmes de semences et la diversité génétique des cultures dans les écosystèmes agricoles

---

T. HODGKIN, R. RANA, J. TUXILL, D. BALMA, A. SUBEDI, I. MAR,  
D. KARAMURA, R. VALDIVIA, L. COLLADO, L. LATOURNERIE, M. SADIKI,  
M. SAWADOGO, A. H. D. BROWN, et D. I. JARVIS

Durant le dernier siècle, les gouvernements ont consacré d'importants budgets à la modernisation de leurs secteurs agricoles, au développement et à la dissémination des variétés améliorées des cultures. Malgré ces efforts, la majorité des communautés agricoles rurales dans les pays en voie de développement continuent à utiliser les sources traditionnelles et informelles d'approvisionnement en semences et en matériel végétal de plantation (Gaifani 1992 ; Hardon et Boef 1993 ; Tripp 2001). Les fermiers produisent leurs propres graines ou ils en obtiennent auprès de leurs amis, leurs proches, leurs voisins ou dans les marchés locaux. Dans les systèmes informels, les graines peuvent être obtenues par le biais de transactions monétaires, de troc, sous la forme de cadeaux, par l'échange d'une variété de semence contre une autre, comme prêt à rembourser après la récolte ou même par expropriation clandestine d'un autre champ agricole (Badstue et al. 2002). Même les semences des variétés développées par le secteur formel sont souvent conservées et distribuées d'une manière informelle (Mellas 2000 ; Bellon et Risopoulos 2001) et largement indépendante des institutions gouvernementales.

Au Népal, en 1999-2000, moins de 3 % des graines de riz ont été achetées à partir du secteur semencier formel et certifié. Les systèmes semenciers informels sont largement répandus et importants au Burkina Faso où moins de 5 % du sorgho a été acheté en 1999 (Kabore 2000), et au Mexique moins de 25 % des graines de maïs ont été achetées à partir des secteurs formels en 1999 (Ortega-Paczka et al. 2000). Au Maroc, en 1999-2000, seulement 13 % des graines de blé dur et 2,5 % des graines des légumes proviennent des semences certifiées. Ces taux indiquent que la majorité des

semences provient d'une diversité de culture locale ou de semences conservées provenant d'achats antérieurs (Mellas 2000). Par ailleurs, les variétés traditionnelles ou indigènes représentent toujours une part importante du matériel végétal qui circule dans ces systèmes informels dans le monde. Plus que 50% des emblavures de maïs au Mexique, plus que 50% des emblavures de riz au Népal et plus que 90% des emblavures de millet au Burkina Faso sont encore cultivées de variétés traditionnelles (Upadhaya 1996 ; Perales 1998 ; Zangre 1998).

Plusieurs études sur le fonctionnement des systèmes semenciers informels sont disponibles. Elles mettent en valeur la capacité de ces systèmes à satisfaire les besoins des agriculteurs durant les circonstances difficiles : inondations, sécheresses et guerres (Almekinders et al. 1994 ; Richards et Ruivenkamp 1997 ; Sperling 2001). D'autres études se sont concentrées sur les institutions sociales impliquées dans les réseaux semenciers informels ou sur comment elles arrivent à satisfaire les besoins des agriculteurs (Weltzien et vom Brocke 2000). Une partie importante de ce travail concerne essentiellement le rôle des systèmes semenciers, plutôt que le matériel végétal trouvé dans ces systèmes. Ainsi, Mc Guire (2001) a fait sa recherche en se concentrant sur le processus de l'approvisionnement en semences, tandis que Dominguez et Jones (2005) ont décrit les systèmes semenciers comme moyens permettant aux agriculteurs de produire, sélectionner, conserver et acquérir les semences. Il en est de même pour Almekinders et al. (1994) qui ont analysé les systèmes semenciers, en termes d'abondance de semences, ainsi que d'autres matériels végétaux de plantation, à travers les systèmes de production et les rôles des institutions sectorielles formelles et informelles et ceux des agriculteurs.

Les systèmes semenciers jouent un rôle important dans le maintien de la diversité génétique agricole dans les fermes. Le nombre et les proportions des différentes variétés, leur disponibilité, leurs relations et leurs mouvements dans la localité dépendent clairement du fonctionnement des systèmes semenciers informels locaux (Jarvis et al. 2005), qui peuvent être très dynamiques et variables d'une année à une autre. Les caractéristiques des ces systèmes et leur manière de changer au fil du temps, semblent avoir un impact palpable sur la diversité génétique intra-spécifique. Certaines des caractéristiques importantes des systèmes semenciers pouvant affecter la diversité génétique incluent la disponibilité, l'accessibilité, la provenance des ressources, les méthodes d'entretien et leur capacité de changer au fil du temps.

Les systèmes semenciers font l'objet de changement au niveau de la disponibilité des produits. Ceci est dû à la variation touchant la produc-



tion, le marché et le climat, ainsi qu'aux catastrophes telles que les sécheresses et les ouragans. Les unités de maintenance manifestent une grande variation aussi. Dans certains cas, les ménages maintiennent des variétés-populations séparément. Dans d'autres cas, les variétés-populations sont brassées, puis séparées en lots de semences afin d'être plantées par la suite dans de nouveaux sites. Les deux sélections, naturelle et effectuée par les agriculteurs, peuvent avoir un effet substantiel sur les semences produites pour les prochaines campagnes agricoles. Les agriculteurs peuvent avoir des perspectives et des pratiques différentes dans la gestion de leurs stocks de semences et dans l'introduction de nouvelles ressources génétiques, ceci peut dépendre du genre, de l'âge et des moyens financiers. Les régions produisant des variétés particulières varient elles aussi d'une manière substantielle : bien que certaines soient maintenues à l'échelle locale, d'autres font partie de systèmes semenciers extrêmement extensifs qui s'étendent sur plusieurs régions, voire pays (Louette et al. 1997; Zimmerer 2003; Valdivia 2005).

Dans ce chapitre, des travaux effectués dans le cadre du projet mondial de l'Institut international des ressources phylogénétiques (IPGRI) portant sur la conservation à la ferme (Jarvis et Hodgkin 2000), ainsi que d'autres informations concernant les systèmes semenciers et la diversité génétique ont été revus. Le fonctionnement des différents éléments des systèmes de semences (par ex : source, flux, production, stockage et sélection des agriculteurs) est examiné selon les forces évolutives qui forment la structure génétique des populations de variétés cultivées dans les fermes. La manière avec laquelle les différentes caractéristiques des systèmes de semence contribuent au flux des gènes, à la migration, à la sélection, à la mutation et à la recombinaison sera examinée. Enfin, on discutera comment les systèmes de semence contribuent au maintien de la diversité génétique agricole, tout en s'interrogeant sur le moyen d'optimiser leur soutien au maintien de la capacité d'adaptation, au niveau des cultures au fur et à mesure que les systèmes agricoles s'intensifient.

## La structure des populations et les systèmes de sélection

Les variétés traditionnelles se composent d'un certain nombre de lots de semences maintenus par les agriculteurs. Le premier problème qui se pose dans toutes les analyses des systèmes de semence est souvent celui de l'identité, établissant que les différents lots de semences appartiennent réellement à la même variété et déterminant les relations entre le nom de la

variété et la composition génétique. Ceci implique l'analyse des manières avec lesquelles les agriculteurs d'une localité donnent des noms aux variétés et comprennent leur identité (voir chapitre 3). Travaillant sur le maïs au Mexique, Louette et al (1997) ont défini un lot de semences comme étant une unité physique de graines qui s'associe à l'agriculteur qui la sème, et une variété ou un cultivar comme étant un ensemble de lots de semence appartenant aux fermiers, qui portent le même nom et qui ont des origines et des caractéristiques communes.

Sadiki et al. (2005 ; chapitre 3) ont démontré qu'il était possible d'identifier un ensemble de caractéristiques qu'utilisent constamment les agriculteurs pour identifier des variétés. Ils ont également suggéré que ceci peut assurer une base pertinente pour l'analyse de la gestion des variétés, leur maintenance et leur évolution.

L'analyse de la diversité génétique, dans les systèmes de semence, exige une description de la structure de la métapopulation des variétés locales d'une culture; et le processus de production et d'approvisionnement en semences. Il s'agit d'analyser les tailles et la connectivité du réseau sous forme de sous-populations isolées partielles et variables, qui composent les plantations des variétés dans une région. Les liens entre les composantes du réseau découlent du système d'approvisionnement en semences ou des flux de semences à travers ce système. Comme les différents lots de semences sont adaptées à différents endroits et les agriculteurs effectuent leur propre sélection, les différents lots de semences ont tendance à diverger. Ceci sera équilibré par l'échange ou la vente de graines ou par l'approvisionnement, en matériel végétal, des marchés ou d'autres sources.

Un des principaux facteurs déterminant la structure génétique des variétés traditionnelles est le système de sélection de la culture (Brown, 2000). Beaucoup de cultures comme le riz, le blé et l'orge sont en grande partie autogames, tandis que d'autres tels que le mil et le maïs sont à pollinisation croisée. D'autres encore, tels que la pomme de terre, le manioc, la banane ainsi que plusieurs arbres fruitiers, sont multipliés par voie végétative et les semences sont rares ou absentes. L'auto-pollinisation des cultures se fait rarement de la sorte, tandis que la pollinisation croisée peut être rare dans les cultures comme le riz, le sorgho ou la fève, elle peut atteindre des niveaux importants (par exemple, 84% pour la fève; Bond et Poulsen, 1983).

Puisque le maintien des propriétés et des caractéristiques particulières des variétés spécifiques semble facile à l'autopollinisation libre ou à la propagation clonale des cultures, le maintien de variétés spécifiques avec des ensembles complexes de traits semble plus problématique dans les allo-

games. Le flux de gènes entre les champs adjacents renfermant différentes variétés est commun (Louette et al. 1997), suggérant que la sélection doit se produire à chaque génération pour maintenir les caractères des variétés avec des traits reconnus. Yadav et al. (2003) ont démontré que dans le cas des Luffas, une culture à pollinisation libre, les agriculteurs au Népal ont développé de très petites cultures de plantes (seulement une ou deux), même au niveau communautaire, cinq types distincts seulement ont été maintenus. Il semble que les flux génétiques doivent être pris en considération par les ménages afin de limiter le problème de consanguinité, combinée avec la sélection effectuée par les agriculteurs afin de préserver l'identité du type.

Dans la plupart des cultures à propagation clonale, la «semence» est en fait une autre partie de la plante (par exemple, des tubercules pour la pomme de terre ou pour l'igname, corme pour le taro, bourgeon clonal pour la banane). La variation intravariétale devrait être très limitée (voir Brush et al. 1995 et Zimmerer et Douches 1991 pour des informations sur la variation intravariétale de pomme de terre). Karamura et al. (2005) ont suggéré que ceci a des implications sur la durabilité du système parce que tandis que tout ce qui entoure la plante, comme la texture du sol, les nutriments et la disponibilité de l'eau peuvent avoir changé au fil des siècles la constitution génétique de la banane peut ne pas avoir autant changé. Cela peut être particulièrement important lorsque des changements rapides se produisent sur de courtes périodes, comme dans l'adoption par un agriculteur de pesticides, d'herbicides et d'engrais.

## Systèmes de semences et l'opération de l'évolution des forces

Les propriétés des systèmes de semences tels que les sources de semences, l'écoulement des semences, la production de semences, la sélection des agriculteurs et le stockage de semences ont un impact majeur sur l'étendue et la distribution de la diversité génétique, dans le système d'agriculture traditionnel, à travers leurs effets sur les forces d'évolution qui maintiennent ou changent la forme génétique des populations de plantes. Ces forces sont la taille et les goulots d'étranglement de la population, et leur effet sur la dérive génétique; la migration, qui inclue l'échange de la semence et du flux de pollen; la recombinaison et la mutation, qui créent de nouveaux gènes et de nouvelles combinaisons, et la sélection comme résultat des forces de l'environnement ou des actions humaines.

### *Taille de la population, goulots d'étranglement et dérive génétique: Le nombre et la taille des populations qui sont sources de semences*

La taille de la variété ou de la population des lots de semences varie largement pour différentes plantes cultivées en différentes situations. Comme mentionné plus haut, la population de Luffa au Népal est très petite, et les ménages ne plantent pas généralement plus de 10 spécimens (Yadav et al. 2003). La même chose est vraie pour plusieurs cultures de jardins familiaux (Watson and Eyzaguirre 2002; Mar et al. 2005). En revanche, les agriculteurs plantent une population de milliers d'individus d'une seule variété de culture comme le riz ou l'orge.

À part les différences marquées entre les cultures par rapport à la taille de la population, il peut aussi y avoir des changements importants à travers les années pour n'importe quelle variété, et la décision des agriculteurs concernant la taille et le placement de leurs terres aura un effet significatif sur la taille et la structure de la population. A Ban Mae Moot, en Thaïlande, un village d'environ 100 familles, le nombre de champs utilisés pour certaines variétés a changé de façon significative au fil des années. Considérant que les deux variétés les plus populaires sont restées inchangées en 2001 et 2002, une variété qui a été cultivée dans seulement trois domaines dans une zone en 2001 est devenue la troisième plus populaire en 2002, cultivée par 16 agriculteurs dans les cinq domaines de culture du village. Dans ce cas, les semences supplémentaires pour l'expansion ont été fournies par l'un des agriculteurs, et les nouveaux agriculteurs ont conservé leurs propres stocks pour les années futures (K. Rerkasem, comm. Pers., 2003).

La réduction spectaculaire de la couverture (et la taille de la population) des variétés aussi n'est pas rare. Chaudhary et al. (2004) ont enregistré une réduction du nombre d'agriculteurs qui maintiennent une seule variété de riz traditionnel de 16 à 3 en une seule année (dans la même année, le nombre de variétés traditionnelles maintenues a chuté de 22 à 15). A part la variation du nombre d'agriculteurs (ou le nombre de sous-population), des changements importants peuvent se produire dans les zones de production, tant au niveau du village qu'au niveau de la ferme.

Les décisions des agriculteurs sur la taille de la population peuvent également être contrôlées par le gouvernement. En Hongrie, la réglementation qui régit les semences limite la taille de la population des variétés indigènes de maïs, car ces dernières ne peuvent pas être plantées sur de

vastes champs et sont donc limitées à de petites superficies et aux jardins familiaux (Mar et al. 2005).

De fortes baisses dans le nombre de fermiers cultivant une variété suivie par des augmentations, crée des goulots d'étranglement génétique souvent associés à une perte de diversité génétique. Cela peut se produire à la suite de catastrophes comme les inondations ou les ouragans, où la disponibilité des semences locales est très limitée, comme dans le cas des haricots au Mexique.

L'entretien, à long terme, des petites tailles de population est également susceptible de réduire la diversité génétique.

Pour examiner les effets sur la diversité de la taille de la population, il faut prendre en compte à la fois la taille du lot de semences (la population entretenue par les agriculteurs individuels) et la taille de la variété (la population combinée des différents lots de semences) et considérer la quantité de l'échange ainsi que le mélange qui se produit entre les lots de semences au fil du temps. La façon dont les différents lots de semences sont liés, pour constituer une seule population plus large d'une variété, dépend également du système de reproduction de la culture et de la disposition physique des unités de production dans une zone. Les champs des agriculteurs peuvent être grands ou petits, proches ou très éloignés. Cette structuration peut avoir une série d'effets sur la diversité génétique des cultures, en fonction également de la mesure de pollinisation croisée. Qualset et al. (1997) ont suggéré que de petites exploitations isolent les populations diverses les unes des autres, réduisant ainsi la production de nouveau matériel génétique par recombinaison naturelle. S'appuyant sur la théorie de la biogéographie (McArthur et Wilson 1967), Qualset et al. (1997) ont suggéré que, sans la gestion de l'homme, la diversité génétique dans de petites parcelles de cultures subirait la dérive génétique, et les populations montreraient une baisse de consanguinité. Ils ont également suggéré que les apports de l'homme pourraient compenser ces processus et introduire de nouvelles caractéristiques génétiques des populations isolées par le biais d'échanges de semences et de sélection des agriculteurs (voir aussi Louette et al. 1997).

L'effet de la dérive génétique dépend de la taille de la population et est souvent considéré comme étant d'une importance limitée lorsque la taille de la population est grande (Gillespie, 1998), comme dans le cas de la plupart des plantes qui sont de plus en plus cultivées dans les systèmes agricoles.

L'ampleur probable, de la dérive génétique par rapport à la fréquence des allèles et la perte d'allèles de la population peuvent être explorés à travers le concept de la taille effective de la population. Ce paramètre est

résumé à la standardisation et est défini comme la taille d'une population idéalisée hypothétique qui donnerait lieu à la même augmentation de la consanguinité (ou la perte d'hétérozygotie, ou la variance de la fréquence des allèles), au sein de la population réelle à l'étude.

Pour les plantes cultivées, les données sur les effets génétiques de la population et la taille des sous-populations sont très limitées. Louette (2005) décrit l'instabilité génétique des variétés de maïs locales et exotiques du Mexique en raison de la petite taille de la population. En Cuzalapa, les champs agricoles sont limités, et les différentes variétés sont semées dans le même domaine.

La taille des lots de semences plantés par variété est faible, et plus de 30% des lots de semences semées au cours des six saisons de culture couverts par l'enquête Louette ont été constitués de moins de 40 épis. Une proportion importante des lots de semences a été, par conséquent, soumise à une réduction régulière de la taille de leur population, ce qui entraîne des fluctuations dans leur diversité et, éventuellement, la perte des allèles rares.

Le changement spectaculaire de la taille de la population (et la nature de la population source) qui permet de suivre les saisons de faible production est bien illustré pour les variétés de féverole au Maroc. Une comparaison des profils divers, après les différentes saisons au Maroc montre que les mêmes variétés sont cultivées dans chaque village.

Toutefois, la fréquence de chaque variété dans le flux de semences ou de mouvements (proportion de semences de chaque variété dans la quantité totale de semences utilisées dans un village) change selon le type de la saison et la source d'approvisionnement en semences. Dans les bonnes années, la semence est fournie par les agriculteurs dans les villages. Par contre, si les années s'avèrent difficiles, les agriculteurs doivent acheter des semences de leurs variétés préférées aux marchés locaux. Durant les bonnes années, ils maintiennent un plus grand nombre de lots de graines d'un grand nombre de variétés, alors qu'ils ne le font pas au cours des années difficiles. Durant les années favorables, il y a des sources de populations plus individualisées et qui sont souvent assez faibles, alors que durant les années difficiles, on a recours à une seule source de population de grande taille (du marché). En outre, la fréquence des variétés change en termes de superficie cultivée (encadré 4.1).

Sur le plan général, deux autres points peuvent être prononcés quant à l'effet de la taille de la population sur la diversité génétique. Tout d'abord, la dérive génétique et les goulets d'étranglement de la taille de la population ont plus d'impact immédiat sur la richesse allélique que ce qu'ils ont sur la régularité. Les variantes rares se perdent en premier. Il y a peu

**Encadré 4.1.** Statistiques liées aux comparaisons de la diversité: Nombre effectif des populations naturelles dans une zone donnée

Supposons que dans une ferme ou un village une enquête révèle que les six variétés ainsi que les fréquences observées  $\{p_i\}$  soient comme suit:

$\{0,5, 0,25, 0,1, 0,05, 0,05, 0,05\}$

Le concept du nombre effectif d'entités (p.e. variétés indigènes, origines) dans une région est le nombre d'entités ( $n_e$ ) avec une fréquence identique ( $1/n_e$ ) qui donnerait la même probabilité d'ascendance identique que lorsque deux gènes sont aléatoires par rapport à leur origine:

$$n_e = 1 / (\sum p_i^2)$$

Pour ce vecteur de fréquences, le nombre de variétés ici est de 6, le nombre effectif est de 3,03 (4,1 tableau de l'encadré).

TABLEAU DE L'ENCADRÉ 4.1. Exemple: Composition des variétés de semences de féverole possédées par les agriculteurs dans 9 villages du site d'Ortazagh, Maroc.

Moyenne	Année favorable	Année moyenne		Année défavorable
	9 villages	9 villages	7 villages *	9 villages
Proportion des semences de la ferme	0.93	0.82	0.4	0.31
Le nombre réel des variétés	5.1	5.0	4.6	3.6
Nombre effectif des variétés	3.49	3.53	2.54	1.97 <sup>†</sup>

Sources: Arbaoui (2003); Ghaouti (2003).

\* Ces moyennes excluent les deux villages qui ont planté seulement des semences achetées.

† Dans les deux villages où aucune des variétés indigènes n'a été plantée, le nombre effectif a été défini comme étant égal à zéro.

Conclusion: au cours d'une année défavorable, les agriculteurs ont moins de semences autoproduites à planter, avec une faible richesse de variétés locales et une faible régularité des fréquences.

d'informations sur la gravité de la situation au niveau génétique dans les systèmes de cultures de semences, bien qu'il soit clair que les variétés rares sont les premières à disparaître quand le nombre de variétés sont réduites à de courtes périodes (Chaudhary et al. 2004).

Ainsi, par exemple, la diversité agro-morphologique totale du *Phaseolus lunatus* est maintenue dans 30 jardins familiaux cubains situés dans trois parties différentes de Cuba. Cette diversité semble garder un niveau élevé (Castiñeiras et al. 2001a), bien que maintenue dans des populations étroites et apparemment isolées. A noter, que les tailles effectives des populations doivent sans doute être très faibles si elles représentent l'unique agent majeur responsable d'érosion génétique. Toutefois, lorsqu'elle est combinée avec la sélection, une petite taille pourrait sérieusement éroder la diversité non sélectionnée. Cette situation pourrait concerner les variétés maintenues dans les jardins familiaux (Castiñeiras et al, 2001b; Yadav et al 2003; Mar et al 2005.), qui pourraient être exploitée pour analyser cette possibilité.

### *Migration: échange de semences et de pollen*

La migration est la dispersion ou le mouvement des plantes individuelles, d'éléments de reproduction végétative, de graines ou du pollen entre des populations ou sous-populations qui habituellement, mais pas nécessairement différent dans leurs fréquences de gènes. Deux types de migration de semences peuvent être distingués: la migration entre les populations d'une même variété indigène entre les champs agricoles, les agriculteurs ou les communautés, ou bien les migrations entre populations de différentes variétés suite à un mélange délibéré ou accidentel.

La migration des semences par médiation semble être un élément particulièrement important des systèmes de semences traditionnels, dans la mesure où la dispersion ou le mouvement des semences est concerné. Le flux de gènes par le pollen est également susceptible d'être important, mais l'information sur sa présence (soit entre les populations de la même variété ou entre les différentes variétés) dans les systèmes agricoles traditionnels est très limitée (voir Louette 2005). Toutefois, ceci est actuellement considéré en tant qu'élément d'une importance particulière en raison de la propagation croissante de nouvelles variétés contenant des trans-gènes (Gepts et Papa 2003).

Les systèmes de semences traditionnels sont dynamiques, avec des changements fréquents dans les nombres, les identités et la distribution des variétés locales.

De nouvelles variétés et matériaux deviennent constamment disponibles sur les marchés locaux ainsi qu'à travers les programmes d'élevage commerciaux ou nationaux, ce qui complique davantage l'analyse des conséquences génétiques de la migration dans les systèmes de semences



traditionnels. La migration est généralement considérée comme une force puissante d'homogénéisation par rapport à l'étendue et à la répartition de la diversité génétique, et il est possible qu'elle agisse comme un moyen important permettant de maintenir l'identité de nombreuses variétés indigènes de plantes cultivées.

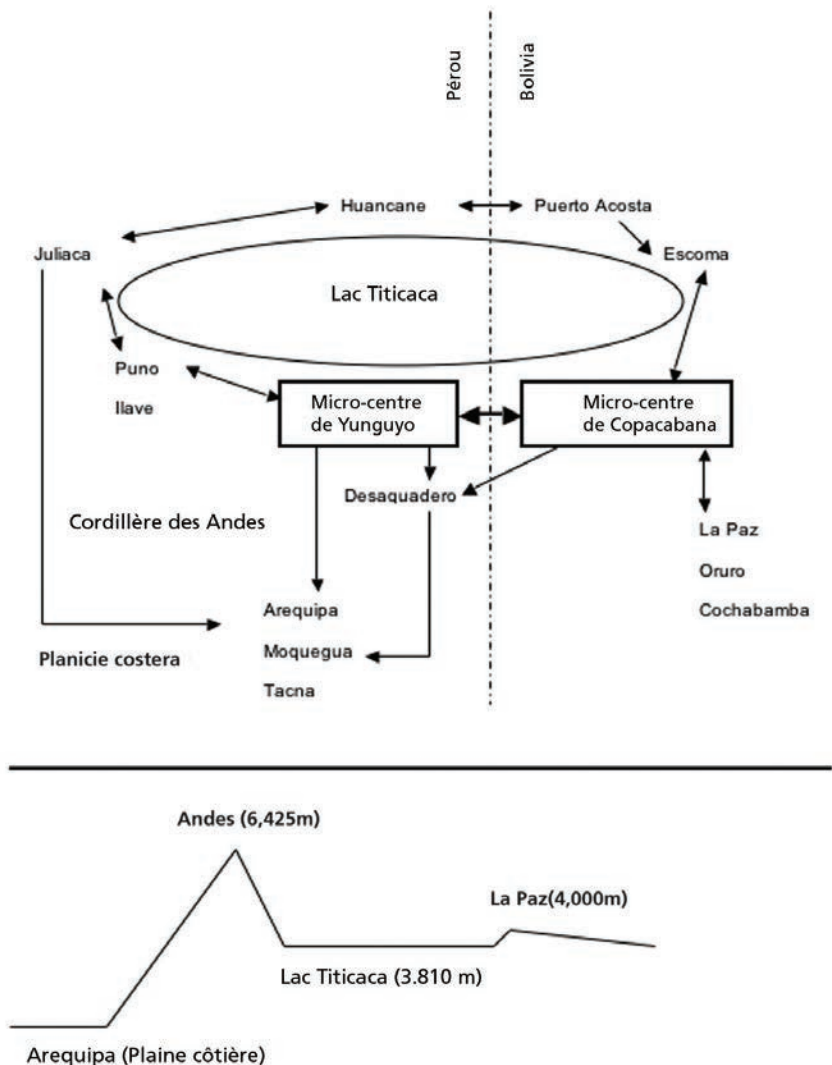


FIGURE 4.1. Mode de distribution de la variété Oca Isleño en Bolivie et au Pérou

La plupart des migrations dans les systèmes agricoles traditionnels semblent s'effectuer plutôt à l'échelle locale. Entre 75% et 100% des semences utilisées par les agriculteurs dans la vallée d'Aguaytia au Pérou ont été échangées au sein de la communauté. Seuls les haricots, le manioc et les semences de maïs ont été échangés en dehors de la communauté. Ces semences constituaient respectivement 25%, 15,2% et 13,5% (Riesco 2002).

Dans une étude plus détaillée, Collado-Panduro et al. (2005) ont constaté que l'échange de semences de maïs, de manioc, d'arachides, de piment, et de coton entre les 13 communautés le long de la rivière centrale de l'Amazonie au Pérou, a été nettement inférieur qu'au sein des communautés elles mêmes. Cela semble refléter des difficultés d'accès et de communication entre les communautés et la rivière qui représente l'unique passage qui les relie.

Toutefois, l'ampleur de la migration peut être beaucoup plus grande. Les variétés de pommes de terre au Pérou sont souvent transférées entre les différentes altitudes, dans le cadre de la production de semences et de pratiques de gestion (Zimmerer 1996). De plus grandes distances peuvent être impliquées, comme illustré par Valdivia (2005) pour certaines racines et tubercules des Andes (figure 4.1).

La variété des Andes oca Isleño, cultivées dans les champs de Cochabamba (Bolivie), a été vendue sur le marché local. De Cochabamba, elle a été emmenée vers Oruro et La Paz. De La Paz (El Alto), elle a été transférée vers les communautés voisines et à la frontière entre la Bolivie et le Pérou. De là, elle est entrée au Pérou, et du matériel a été emmené vers Yunguyo (qui semble être un centre de Micro-conservation), où il a été vendu à nouveau.

Les destinations de cette variété, en tant que semences, ont été les communautés d'Apillani, Ollaraya, et Unicachi, ainsi que les grandes villes telles que Ilave, Puno et Juliaca, d'où elle a été transmise aux communautés voisines pour semence et consommation. Les autres destinations, étaient essentiellement les villes côtières du Pérou comme Tacna, Moquegua, Arequipa pour des fins de consommation. En fonction de la production et des conditions climatiques, la route migratoire de la graine peut aussi aller dans le sens inverse.

Ainsi, les semences de Huancane (Pérou) ont été transférées à Puerto Acosta (Bolivie) et de là à La Paz, où elles ont été transférées vers d'autres régions de la Bolivie. La distance séparant Cochabamba en Bolivie d'Arequipa au Pérou, dépasse les 800 km. D'autres exemples illustrant la cir-

cultivation des variétés entre les communautés ou les régions, comprennent la fourniture de matériel de plantation du manioc dans l'Amazonie brésilienne (Coomes 2001), ou le déplacement de quelques variétés spécifiques d'orge au Népal. Cependant, en aucun cas le mouvement de matériaux n'a pu associer les aspects complexes attribués à la variété oca.

#### LE REMPLACEMENT DE SEMENCES ET LES SOURCES DE GRAINES

Bien que la plupart des agriculteurs préfèrent conserver leurs propres semences le plus possible, au bout d'un certain nombre d'années ils seront amenés à les remplacer, que ce soit en partie ou en totalité, par des graines de la même variété provenant d'une autre source. Cette source est généralement un parent, un voisin, ou le marché local (généralement dans cet ordre de préférence). De cette façon, sur une période de plusieurs années, une dynamique de mouvement et de mélange se produit, dans laquelle la progéniture des populations individuelles est échangée entre les agriculteurs, se mélange lors de l'échange ou à la commercialisation, joue le rôle de source permettant d'établir de nouveaux échanges, ou disparaît. Les limites de ces migrations varient selon les cultures, les pays et les communautés, reflétant les facteurs environnementaux, les limites de production, les relations sociales, et les conditions socio-économiques.

**Tableau 4.1** Les pratiques agricoles de remplacement de graines concernant des variétés indigènes de haricots et de maïs en Hongrie

	Dévaványa				Örség				Tiszahát			
	Haricot		Maïs		Haricot		Maïs		Haricot		Maïs	
	Nbre	%	Nbre	%	Nbre	%	Nbre	%	Nbre	%	Nbre	%
<i>Remplacement</i>												
Pas de remplacement de semences	26	31	10	21	56	56	24	37	57	58	41	50
Au moins entre 3 et 6 fois	36	44	34	71	27	27	36	56	30	31	28	34
Plus que 6 fois	1	1	0	0	2	2	1	2	4	4	5	6
Pas de stratégie définie de remplacement	20	24	4	8	15	15	3	5	7	7	8	10
Total	83	100	48	100	100	100	64	100	98	100	82	100

Source: Mar et al. (2005).

Les données actuelles provenant de plusieurs systèmes indiquent les stratégies conservatrices de remplacement des semences. Par exemple, le tableau 4.1 résume les données provenant de deux cultures dans trois villages d’Hongrie. Dans le cas de l’haricot, 75% (Dévaványa), 83% (Örség), et 89% (Tiszahát) des agriculteurs ont remplacé des semences moins de six fois ou n’ont pas remplacé les semences de leurs variétés au cours des deux dernières décennies. Dans le cas du maïs, les données sont légèrement plus élevées: 92% à Dévaványa, 93% à Örség et 84% à Tiszahát. Toutefois, ce conservatisme à court terme peut être trompeur. Du point de vue de la taille effective de la population de toute la variété, la question est de savoir si le flux de graines ou de gènes est dû à la baisse des populations indigènes dans le nouveau stock. Quand la migration entraîne le remplacement, la taille effective des populations sources détermine celle de l’ensemble des systèmes. Cette taille serait moins importante si un échange avait lieu entre les nouveaux et les anciens stocks. (voir Maaruyama et Kimura 1980 pour un modèle de traitement théorique)

Les résultats provenant du Népal ont montré que la majorité de la diversité des cultures indigènes de riz, de taro, de millet et d’orge a été maintenue par l’échange informel de semences au sein des communautés et entre elles, par le biais des réseaux sociaux (Baniya et al. 2003). Les flux de semences pour l’éléusine étaient faibles chaque année, et environ 90% des agriculteurs ont conservé leurs propres semences.

Cependant, 82% des semences se sont modifiées à intervalles réguliers, la plupart du temps sur une moyenne de trois ans tout en impliquant les femmes dans ces échanges plus souvent que les hommes. L’obtention de semences de variétés indigènes chez d’autres agriculteurs est considérée, dans certaines communautés, comme un signe d’incompétence de l’agriculteur, ce qui les incite à l’éviter, dans la mesure du possible.

L’attitude et l’approche de remplacement des semences adoptées par les agriculteurs varient en fonction d’un certain nombre de facteurs. Les agriculteurs du Népal sont prêts à obtenir des semences de variétés modernes, aussi bien du marché qu’auprès de sources officielles. Ils croiraient que les semences doivent être changées fréquemment pour garantir leur rendement, et que ces dernières seraient d’une qualité supérieure par rapport à leurs propres semences de la même variété. Ce n’est tout de même pas le cas pour les semences des variétés indigènes, qui ne sont généralement pas disponibles sur les marchés locaux, et où leur entretien s’associe à une sélection rigoureuse.

Lors de la substitution des graines, la majorité des agriculteurs népalais acquièrent les semences souhaitées auprès d’autres agriculteurs, immédia-

tement après la récolte. Dans certains cas, lorsque les plants ne parviennent pas à germer ou quand ceux-ci sont inférieurs à la transplantation, les agriculteurs empruntent des plants pour assurer l'approvisionnement de nouveaux matériaux. Il s'agit d'une forme de gestion de crise, et ces agriculteurs ont souvent peu de choix au niveau de la variété obtenue, même s'ils essayent d'obtenir le matériel à partir d'un microenvironnement semblable au leur. Dans le Yucatan, au Mexique, les agriculteurs pratiquent traditionnellement la polyculture de maïs, d'haricots et de courges (le système Milpa). Les semences de maïs et de courge sont surtout conservées par les agriculteurs eux-mêmes quand ils sont en mesure de le faire. Toutefois, il existe une dépendance importante aux transactions de semences entre les agriculteurs en matière de variétés d'haricots indigènes. Les agriculteurs réputés pour leur production fiable et régulière d'haricots de qualité peuvent maintenir la rentabilité de leur activité, tant au niveau communautaire que régional, par la vente des semences d'haricots à d'autres agriculteurs qui n'ont pas établi de stock de sécurité à partir de leurs propres plantations. Tandis que les haricots passent d'un agriculteur à un autre principalement par le biais de transactions en espèces, les lots de semences de maïs et de courge sont souvent offerts ou échangés contre un autre type de semence. Ces différents flux de graines représentent la raison pour laquelle les haricots sont généralement la première culture du Yucatan à être écartée par les agriculteurs hors de leur système Milpa, quand ils modifient leurs activités suite aux changements agro-écologiques et sociaux.

Comme cela a été montré avec la féverole au Maroc et les cultures au Mexique et au Mozambique, la migration peut changer considérablement d'année en année, accompagnée d'importants mouvements migratoires qui se produisent lorsque la production est faible ou à la suite de pertes majeures de graines causées par des catastrophes comme les inondations et les ouragans.

#### RÉSEAUX D'APPROVISIONNEMENT EN SEMENCES

Lope (2004) a montré que dans le Yucatan, au Mexique, les variétés peuvent exister dans le village, mais que des liens sociaux appropriés sont nécessaires pour y accéder. En particulier, Les agriculteurs du Yucatan en particulier, ont tendance à compter en grande partie sur les réseaux de parenté et de coparent (compadrazgo) ou de relations de parrainage lors de la recherche de stocks de semences en vue de renouveler ou de remplacer leur matériel de plantation.

L'analyse des réseaux d'approvisionnement de semences de riz au Népal (Subedi et al. 2003) a révélé leur complexité et leur dépendance d'une série de variables sociales. Dans les différentes communautés, plusieurs types de réseaux ont été mis en place. Dans la plaine Bara, où les variétés modernes de riz prédominent, plusieurs petits réseaux indépendants ont été découverts, alors que dans le site des collines Kaski (encore dominé par les variétés locales), les réseaux étaient moins nombreux, mais plus larges.

La raison probable derrière ce fait, serait l'établissement d'amples contacts entre les personnes et le choix des variétés qui se fait chez différents agriculteurs, ainsi que d'autres sources de semences. Dans les deux zones, Subedi et al ont désigné certaines personnes comme étant des agriculteurs nodaux, qui ont été caractérisés par leur implication dans un grand nombre d'échanges. Les agriculteurs nodaux ont servi de sources reconnues de semences pour les autres agriculteurs et ont aussi accumulé des matériaux de plantation, à l'intérieur et hors de la communauté. Fait intéressant, compte tenu de leur rôle principal dans le flux de semences, il semble y avoir peu de consultation entre ces agriculteurs nodaux eux-mêmes. Il a été suggéré que ces agriculteurs nodaux pourraient agir en tant que principaux gardiens de la diversité des cultures dans le système (Subedi et al. 2003). Même dans les grands réseaux, les individus ne sont pas tous reliés les uns aux autres au niveau communautaire. Par contre, il y a des sous-réseaux, qui sont liés à l'un ou à l'autre par certains individus. Cela indique que le flux informel de semences et de matériaux de plantation ne se fait pas nécessairement entre tous les membres de la communauté.

Il y aurait un plus grand flux de matériaux à travers quelques réseaux limités. Dans un grand réseau social, le contact direct entre tous les individus ne peut pas être possible, mais les liens occasionnels peuvent être utiles dans la diffusion des innovations et des messages, car ils donnent l'occasion de trouver plus d'informations, ainsi que de nouveaux matériaux (Granovetter, 1973). Dans les plaines et les collines du Népal, pas de réseau basé sur la séparation en fonction du genre n'a été trouvé. Le matériel génétique découle de groupes mixtes d'hommes et de femmes, dans les deux zones d'étude. Ceci est en contraste avec les réseaux de circulation d'informations trouvés par Subedi et Garforth (1996) dans certaines collectivités, dans les collines de l'ouest du Népal. Parmi ces réseaux, des réseaux « hommes-hommes », « hommes-femmes » (dirigés par des hommes), « femmes-hommes » (dirigées par des femmes), et « femmes-femmes » ont été trouvés dans certaines communautés. De même, les réseaux d'approvisionnement en semences de riz ne sont pas fondés selon

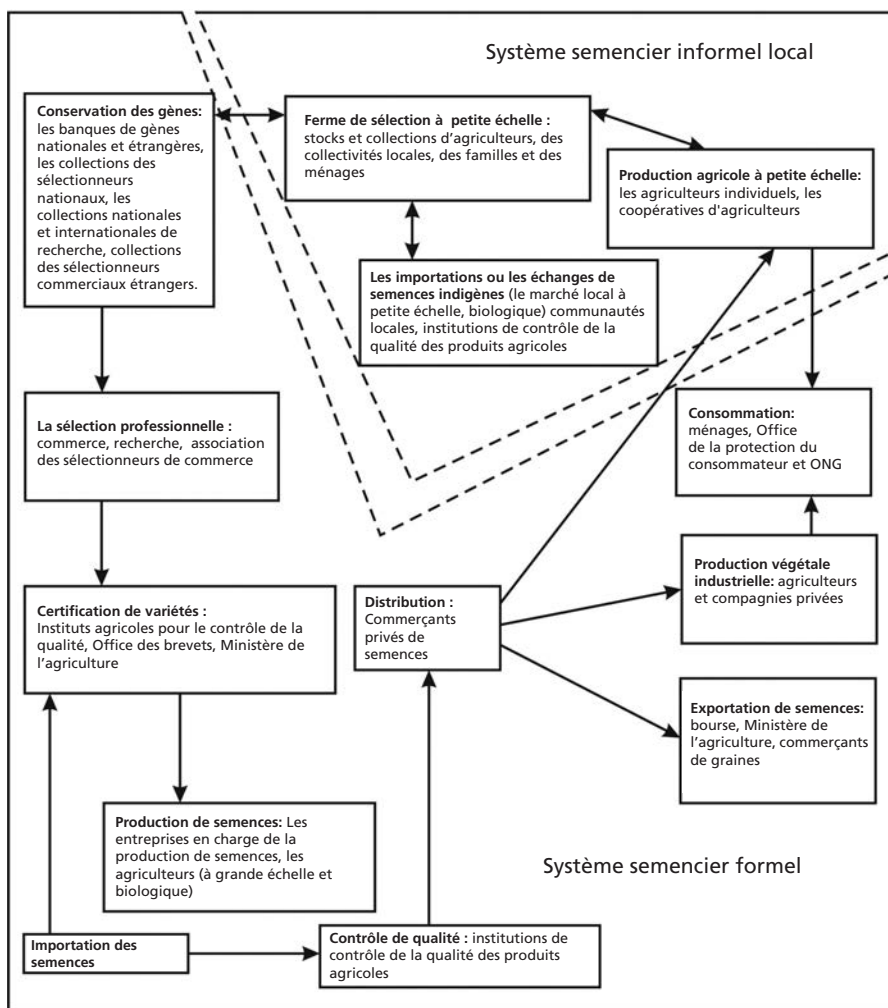


FIGURE 4.2. Flux de semences à travers les secteurs formels et informels en Hongrie (Mar et al. 2005). ONG = organisation non gouvernementale

la richesse, indiquant qu'il n'y avait pas de barrière entre le genre et la richesse, dans le flux de matériel génétique.

Dans le Yucatan, en revanche, les flux de semences de maïs, d'haricots et de courges ont tendance à être fortement typés selon les espaces de leur production. La milpa est considérée comme étant largement manipulée par l'homme. Ce sont surtout les hommes qui gèrent les flux de semences des cultures, particulièrement le maïs. Lorsque les mêmes cultures sont

plantées dans les jardins familiaux et dans les lots de village, les femmes jouent souvent un rôle primordial dans la sélection des semences, l'approvisionnement et l'échange, étant donné que ces sites sont considérés comme le lieu d'action des femmes. Pour des cultures comme le piment, souvent cultivé dans les jardins de familiaux et les milpas, hommes et femmes jouent sans doute un rôle équitablement important dans les flux de semences, à l'échelle communautaire ou variétale.

En Hongrie, l'accès aux semences indigènes et aux connaissances touchant les pratiques spécifiques de production sont limitées et réalisés grâce aux contacts personnels. Les Ventes de semences sur les marchés locaux sont exclusivement contrôlées par l'Institut national de contrôle de qualité des produits agricoles, de sorte que le fonctionnement du système semencier informel local n'est pas légalisé et les marchés ne font pas partie du système. Toutefois, les semences de variétés traditionnelles sont vendues comme des grains pour l'alimentation humaine ou animale sur les marchés, et certaines d'entre elles peuvent redevenir des semences pour plantation (figure 4.2).

#### MIGRATION ET SÉLECTION

Les études de migration (en divergence) des sous-populations dans des systèmes modèles ont montré que les taux de migration irrégulière entre eux, réduisent la taille de la population productive du système, en particulier lorsque les semences d'une ferme sont remplacées (Maruyama et Kimura, 1980; Wang et Caballero 1999; Whitlock 2003).

Ainsi, les effets de la migration sur la diversité dépendent étroitement de: l'interaction entre la migration et la sélection, la façon dont les agriculteurs gèrent l'apport continu de la diversité et du degré d'adaptation à l'environnement local. Les migrants peuvent déplacer les variétés indigènes existantes (ou certaines populations des variétés indigènes), se mélanger avec elles, s'hybrider et échanger des gènes, ou se fondre dans la population. L'effet génétique de la migration est étroitement lié à la gestion et aux pratiques de sélection, suivies par l'adoption ou la distribution de nouveaux matériaux par les agriculteurs.

Dans la ville de Yaxcaba au Yucatan, la proportion des lots de semences de maïs améliorées plantées par les agriculteurs Mayens est à peu près égale à celle des variétés indigènes de cycle court (*xmejennal*), les deux variétés ont tendance à être plantées dans les mêmes microenvironnements. L'adoption de variétés améliorées de maïs, au cours des deux dernières décennies, a sans doute impliqué certains déplacements de populations



*xmejennal*. Cependant les stocks de maïs amélioré sont fortement créolisés (*Sensu* Bellon et Risopoulos 2001), au niveau de certains traits tels que la couverture, insinuant ainsi que les agriculteurs ont toujours toléré ou encouragé d'importants flux de gènes de variétés pour les populations indigènes de maïs amélioré.

Étant donné que le maïs a une pollinisation externe, on peut s'attendre aussi à un flux de gènes des stocks de maïs amélioré créolisé vers le matériel indigène et lors de l'inspection. De nombreux lots *xmejennal* contiennent au moins quelques épis avec des caractéristiques de grain de maïs amélioré. Louette et al. (1997) ont également montré que les flux de gènes ont eu lieu dans les variétés de maïs à Cuzalapa. La sélection des agriculteurs peut ainsi minimiser cet effet des caractéristiques importantes pour la production, mais ceci peut encore se produire pour les gènes ou les caractères ne relevant pas de pression de sélection. Il est également important de tenir compte des changements qui peuvent se produire au sein de variétés à la suite de la sélection et l'utilisation de semences à la ferme, selon le système de reproduction de la culture. Dans la vallée de Cuzalapa du Mexique, les agriculteurs échangent constamment des petits lots de semences de maïs entre eux, tant au sein de la région qu'ailleurs. Bien que de petite envergure, ces échanges sont devenus une partie intégrale de la culture indigène de maïs, car ils peuvent fournir des semences pour la plantation à tout moment de l'année, et introduire la nouvelle diversité dans les variétés existantes (Louette et al. 1997).

### *Recombinaison*

La recombinaison lors de la reproduction sexuelle des plantes hétérozygotes résulte en la création de nouvelles combinaisons de gènes. Ceux-ci peuvent survivre ou ne pas survivre, afin de devenir une partie intégrante de la population dépendamment de la sélection naturelle et agricole. La recombinaison chez les espèces à pollinisation externe, comme le maïs et le millet perlé, fournit une production continue de nouveaux génotypes dans chaque génération. Chez les espèces autogames composées de plantes largement homozygotes, la recombinaison a un effet important que lorsqu'une fécondation croisée occasionnelle se produit. Dans le contexte des systèmes de semences et leur rôle dans le maintien de la diversité génétique des espèces cultivées, l'importance de la recombinaison réside dans les conséquences des fécondations croisées entre les populations migrantes et indigènes, après la migration d'un certain type de graines ou les conséquences des flux de gènes conduits par le pollen.

Le fait que les agriculteurs traditionnels détectent et s'intéressent souvent aux nouveaux spécimens se produisant dans leur domaine a souvent été noté (Richards 1989).

Ces contaminants peuvent être simples (ou migrants), mais ils peuvent aussi être le fruit d'une fécondation croisée quelconque et donc une conséquence directe de la recombinaison. Bien que la recombinaison soit sans doute importante dans le maintien de la diversité, son rôle ou effet sur la fonction du système semencier semble être banal. Toutefois, au niveau du fonctionnement des systèmes de semences, il serait intéressant d'explorer plus profondément la façon dont les nouveaux matériaux sont intégrés dans un système de cultures de semences et les diverses façons dont ils substituent, concurrencent, ou se mélangent avec les composants existants.

Avec l'introduction des organismes génétiquement modifiés (OGM), les flux de pollen peuvent devenir de plus en plus importants en termes d'effets sur les populations de variétés indigènes ainsi que leurs caractéristiques. Si cela se produit, une modification des pratiques de gestion des semences et de la fonction du système de semences selon la sélection des agriculteurs et leurs pratiques de gestion pourraient voir le jour. Actuellement, les gènes les plus préoccupants sont ceux qui confèrent une tolérance aux herbicides et une résistance aux ravageurs. Il a été signalé (mais pas confirmé de manière indépendante) que de l'ADN transgénique a été détecté dans des variétés indigènes de maïs à Oaxaca, au Mexique (Quist et Chapela 2001).

### *Mutation*

Les faibles taux de mutation dans la plupart des cultures semblent exclure la possibilité que la mutation soit un principal agent de changement à court terme, sauf chez certaines espèces à propagation clonale. La mutation des bananes conduit certainement à l'apparition de drageons qui diffèrent de la plante mère. Toutes les variétés de bananes domestiquées, qu'elles soient diploïdes ou triploïdes, ont l'avantage d'être sans pépins et se produisent d'une manière clonale. Les mutations somatiques se sont avérées être plus fréquentes dans les différents groupes de bananiers, en particulier celles qui sont cultivées à grande échelle, à savoir la banane-dessert, les bananiers de montagnes de l'Afrique de l'Est (*Musa* groupe AAA), et le plantain (*Musa* AAB) (Pickersgill et Karamura 1999).

En Afrique de l'Est, où les différences sont négligeables, les drageons peuvent garder le même nom et être considérés comme détenteurs de la même identité que la plante mère. Toutefois, lorsque des différences significatives sont constatées, les agriculteurs peuvent attribuer un nouveau

nom pour les propagules. Les différences touchant ce type sont presque toujours associées à la grappe et sont importants pour les agriculteurs, les commerçants autant que les consommateurs. Par exemple, les bananes de cuisson des hauteurs souvent transformées en bière de banane deviennent amères, car ils contiennent plus de tanin. Les bananes à bière peuvent obtenir de nouvelles appellations, mais gardent parfois leurs appellations d'origine; parce que le phénotype de la banane à bière reste le même que celui de la banane à cuire, bien qu'elles ne peuvent être consommées ni crues ni cuites en raison de leur forte teneur en tanin. Ainsi, nous trouvons des appellations telles que *Nakabululu-enyamuunyo* (cuisson) et *Nakabululu embiire* (bière). *Nakabululu-embire* a également une appellation propre à elle: *Enshyenyuka*. Si le changement est remarquable (mais mineur) comme le changement qui touche la pigmentation du pseudo-tronc, des pétioles, ou de la nervure médiane, les drageons peuvent garder leur appellation, avec une indication supplémentaire pour souligner le changement. Par exemple *Nakitembe* (*Musa* AAA), un clone de l'Afrique de l'Est, a généralement des pétioles et des nervures médianes vertes, mais il existe un mutant qui se distingue par des pétioles et des nervures médianes rouges appelées *Nakitembe omumyufu* (rouge) (Karamura et Karamura 2004).

Ces mutations semblent augmenter la variabilité des génotypes dans une région donnée et, en fonction de la réussite d'un spécimen mutant quelconque, modifier la répartition de la diversité existante (encadré 4.2). En Ouganda, *Siira*, un clone des bananiers de cuisson d'altitude ayant une grappe de taille moyenne, comprend un mutant (*Atwalira*) qui se caractérise par une grappe plus cylindrique, plus compacte, et plus lourde. Le mutant est devenu plus commercialisé que ses parents d'origine et s'est étendu sur des zones où ces derniers n'existent pas (D. Karamura, comm. Pers., 2004). Bien que la mutation puisse jouer un rôle dans la génération de nouvelles variations chez un certain nombre d'espèces à propagation clonale, la mesure dans laquelle cela se produit et les nouveaux types accèdent aux systèmes d'approvisionnement en semences, ne semblent pas avoir été étudiés en tant que tel. En ce qui concerne le taro dans le Nord du Vietnam, les différentes parties sont utilisées pour propager des variétés différentes. Il serait intéressant de vérifier si les différentes parties et méthodes de propagation ont été associées aux différents taux de mutation et si elles ont eu un effet sur la variabilité trouvée dans les matériaux échangés entre différentes variétés (tableau 4.2).

Dans certaines cultures, il est possible que les agriculteurs puissent, par inadvertance, sélectionner des systèmes mutables (par exemple, ceux qui

#### Encadré 4.2. Les flux semenciers de bananes en Ouganda

En général, deux types de parcours subis par la semence de bananier sont distingués, les systèmes de semences traditionnels et non traditionnels, même si au niveau des exploitations les deux voies se mêlent habituellement. De loin, c'est le système le plus ancien et le plus répandu dans lequel les agriculteurs choisissent et récoltent délibérément les graines chez leurs amis, voisins, parents proches ou lointains et les plantent dans leurs jardins. La sélection des graines obéit à des critères bien définis dans la région (4.2 tableau de l'encadré).

Les voies traditionnelles sont caractérisées par la haute diversité des variétés par ferme, et le support peut contenir 30 cultivars différents cultivés dans des mélanges complexes. Une fois qu'un cultivar est sélectionné et mis en place, il est généralement planté près de la pièce principale ou de la cuisine, à partir de laquelle l'étendue est observée pendant plusieurs repousses, tout en faisant attention à la taille des bouquets, à la qualité des aliments, à la réponse aux maladies et aux ravageurs, et aux autres caractéristiques avant qu'il ne soit transplanté dans un site approprié dans le jardin pour assurer sa production et sa conservation. Une autre caractéristique du système est son faible niveau d'intrants et de rendement. En général, les graines recueillies auprès des voisins, parents et amis ne sont pas nettoyées et par conséquent peuvent transporter un grand nombre de ravageurs et de maladies transmises par le sol de provenance. Le système semble avoir persisté comme étant une sorte de troc où les matériaux de plantation sont échangés et l'argent n'est pas impliqué. Ainsi, dans toute tentative d'améliorer ce système, il serait nécessaire de tenir compte du fait que traditionnellement, les agriculteurs n'achètent pas de matériel végétal de plantation de bananier.

TABLEAU DE L'ENCADRÉ 4.2. Les pourcentages d'agriculteurs utilisant différents critères pour sélectionner le matériel de plantation.

Critère	Tanzanie		Ouganda	
	Chanika	Ibwera	Masaka	Bushenyi
Volume de la touffe	29	35	32	26
Goût	22	18	17	16
Période de maturité	18	10	21	12
Résistance aux maladies	16	11	17	19
Vigueur de la plante	2	6	1	0
Capacité de repousse	2	8	0	2
Commercialisation des grappes	4	4	3	8
Tolérance à la sécheresse	4	0	0	0
Gros fruits	3	1	2	4
Douceur de l'aliment cuit	1	2	1	0
Adaptabilité au sol	1	1	1	2
Longévité	1	1	1	5

Source: Karamura y Karamura (2004).

**Tableau 4.2.** Les méthodes pratiquées par les agriculteurs pour la multiplication des variétés de taro dans le nord du Vietnam, 2002.

Méthode de propagation	Cultivar	Agro-écosystème	Modèle de distribution
Cormel et ventouse	<i>Khoai lui doc xanh</i>	Plaine	Répandu
	<i>Chat chay hau</i>	Plaine Montagne	Répandu
	<i>Mac phuoc mong</i>	Montagne	Répandu
	<i>Hau danh pe</i>	Montagne	Répandu
	<i>Khoai mung tia</i>	Montagne	Répandu
	<i>Mon tia</i>	Plaine Jardin	Répandu
Dragons jeunes	<i>Nuoc tia</i>	Zone humide	Répandu
	<i>Nuoc xanh</i>	Zone humide	Répandu
	<i>Khoai ngot</i>	Plaine Jardin	Répandu
	<i>Bac ha</i>	Jardin Zone humide	Restreint
	<i>Tam dao xanh</i>	Montagne Jardin	Répandu
	<i>Hau xi</i>	Jardin Zone humide	Répandu
Stolon	<i>Man hua vai</i>	Montagne	Répandu
	<i>Hau giang</i>	Montagne	Répandu
	<i>Khoai doi</i>	Plaine	Répandu
Tête de Corne	<i>Kao pua</i>	Montagne	Restreint
	<i>Hau Danh chun</i>	Montagne	Répandu
	<i>Mat qui</i>	Montagne	Répandu
Yeux de Corne	<i>Hau doang</i>	Montagne	Répandu
	<i>Phuoc oi</i>	Montagne	Répandu
Graine et meunier	<i>Kay nha</i>	Jardin Montagne	Répandu

résultent de la présence d'éléments transposables), car ils génèrent de nouvelles couleurs distinctives sur les semences, les tiges et les fleurs. Le système Ac / Ds dans le maïs est un cas dans lequel les éléments transposables induisent des mutations avec des effets phénotypiques. Clegg et Durbin (2000) suggèrent que les premiers hommes ayant eu recours à la domestication de la *Ipomoea purpurea* peuvent avoir saisi la diversité de couleurs de la fleur qui est une conséquence de la riche variété des éléments mobiles résidant dans le génome « gloire du matin ». De tels motifs peuvent agir comme des identifiants pour les variétés ou fournir de nouvelles propriétés intéressantes. De cette manière, la mutation peut agir comme un identifiable, en cas de cause mineure des changements génétiques dans les variétés et chez les plantes reproduites par graines et peut donc affecter la maintenance et l'échange des variétés.

## Sélection

### LA SÉLECTION EFFECTUÉE PAR LES AGRICULTEURS ET LA SÉLECTION NATURELLE

La composition génétique des variétés locales risque de dépendre des effets de la sélection naturelle et de celle des agriculteurs (spontanée ou intentionnelle). Pour de nombreux facteurs, la sélection des agriculteurs peut renforcer celle de l'environnement au fil du temps, en particulier la sélection touchant la tolérance pour les sols défavorables, le climat, ou les environnements nuisibles. Dans le Yucatan, par exemple, la période de floraison de la race la plus répandue, *xnuuknal*, correspond étroitement à la période entre le début de la saison des pluies (quand commence la plantation) et le pic de précipitations mensuelles. Ce dernier coïncide précisément avec la période où les fleurs mâles de maïs relâchent le pollen, quand les fleurs femelles sont aptes à en recevoir, et quand les épis fécondés commencent à se développer; en bref, lorsque les plants de maïs sont à un stade physiologique au cours duquel la demande en eau est des plus critiques. Ceci serait également le cas concernant la sélection pour des fins d'adaptation au stress biotique ou abiotique.

Des études agro-morphologiques ont montré que des variétés indigènes de sorgho collectées au Mali entre 1998 et 1999 ont atteint le stade de maturité 7 à 10 jours avant celles recueillies 20 ans plus tôt. Ceci est soit le résultat de la sélection naturelle ou bien celui de la sélection des agriculteurs favorisant des matériaux caractérisés par un temps de maturation plus court, dans un environnement où la disponibilité de l'eau est de plus en plus incertaine (M. Grum, comm. pers., 2001).

**Encadré 4.3.** Différences ethnique, sociale, d'âge et de sexe en relation avec la sélection de variétés et leur stockage

Dans certaines régions du Burkina Faso, en fonction de leur âge et de leur rang social, les femmes interviennent également dans la sélection des variétés de cultures dans le village et les régions voisines. Les femmes sont les principales actrices dans la transformation des céréales en d'autres aliments et produits fourragers, transformant plus de 95% de la récolte. La vente au détail des variétés indigènes est réalisée presque entièrement par des femmes, alors que la vente en gros est effectuée par les hommes et les femmes. Les femmes au sein du peuple Bixa de Médéga, jouent un rôle important dans le choix des variétés à planter pour le sorgho, le mil, l'arachide et le niébé.

Une étude sur l'âge des agriculteurs et la sélection des semences a été faite au Burkina Faso chez les femmes (17-90 ans) et les hommes (23-79 ans). Sur tous les niveaux du village, les femmes âgées de plus que 50 ans sont impliquées dans l'élevage et la conservation des graines (4,3 tableau de l'encadré). Toute femme qui pratique la conservation des races ou des graines doit garder à l'esprit certains rituels communs au Burkina Faso. Par exemple, le jour où les semences doivent être préparées et conservées, une agricultrice ne doit pas avoir eu d'activité sexuelle la veille, et les femmes enceintes ou indisposées ne doivent pas toucher aux conteneurs de semences, aux fruits de tamarin, au lait, au millet perle, ou à la poudre de sorgho. Afin d'assurer la bonne conservation des semences, la sélection devrait être effectuée pendant les nuits sans lune. Des études similaires au Maroc ont montré que pour la sélection des semences, les femmes étaient aussi bien informées que leurs maris ou leurs pères sur les différences entre les races primaires et les variétés améliorées.

TABLEAU DE L'ENCADRÉ 4.3. Burkina Faso: Les systèmes de culture sont gérés par des hommes et des femmes selon les critères de prise de décision, les intérêts socio-économiques, et les rituels

Culture	Preneur de décision	
	Homme	Mujer
Le sorgho	+++	++
Millet	+++	++
Niébé	+++	++
Arachide	+	+++
Pomme de terre frafra	+++	0
Gombo	0	+++

+++ = haute prise de décision (interventions systématiques);

++ = moyenne prise de décision (interventions occasionnelles);

+ = faible prise de décision (interventions rares);

0 = pas de prise de décision (aucune intervention).

Encadré 4.3, suite

Les épis de sorgho, le mil et le maïs sont stockés dans les greniers. Les plantes indigènes sont utilisées pour protéger les céréales stockées contre des ravageurs tels que *Cissus quadrangularis*, *Sansevieria senegambica*, *Hyptis spicigera*, et *Cassia migricans*. La plante est fraîchement moulue, mélangée avec de l'eau, et mise un peu partout dans le grenier avant son stockage.

Le résidu d'amandes de karité est également utilisé pour protéger contre les parasites. Le grain est également mélangé avec de la cendre et conservé dans des bocaux. Ce processus est effectué tôt le matin ou le soir, en cas d'absence de lumière naturelle. Les femmes enceintes et indisposées ne participent pas au processus.

Source: Madibaye Djimadoum, Fédération Nationale des Groupements Naam.

CATASTROPHES ET DÉSASTRES

Les événements extrêmes de l'environnement peuvent déclencher des pressions de sélection exceptionnellement intenses sur les patrimoines génétiques des cultures. En 2002 au Mexique, l'État central du Yucatan a été dévasté par un ouragan qui a détruit la récolte de maïs à l'apogée de la période de maturation des variétés à cycle long (elle représente environ 80% du besoin total du Yucatan en maïs).

Bien que les pertes de récolte étaient grandes, environ 75% des cultivateurs de maïs ont pu récupérer au moins de petites quantités de semences de leurs variétés *xnuuk-nal*. En agissant de la sorte, ils avaient tendance à miser sur les plantes de chaque population qui étaient à un stade de maturation physiologique un peu plus avancé au moment où l'ouragan a frappé, et qui ont donc été en mesure de produire des semences viables. En effet, l'ouragan a agi en tant que force de sélection, qui aurait potentiellement accéléré le temps moyen de maturation chez de nombreuses populations de maïs du Yucatan (pour une population donnée, l'intensité de sélection a également été influencée par la date de plantation).

L'ouragan a également reconfiguré les populations de cultures indigènes, plus souvent dans le cas du haricot commun (*Phaseolus vulgaris* var. *Xkolibu'ul*) et celui du haricot de Lima (*Phaseolus lunatus*). Avant 2002, les enquêtes annuelles de la communauté de Yaxcaba ont révélé que le haricot commun sera cultivé par 66-70% des agriculteurs et que l'haricot de Lima sera cultivé par 45-65%. En 2002, plus de 90% de la quantité d'haricots communs et 83% des stocks de graines d'haricot de Lima ont entièrement péri suite aux pertes causées par les ouragans. La plupart des



stocks de semences restants ont été réduits à une fraction de leur taille habituelle (c.-à-d une poignée de graines plutôt que plusieurs kilogrammes). En 2003, la proportion d'agriculteurs qui ont replanté du haricot commun et des stocks de haricots de Lima a été seulement de 20% pour chaque variété. La majorité de ces paysans ont obtenu leurs semences en dehors des fermes, notamment à travers les échanges et les achats auprès d'agriculteurs d'autres communautés où l'approvisionnement en féveroles était possible. La conséquence évidente consiste en une réduction importante des populations indigènes d'haricots, et la disparition totale de nombreuses sous-populations indigènes qui doivent être remplacées par de nouveaux matériaux provenant de sources alternatives elles-mêmes soumises à des forces de sélection locales et, probablement, à certains changements dans leurs caractéristiques propres.

En cas d'urgence (sécheresse et inondations), les agriculteurs se déplacent vers d'autres villages ayant des conditions environnementales similaires aux leurs, afin d'échanger ou acheter des semences. Le marché local est une source importante de semences, surtout en cas d'urgence. Mais, souvent, les agriculteurs les plus pauvres ne peuvent se permettre d'acheter des semences. En effet, les marchés n'existent pas dans tous les villages. Ainsi, les agriculteurs des régions éloignées n'ayant pas de marchés à proximité se sont avérés être les plus vulnérables face à l'insécurité en matière de semences.

Les catastrophes naturelles majeures, telles que les ouragans et les inondations, peuvent provoquer un changement radical dans les matériaux de plantation. De plus, l'insécurité constante en matière de semences peut également conduire à des changements continus dans les matériaux utilisés par les agriculteurs. Sadiki et al. (2005) ont constaté que les agriculteurs marocains ont tendance à dépendre de leurs propres semences de fève durant les années favorables, et à obtenir des graines sur les marchés locaux durant les années défavorables. Dans ces circonstances, le développement des diverses populations indigènes (dont la constitution du patrimoine génétique reflète la sélection locale et la dérive), individuellement entretenues par les agriculteurs, s'alterne avec le remplacement effectué à partir de sources de matériel en vrac auprès des marchés locaux ou ailleurs.

#### LES PRATIQUES DE SÉLECTION DES GRAINES

Lors de la sélection des variétés en fonction des caractéristiques agromorphologiques, les pratiques des agriculteurs influencent le maintien de la diversité génétique à la ferme. Les étapes de la sélection des semences,

qui affectent la composition génétique des variétés au fil du temps, comprennent la sélection des parcelles ou parties du champ avant la récolte et la sélection des plantes ou parties de plantes (au niveau des fruits ou des inflorescences ou entre eux) à la récolte (Wright et al. 1994).

Au niveau du maïs, toute une série de pratiques de sélection, certainement importantes dans leur effet sur le maintien de l'identité de la variété ainsi que sur la diversité génétique au sein des variétés, a été identifiée, bien que les effets génétiques précis ne soient souvent pas clairs. Ainsi, Louette et Smale (2000) ont constaté que les pratiques traditionnelles de sélection des semences des agriculteurs mexicains ont conservé l'intégrité des caractéristiques de l'épi qui définissent leurs variétés, même en présence de flux de gènes importants causés par la pollinisation croisée entre les variétés.

Le calendrier et la séquence de la sélection des semences peuvent varier d'un agriculteur à un autre au sein d'une seule communauté. En Yaxcaba, Yucatan, au Mexique, la sélection des semences de maïs faite par la plupart des agriculteurs chaque saison, repose principalement sur les caractéristiques de l'épi et du grain, y compris la taille des épis, leur santé, l'uniformité de la couleur des grains, et la taille de ces derniers. Dans le Yucatán, le processus de sélection ne se fait pas en une seule fois, mais se déroule plutôt sur plusieurs étapes, en commençant par la récolte de maïs en Janvier et se terminant avec le début de la plantation à la fin du mois de mai. Dans la phase initiale de sélection durant laquelle les agriculteurs trient les épis de haute qualité, la plupart des agriculteurs les stockent en pailles et évaluent leur stock potentiel en semences en fonction des caractéristiques des épis; à savoir la taille, le poids, ainsi que l'enveloppe de couverture. A partir de ces épis non décortiqués, certains agriculteurs sélectionnent immédiatement les épis pour les semences, les mettent de côté, et laissent le reste pour la consommation. Toutefois, d'autres agriculteurs se contentent de stocker tous leurs épis de qualité, utilisant ce stock pour la consommation en cas de besoin, puis sélectionnent la semence des épis peu avant la saison de plantation. Les caractéristiques des grains entrent en jeu lorsque les épis sont décortiqués et dégrainés, et quand les agriculteurs n'ont généralement qu'un ou deux jours avant que la plantation ne commence. Toutefois, une minorité d'agriculteurs préfèrent décortiquer leur maïs avant de le stocker, ce qui soulève la possibilité qu'ils prennent en compte les caractéristiques du grain à un stade précédant le processus de sélection.

Dans certains cas, les effets des pratiques des agriculteurs sont beaucoup moins clairs et restent l'objet de spéculations. Dans toute la Mésos-Amérique, les grains avec un épi à l'extrémité distale et basale du maïs

Tableau 4.3. Maintenance de la qualité des graines par les agriculteurs à travers différentes opérations, kaski, Népal, 2000.

Activité	Récolte		Nettoyage		Séchage		Stockage		Plantation	
	No.	%	No.	%	No.	%	No.	%	No.	%
Planter au même endroit	—	—	—	—	—	—	—	—	2	4
Récolter au même moment	1	1	—	—	—	—	—	—	—	—
Ne pas récolter le mardi	4	6	—	—	—	—	—	—	—	—
Garder les graines cornels séparées et enlever les hors-types	5	8	3	4	1	2	10	17	1	2
Planter différentes variétés ensemble	1	1	—	—	1	2	1	2	1	2
Éliminer les autres variétés de la parcelle	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Nettoyer la corne et les corne	—	—	55	90	1	2	—	—	—	—
Sécher la graine pendant 2-4 jours	—	—	—	—	37	68	—	—	—	—
Garder les graines dans un endroit sec ou kholt†	—	—	—	—	11	20	8	14	—	—
Éliminer les semences et plantes infectées après la bonne préparation du sol	—	—	1	2	—	—	1	2	6	11
Sélectionner les meilleurs types du tas	1	1	—	—	—	—	1	2	—	—
Conservé une bouture lors de la récolte	55	82	1	2	—	—	—	—	—	—
Maintenir les graines dans le ( <i>Doko</i> †)	—	—	—	—	—	—	19	33	—	—

Tableau 3.2, suite

Activité	Récolte		Nettoyage		Séchage		Stockage		Plantation	
	No.	%	No.	%	No.	%	No.	%	No.	%
Pas besoin de plus de séchage	—	—	—	—	1	2	—	—	—	—
Plantation nécessitant une charrue	—	—	—	—	—	—	—	—	34	65
Pas de nettoyage requis	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Planter dans la fosse sans casser la pousse	—	—	1	2	1	2	1	2	4	8
Planter des graines saines	—	—	—	—	—	—	—	—	1	2
Stocker dans 'Mach'† ou 'Kbol'†	—	—	—	—	—	—	13	23	—	—
Stocker ensemble	—	—	—	—	—	—	1	2	1	2
Zone de culture dépendant des besoins	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Maintenir séparément dans la fosse	—	—	—	—	—	—	2	3	—	—
Planter séparément	—	—	—	—	—	—	—	—	2	4
Les tubercules de semence ne sont pas séchés directement au soleil	—	—	—	—	1	2	—	—	—	—
Total	67	100	61	100	54	100	57	100	52	100

\* Le nombre indique les pourcentages des colonnes.

†Doko = gros panier de bambou utilisé pour transporter le matériel en vrac tels que graminées et fourrages. Kbol = construction particulière faite de petits morceaux de bois. Mach (machan) = construction temporaire faite de matériaux locaux trouvés au-dessus du sol.

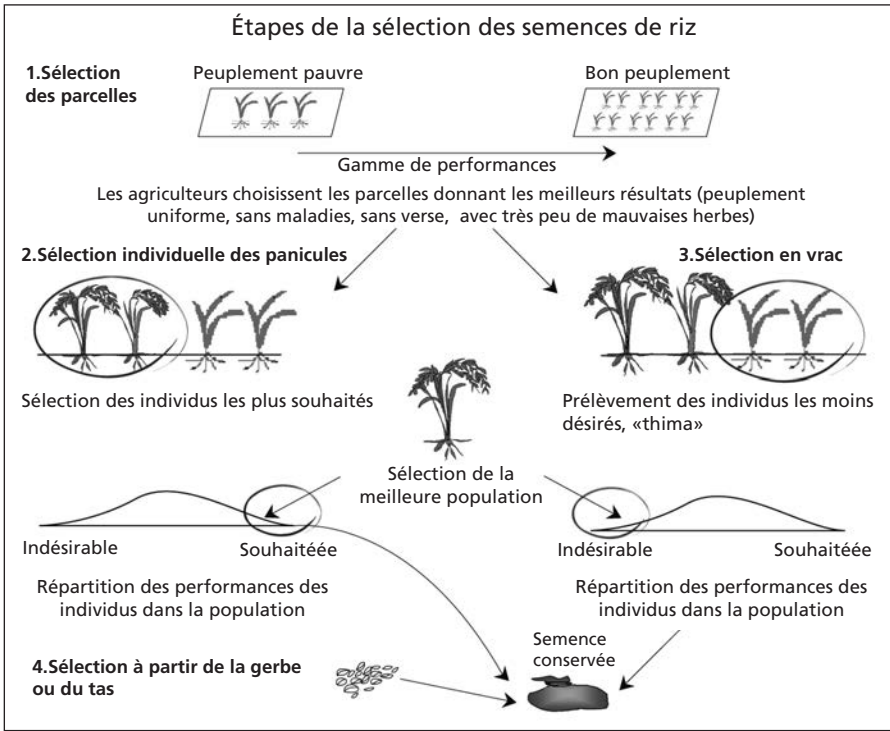


FIGURE 4.3. Procédures de sélection des graines de riz pratiquées par les agriculteurs sur les sites d'étude (Rana 2004)

ne sont généralement pas utilisés en tant que semences (Johannessen et al. 1970). Bien que les différentes sections de l'épi de maïs ne puissent différer par rapport à leur bagage génétique, la concurrence des pollens et la sélection semblent se produire au niveau du maïs et entraînent des différences dans la composition génétique des semences prélevées sur des sections différentes de l'épi (Mulcahyet et al. 1996).

Au Népal, les riziculteurs peuvent faire la sélection au niveau de l'épi, de la panicule, ou au niveau de la graine (tableau 4.3; Rana 2004). Le moment de sélection peut dépendre de l'apparition des parties reproductrices ou des caractéristiques de végétation, si elles sont considérées importantes. Il est aussi possible qu'il y ait des pratiques ritualisées associées à la sélection des semences ou à la préparation des semences avant le semis (Rana 2004).

La quantité de semences nécessaire est également importante. Au Népal, la quantité de semences nécessaires pour les variétés cultivées dans de

vastes zones est importante. Les agriculteurs ont sélectionné les bonnes parcelles, retiré les variétés inadéquates, puis cultivé toute la parcelle de semences (sélection négative).

Toutefois, pour les variétés cultivées dans de petites zones, la sélection des meilleures panicules (sélection positive) était plus fréquente (figure 4.3). Rana (2004) a constaté que les agriculteurs ont accordé une attention particulière à la sélection des semences de variétés cultivées sur de petites surfaces pour des fins religieuses et culturelles, vu que les mélanges "impures" ne doivent pas être offerts à Dieu.

Bien que la sélection des semences soit importante dans de nombreuses cultures, elle n'est cependant pas universelle. La sélection des semences de riz en provenance des parcelles marginales et des métayages au Népal n'était pas commune, sauf dans le cas où les agriculteurs n'avaient pas d'autre choix pour les semences, et si la sélection des semences ne se faisait pas toujours annuellement ou régulièrement. Dans certaines circonstances, les agriculteurs ne sélectionnaient les graines que lorsque les populations étaient trop infestées par les plantes hors-type, ou en cas de problèmes tels que les maladies, les ravageurs, la stérilité et l'hébergement (Rana 2004).

Au Burkina Faso, les cultivateurs de mil récoltent des semences au milieu du champ pour maintenir leur «pureté». Ils récoltent les épis de mil et les panicules de sorgho à partir d'une gamme de plantes parentes, en tenant compte de l'uniformité de la couleur du grain et de la déhiscence des épillets. Cette pratique semble favoriser la qualité des semences et la vigueur des graines, 20 à 48% des agriculteurs qui ont suivi cette technique de sélection pendant cinq ans (1997-2002) ont obtenu une meilleure qualité de semences. Globalement, il a été constaté que certaines pratiques de sélection des semences ont été utilisées lors de la récolte, du battage et du séchage, ainsi qu'avant le stockage et la plantation (Balma et al. 2005).

En revanche, les agriculteurs du Nord du Maroc n'ont pas l'habitude de stocker des graines de fève séparément à partir de matériaux de plantation. La sélection est faite au moment de la plantation. Ainsi, les agriculteurs ne semblent fournir aucun effort pour maintenir la germination des semences pendant le stockage.

#### LE STOCKAGE DES SEMENCES DE FERME ET LEURS SELECTION

Les effets de la sélection persistent souvent après la récolte. Les dispositifs et les méthodes de stockage des semences déterminent la sensibilité de ces

dernières aux ravageurs, aux maladies et à la détérioration physiologique, affectant les semences sur les plans quantitatif et qualitatif pour la prochaine saison de plantation (Gepts 1990). En plus d'assurer des semences non contaminées et capables de germer, les conditions de stockages des semences peuvent agir en tant que force de sélection sur le lot de semences. Les semences les mieux adaptées aux conditions seront plus susceptibles de survivre jusqu'à la prochaine saison de plantation que celles qui sont moins adaptées, avec des effets potentiels de la diversité génétique de la population agricole au fil du temps.

Dans de nombreux cas, les semences destinées la récolte de l'année suivante ne sont pas stockées d'une manière différente de celle des semences utilisées pour la consommation domestique. Dans le Yucatan, le stockage de semences de maïs dans des conditions différentes de celles destinées à la consommation a lieu principalement durant les années défavorables, particulièrement lorsque les agriculteurs détiennent seulement une quantité limitée de semences d'épis de haute qualité provenant de leur récolte. Durant ces années en question, les agriculteurs choisissent avec soin leurs épis de semences, les mettent à l'écart et les stockent dans des conditions spécifiques, dans les chevrons de la cuisine, par exemple, où ils peuvent baigner dans la fumée provenant du feu de la cuisinière (Yupit-Moo 2002).

Contrairement à la situation de la féverole au Maroc, l'importance de trouver un lieu sûr ou un conteneur approprié pour le stockage des semences est cruciale pour les agriculteurs afin de protéger leurs grains lors de la période de la gestion post-récolte. Au Pérou, on a demandé aux agriculteurs d'estimer le pourcentage de pertes de semences lors du stockage pour les cinq dernières années (Collado Panduro et al. 2005). Le pourcentage le plus élevé de perte ayant été enregistré a touché le maïs, avec 29,2%, 38%, et 17,6% des ménages Shipibo, Ashaninka, et *métisses*, qui ont respectivement déclaré une perte de 75-100% de leurs semences (le pourcentage le plus élevé des cinq dernières années au moins). Les causes incluent les charançons (*Sitophilus* spp.) et les papillons de nuit (*cereallega Sitotroga*), qui ont touché principalement les variétés de graines de maïs semi-dures (certains hybrides entre les races Cuban Yellow et Piricinco) et certaines variétés de grains mous farineux (telle que la race Piricinco). Les variétés de grains durs ont été moins endommagées.

Les haricots ont également subi une perte importante. Par exemple, 41,2%, 19,9%, et 16% des ménages Ashaninka, Shipibo, et *Mestizo* ont respectivement enregistré une perte de plus de 75% des semences stockées (le pourcentage le plus élevé durant une des cinq dernières années au

moins). Les mêmes ravageurs ont légèrement affecté les semences d'arachide (3% des ménages). Chaque communauté a confronté des pertes importantes lors du stockage des semences. Par conséquent, le stockage des semences représente une faiblesse dans le système d'approvisionnement en semences dans les communautés et la gestion post-récolte.

Dans le Yucatan, les méthodes traditionnelles de stockage de semences de maïs et d'haricots semblent être plus efficaces qu'au Pérou. Les agriculteurs ont indiqué que les pertes post-récolte au Yaxcaba étaient normalement faibles, et Yupit-Moo (2002) a signalé que les Coléoptères ont endommagé au moins 20% des épis de maïs après plus d'un an de stockage en pailles dans les greniers traditionnels. Cela peut refléter à la fois l'adéquation générale de l'environnement caractérisé par une longue période de saison sèche dans la région, et l'adaptation morphologique des variétés traditionnelles locales au stockage. Les agriculteurs du Yucatan ont exprimé une plainte commune concernant la sensibilité des variétés modernes aux insectes nuisibles dans les conditions de stockage traditionnelles.

Après le semis, la sélection demeure un résultat des techniques culturelles spécifiques. Les exemples incluent le fait de semer de nombreuses graines dans un même endroit et l'élimination des fleurs mâles indésirables des plantes. Toutefois, les effets génétiques de ces pratiques ont été peu étudiés dans les travaux examinés ici.

La sélection naturelle et celle effectuée par les agriculteurs, sur les différentes populations de variétés locales, semblent augmenter les différences entre les populations et leurs lots de semences. Au fil du temps, parce que chaque agriculteur suit des pratiques légèrement différentes et que le matériel est cultivé dans des champs différents, les lots de semences, appartenant aux agriculteurs, ont tendance à diverger par rapport à de nombreux traits de sélection.

Toutefois, cela peut ne pas être le cas pour les propriétés phares qui caractérisent une variété. Là où il ya une compréhension commune ou partagée de quelques traits spécifiques que possède une variété (par exemple, la précocité, la saveur, la couleur des graines), la sélection des agriculteurs les préservent comme traits communs à toutes les populations.

La lutte contre la tendance des populations locales à diverger suite à la sélection, est le fruit des migrations provoquées par l'échange de matériel ou l'achat de semences sur les marchés occasionnels. Ces matériaux sont soumis à une sélection supplémentaire, visant à créer de nouvelles populations locales avec une meilleure adaptation aux exigences des exploitations agricoles et des agriculteurs, quelque soit leur emplacement.



## Conclusion

Les agriculteurs ont besoin de graines viables et en bon état de la variété qu'ils préfèrent, et qu'elles soient disponibles au moment opportun (Weltzien et vom Brocke 2000). Les agriculteurs cherchent des graines conformes au type spécifique et de sources fiables. Pourtant, il est important de se rappeler que les critères de choix des variétés qu'utilisent les agriculteurs peuvent différer sensiblement de ceux des sélectionneurs des variétés, parce que les agriculteurs ne peuvent pas mettre l'accent sur l'uniformité agro-morphologique, mais plutôt sur d'autres traits afin de répondre aux besoins économiques, environnementaux ou culturels.

Comme les systèmes agricoles changent par l'intensification, la variation de l'environnement, ou par les événements stochastiques, les besoins des agriculteurs en semences varient aussi. Le défi sera de veiller à ce que dans ces conditions changeantes, l'écoulement des semences et les systèmes de production de semences continuent à fournir un matériel végétal basé sur des tailles de population assez grandes pour assurer la continuité de la capacité d'adaptation du système et la satisfaction des préférences des agriculteurs.

Un second défi sera de soutenir les pratiques de sélection qui garantissent la qualité, l'utilité et la diversité des semences qui tiennent compte des préférences des agriculteurs. L'importance de maintenir des niveaux élevés de diversité phénotypique et génétique au sein des systèmes semenciers, tout en maintenant des variétés particulières pour répondre aux besoins présents et futurs, est remarquable.

Bien qu'il existe de nombreuses et complexes pratiques associées à la récolte, la gestion, l'échange et l'utilisation des semences des différentes cultures, la signification génétique de ces pratiques en termes d'identité et les motifs de la diversité génétique des variétés indigènes est beaucoup moins claire. En se basant sur l'impression générale que dans les systèmes dynamiques la différenciation des variétés-populations et l'échange sont des caractéristiques, il est tentant de parler de variétés en tant que métapopulations (Zimmerer 2003).

Cependant, nous manquons de données claires pour démontrer que tel est le cas. De plus, il y a certainement besoin d'études complémentaires, permettant d'analyser les modèles de diversité dans ces systèmes agricoles traditionnels par des moyens appropriés. Ces études devraient inclure des analyses qui nous aiderait à comprendre le rôle des marchés en tant que centres de mélange de populations d'une variété et la manière dont l'échange soutient la migration de nouveaux ou de différents gènes. Nous

avons également besoin de mieux comprendre la mesure dans laquelle la sélection effectue des changements significatifs dans les différentes populations d'une variété.

Une approche consiste à invoquer la disposition la plus plausible des modèles théoriques de la génétique des populations (par exemple, «l'isolement par la distance», «métapopulation») et de comparer les données avec les paramètres clés de ces modèles (par exemple, les taux de migration, la taille des populations locales, les probabilités d'extinction locale). Une deuxième approche consiste à construire un modèle informatique du système qui permet de suivre la composition variétale des cultures en cours dans une communauté et simule son comportement dans le temps, en introduisant des fluctuations (comme suggéré par la variabilité observée dans les processus) et les importantes perturbations périodiques. Le processus comprend les fractions de semences pour diverses variétés provenant de différentes sources (de semences stockées appartenant aux agriculteurs, des voisins, des marchés locaux, du secteur formel) et leurs mises à disposition pour différents usages (consommés, stockés, échangés, vendus). Ce type de modélisation a été utile dans l'estimation des probabilités de survie des populations de plantes sauvages menacées d'extinction (Young et al. 2000). De cette façon, nous pouvons viser à évaluer les tendances actuelles, la résilience du système de semences et déterminer les paramètres critiques pour la survie de la diversité. Ces résultats pourraient nous avertir lorsque des interventions sont nécessaires pour permettre à un système de semences de conserver sa capacité d'adaptation.

## Remerciements

Ce travail est le résultat du projet soutenu par l'Institut international des ressources phylogénétiques (International Plant Genetic Resources Institute-IPGRI) : "renforcer les bases scientifiques de la conservation *In-Situ* de la biodiversité agricole dans la ferme". Les auteurs tiennent à remercier les gouvernements de la Suisse (Office fédéral pour le développement et de la coopération), des Pays-Bas (Direction générale de la coopération internationale), d'Allemagne (Bundesministerium für Wirtschaftliche Zusammenarbeit / Deutsche Gesellschaft für Zusammenarbeit Technische), du Canada (Centre de recherches pour le développement), du Japon (Agence japonaise de coopération internationale), d'Espagne et du Pérou pour leur appui financier.

## Références

- Almekinders, C. J. M., N. P. Louwaars and G. H. de Bruijn. 1994. Local seed systems and their importance for an improved seed supply in developing countries. *Euphytica* 78:207–216.
- Arbaoui, L. 2003. *Analyse des facteurs évolutifs de la diversité génétique de la fève (Vicia faba L.) in situ et leurs impacts sur son maintien et sa gestion à la ferme: Contribution au développement des bases scientifiques pour la conservation in situ de la fève au Maroc*. Mémoire de troisième cycle pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en agronomie, Option: Amélioration Génétique des Plantes. Rabat, Maroc: IAV Hassan II.
- Badstue, L. B., M. Bellon, X. Juárez, I. Manuel and A. M. Solano. 2002. *Social Relations and Seed Transactions Among Small Scale Maize Farmers in the Central Valleys of Oaxaca, Mexico: Preliminary Findings*. CIMMYT Economics Working Paper 02–02. México City: CIMMYT.
- Balma, D., T. J. Ouedraogo and M. Sawadogo. 2005. On-farm seed systems and crop genetic diversity. En D. I. Jarvis, R. Sevilla-Panizo, J. L. Chávez-Servia and T. Hodgkin, eds., *Seed Systems and Crop Genetic Diversity On-Farm*, 48–53. Proceedings of a workshop, September 16–20, 2003, Pucallpa, Peru. Rome: IPGRI.
- Baniya, B. K., A. Subedi, R. B. Rana, R. K. Tiwari and P. Chaudhary. 2003. Finger millet seed supply system in Kaski district of Nepal. In *On-Farm Management of Agricultural Biodiversity in Nepal*, 171–175. Proceedings of a national workshop, April 24–26, 2001, Lumle, Nepal. Kathmandu, Nepal: NARC/LI- BIRD/IPGRI.
- Bellon, M. R. and J. Risopoulos. 2001. Small scale farmers expand the benefits of improved maize germplasm: A case study from Chiapas, México. *World Development* 29(5):799–811.
- Bond, D. A. and M. H. Poulsen. 1983. Pollination. In P. D. Hebblethwaite, ed., *The Faba Bean (Vicia faba L.)*, 77–101. London: Butterworths.
- Brown, A. H. D. 2000. The genetic structure of crop landraces and the challenge to conserve them in situ on farms. En S. B. Brush, ed., *Genes in the Field*, 29–48. Ottawa, Canada: IDRC/IPGRI/Lewis Publishers.
- Brush, S., R. Kesseli, R. Ortega, P. Cisneros, K. Zimmerer and C. Quiros. 1995. Potato diversity in the Andean center of crop domestication. *Conservation Biology* 9:1189–1198.
- Castiñeiras, L., Z. Fundora, S. Pico and E. Salinas. 2001a. Monitoring crop diversity in home gardens as a component in the national strategy of in situ conservation of plant genetic resources in Cuba, a pilot study. *Plant Genetic Resources Newsletter* 123:9–18.
- Castiñeiras, L., Z. Fundora Mayor, T. Shagardsky, V. Moreno, O. Barrios, L. Fernández and R. Cristobal. 2001b. Contribution of home gardens to in situ conservation

- of plant genetic resources in farming systems: Cuban component. In J. W. Watson and P. B. Eyzaguirre, eds., *Contribution of Home Gardens to In Situ Conservation of Plant Genetic Resources in Farming Systems*. Proceedings of the Second International Home Gardens Workshop, July 17–19, 2001, Witzenhausen, Germany. Rome: IPGRI.
- Chaudhary, P., D. Gauchan, R. B. Rana, B. R. Sthapit and D. I. Jarvis. 2004. Potential loss of rice landraces from a Terai community in Nepal: A case study from Kachorwa, Bara. *Plant Genetic Resources Newsletter* 137:14–22.
- Clegg, M. T. and M. L. Durbin. 2000. Flower color variation: A model for the experimental study of evolution. In F. J. Ayala, W. M. Fitch and M. T. Clegg, eds., *Variation and Evolution in Plants and Microorganisms: Towards a New Synthesis 50 Years After Stebbins*, 211–234. Washington, DC: National Academy of Sciences.
- Collado-Panduro, L., J. L. Chávez-Servia, A. Riesco and R. Soto. 2005. Community systems of seed supply and storage in the central Amazon of Peru. In D. I. Jarvis, R. Sevilla-Panizo, J. L. Chávez-Servia and T. Hodgkin, eds., *Seed Systems and Crop Genetic Diversity On-Farm*, 103–108. . Proceedings of a workshop, September 16–20, 2003, Pucallpa, Peru. Rome: IPGRI.
- Coomes, O. T. 2001. Crop diversity in indigenous farming systems of Amazonia: The role and dynamics of agricultural planting stock transfers among traditional farmers. . In *Abstracts. International Symposium on Managing Biodiversity in Agricultural Ecosystems*, 27, November 8–10, 2001, Montreal, Canada.
- Domínguez, C. E. and R. B. Jones. 2005. The dynamics of local seed systems in Mozambique, and the roles played by women. In D. I. Jarvis, R. Sevilla-Panizo, J. L. Chávez-Servia and T. Hodgkin, eds., *Seed Systems and Crop Genetic Diversity On-Farm*, 141–148. Proceedings of a workshop, September 16–20, 2003, Pucallpa, Peru. Rome: IPGRI.
- Gaifani, A. 1992. Developing local seed production in Mozambique. In D. Cooper, R. Vellvé and H. Hobbelink, eds., *Growing Diversity*, 97–105. London: Intermediate Technology Publications.
- Gepts, P. 1990. Genetic diversity of seed storage proteins in plants. En A. H. D. Brown, M. T. Clegg, A. L. Kakler and B. S. Weir, eds., *Plant Population Genetics, Breeding and Genetic Resources*, 64–82. Sunderland, MA: Sinauer Associates.
- Gepts, P. and R. Papa. 2003. Possible effects of (trans) gene flow from crops on the genetic diversity from landraces and wild relatives. *Environmental Biosafety Research* 2:89–103.
- Ghaouti, L. 2003. *Analyse de la diversité génétique de la fève in situ et étudedes mécanismes de sa maintenance à la ferme: Contribution au développement des bases scientifiques pour la conservation in situ de la fève au Maroc*. Mémoire de troisième cycle pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en agronomie, Option: Amélioration Génétique des Plantes. Rabat, Maroc: IAV Hassan II.

- Gillespie, J. H. 1998. *Population Genetics: A Concise Guide*. Baltimore, MD: John Hopkins University Press.
- Granovetter, M. 1973. The strength of weak ties. *American Journal of Sociology* 78:1360-1380.
- Hardon, J. and W. de Boef. 1993. Linking farmers and breeders in local crop development. In W. de Boef, K. Amanor, K. Wellard and A. Bebbington, eds., *Cultivating Knowledge: Genetic Diversity, Farmer Experimentation and Crop Research*, 64-71. London: Intermediate Technology Publications.
- Jarvis, D. I. and T. Hodgkin. 2000. Farmer decision making and genetic diversity: Linking multidisciplinary research to implementation on-farm. In S. B. Brush, ed., *Genes in the Field*, 261-279. Ottawa, Canada: IDRC/IPGRI/Lewis Publishers.
- Jarvis, D. I., R. Sevilla-Panizo, J. L. Chávez-Servia and T. Hodgkin, eds. 2005. *Seed Systems and Crop Genetic Diversity On-Farm*. Proceedings of a Workshop, September 16-20, 2003, Pucallpa, Peru. Rome: IPGRI
- Johannessen, C. L., M. R. Wilson and W. A. Davenport. 1970. The domestication of maize: Process or event? *Geographical Review* 60(3):393-413.
- Kabore, O. 2000. Burkina Faso: ppb, seed networks and grassroot strengthening. In D. I. Jarvis, B. Sthapit and L. Sears, eds., *Conserving Agricultural Biodiversity In Situ: A Scientific Basis for Sustainable Agriculture*, 192-193. Rome: IPGRI.
- Karamura, D. and E. B. Karamura. 2004. *Implications of chimerism in the East African highland bananas*. Unpublished manuscript.
- Karamura, E. B., D. A. Karamura and C. A. Eledu. 2005. Banana and plantain seed systems in the Great Lakes region of East Africa: A case for a clonal seed system. In D. I. Jarvis, R. Sevilla-Panizo, J. L. Chávez-Servia and T. Hodgkin, eds., *Seed Systems and Crop Genetic Diversity On-Farm*, 76-80. Proceedings of a workshop, September 16-20, 2003, Pucallpa, Peru. Rome: IPGRI.
- Lope, D. 2004. *Gender Relations as a Basis for Varietal Selection in Production Spaces in Yucatan, Mexico*. MS thesis, Wageningen University.
- Louette, D. 2005. Management of maize varieties in a traditional agricultural system of Mexico. In D. I. Jarvis, R. Sevilla-Panizo, J. L. Chávez-Servia and T. Hodgkin, eds., *Seed Systems and Crop Genetic Diversity On-Farm*, 95-102. Proceedings of a workshop, September 16-20, 2003, Pucallpa, Peru. Rome: IPGRI.
- Louette, D., A. Charrier and J. Berthaud. 1997. In situ conservation of maize in Mexico: Genetic diversity and maize seed management in a traditional community. *Economic Botany* 51:20-38.
- Louette, D. and M. Smale. 2000. Farmers' seed selection practices and traditional maize varieties in Cuzalapa, México. *Euphytica* 113:25-41.
- Mar, I., A. Gyovai, G. Bela and L. Holly. 2005. Multilevel seed movement across producers, consumers and key market actors: Seed marketing, exchange and seed regulatory framework in Hungary. In D. I. Jarvis, R. Sevilla-Panizo, J. L. Chávez-

- Servia and T. Hodgkin, eds., *Seed Systems and Crop Genetic Diversity On-Farm*, 54-59. Proceedings of a workshop, September 16-20, 2003, Pucallpa, Peru. Rome: IPGRI.
- Maruyama, T. and M. Kimura. 1980. Genetic variability and effective population size when local extinction and recolonization of subpopulations are frequent. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* 77:6710-6714.
- McArthur, R. H. y E. O. Wilson. 1967. *The Theory of Island Biogeography*. Princeton, NJ: Princeton University Press.
- McGuire, S. 2001. Analyzing farmers' seed systems: some conceptual components. In L. Sperling, ed., *Targeting Seed Aid and Seed System Interventions: Strengthening Small Farmer Seed Systems in East and Central Africa*. Proceedings of a workshop, June 21-24, 2000, Kampala, Uganda. Kampala: CIAT.
- Mellas, H. 2000. Morocco. Seed supply systems: Data collection and analysis. In D. I. Jarvis, B. Sthapit and L. Sears, eds., *Conserving Agricultural Biodiversity In Situ: A Scientific Basis for Sustainable Agriculture*, 155-156. Rome: IPGRI.
- Mulcahy, D. L., M. Sari-Gorla and G. B. Mulcahy. 1996. Pollen-selection: Past, present and future. *Sexual Plant Reproduction* 9:353-356.
- Ortega-Paczka, R., L. Dzib-Aguilar, L. Arias-Reyes, V. Cob-Vicab, J. Canul-Ku and L. A. Burgos. 2000. Mexico. Seed supply systems: Data collection and analysis. In D. I. Jarvis, B. Sthapit and L. Sears, eds., *Conserving Agricultural Biodiversity In Situ: A Scientific Basis for Sustainable Agriculture*, 152-154. Rome: IPGRI.
- Perales, H. 1998. *Conservation and Evolution of Maize in the Valleys of Amecameca and Cautla, México*. Unpublished PhD dissertation, University of California, Davis. University Microfilms, Ann Arbor, Michigan.
- Pickersgill, B. y D. Karamura. 1999. Issues and options in the classification of cultivated bananas, with particular reference to the East African Highland bananas. In S. Andrews, A. C. Leslie and C. Alexander, eds., *Taxonomy of Cultivated Plants, Third International Symposium*, 159-167. Kew, UK: Royal Botanic Gardens.
- Qualset, C. O., A. B. Damania, A. C. A. Zanatta and S. B. Brush. 1997. Locally based crop plant conservation. In N. Maxted, B. V. Ford-Lloyd and J. G. Hawkes, eds., *Plant Genetic Conservation: The In Situ Approach*. London: Chapman and Hall.
- Quist, D. and L. Chapela. 2001. Transgenic DNA introgressed into traditional maize landraces in Oaxaca, Mexico. *Nature (London)* 414:541-543.
- Rana, R. B. 2004. *Influence of Socio-Economic and Cultural Factors on Agrobiodiversity Conservation On-Farm in Nepal*. PhD Thesis, Reading University.
- Richards, P. 1989. Farmers also experiment: A neglected intellectual resource in African science. *Discovery and Innovation* 1(1):19-25.
- Richards, P. and G. Ruivenkamp. 1997. *Seeds and Survival: Crop Genetic Resources in War and Reconstruction in Africa*. Rome: IPGRI.

- Riesco, A. 2002. *Informe Anual del Proyecto: "Strengthening the Scientific Basis of In Situ Conservation of Agricultural Biodiversity": Componente del Perú*. Rome: IPGRI.
- Sadiki, M., M. Arbaoui, L. Ghaouti and D. Jarvis. 2005. Seed exchange and supply systems and on-farm maintenance of crop genetic diversity: A case study of faba bean in Morocco. In D. I. Jarvis, R. Sevilla-Panizo, J. L. Chávez-Servia and T. Hodgkin, eds., *Seed Systems and Crop Genetic Diversity On-Farm*, 81-86. Proceedings of a workshop, September 16-20, 2003, Pucallpa, Peru. Rome: IPGRI.
- Sperling, L., ed. 2001. *Targeting Seed Aid and Seed System Interventions: Strengthening Small Farmer Seed Systems in East and Central Africa*, 9-13. Proceedings of a workshop, June 21-24, 2000, Kampala, Uganda. Kampala: CIAT.
- Subedi, A., P. Chaudhary, B. Baniya, R. Rana, R. K. Tiwari, D. Rijal, D. I. Jarvis and B. R. Sthapit. 2003. Who maintains genetic diversity and how? Policy implications for agro-biodiversity management. In D. Gauchan, B. R. Sthapit and D. I. Jarvis, eds., *Agrobiodiversity Conservation On-Farm: Nepal's Contribution to a Scientific Basis for Policy Recommendations*. Rome: IPGRI.
- Subedi, A. and C. Garforth. 1996. Gender information and communication networks: Implications for extension. *European Journal of Agricultural Education and Extension* 3(2):63-74.
- Tripp, R. 2001. *Seed Provision and Agricultural Development*. London: Overseas Development Institute.
- Upadhaya, M. P. 1996. Rice research in Nepal: Current state and future priorities. In R. E. Evenson, R. W. Herdt and M. Hossain, eds., *Rice Research in Asia: Progress and Priorities*, 193-215. Wallingford, UK: CAB International.
- Valdivia, R. F. 2005. The use and distribution of seeds in areas of traditional agriculture. In D. I. Jarvis, R. Sevilla-Panizo, J. L. Chávez-Servia and T. Hodgkin, eds., *Seed Systems and Crop Genetic Diversity On-Farm*, 17-21. Proceedings of a workshop, September 16-20, 2003, Pucallpa, Peru. Rome: IPGRI.
- Wang, J. and A. Caballero. 1999. Developments in predicting the effective size of subdivided populations. *Heredity* 82:212-226.
- Watson, J. W. and P. B. Eyzaguirre, eds. 2002. *Home Gardens and In Situ Conservation of Plant Genetic Resources in Farming Systems*. Proceedings of the Second International Home Gardens Workshop, July 17-19, 2001, Witzenhausen, Germany. Rome: IPGRI.
- Weltzien, E. and K. vom Brocke. 2000. Seed systems and their potential for innovation: Conceptual framework for analysis. In L. Sperling, ed., *Targeting Seed Aid and Seed System Interventions: Strengthening Small Farmer Seed Systems in East and Central Africa*, 9-13. Proceedings of a workshop, June 21-24, 2000, Kampala, Uganda. Kampala: CIAT.

- Whitlock, M. C. 2003. Fixation probabilities and time in subdivided populations. *Genetics* 164:767-779.
- Wright, M., T. Donaldson, E. Cromwell, and J. New. 1994. The retention and care of seeds by small- scale farmers. *NRI Report R2103*.
- Yadav, R. B., P. Chaudhary, S. P. Khatiwada, J. Bajrachara, R. K. Yadav, M. P. Upad-  
haya, B. R. Sthapit, A. Gautam, and B. K. Joshi. 2003. Agro- morphological diver-  
sity of sponge gourd (*Luffa cylindrica* L.) in Bara, Nepal. In *On- Farm Management  
of Agricultural Biodiversity in Nepal*, 42-47. Proceedings of national workshop,  
April 24-26, 2001, Lumle, Nepal. Kathmandu, Nepal: NARC/LI- BIRD/IPGRI.
- Young, A. G., A. H. D. Brown, B. G. Murray, P. H. Thrall, and C. H. Millar. 2000.  
Genetic erosion, restricted mating and reduced viability in fragmented populations  
of the endangered grassland herb: *Rutidosis leptorrhynchoides*. In A. Young and  
G. Clarke, eds., *Genetics, Demography and Viability of Fragmented Populations*,  
335-359. Cambridge: Cambridge University Press.
- Yupit- Moo, E. 2002. *Seed Storage Systems of Milpa Crops in Yaxcaba, Yucatan*.  
Unpublished BS thesis, Instituto Tecnológico Agropecuario No. 2, Yucatán,  
Mexico.
- Zangre, R. 1998. Selection by farmers of agromorphological character and genetic  
diversity: Methodologies for data collecting and analysis in Burkina Faso. In D. I.  
Jarvis and T. Hodgkin, eds., *Strengthening the Scientific Basis of In Situ Conserva-  
tion of Agricultural biodiversity on- Farm. Options for Data Collecting and Analy-  
sis*. Proceedings of a workshop to develop tools and procedures for in situ conser-  
vation on- farm, August 25-29, 1997, Rome, Italy. Rome: IPGRI.
- Zimmerer, K. S. 1996. *Changing Fortunes: Biodiversity and Peasant Livelihood in the  
Peruvian Andes*. Los Angeles: University of California Press.
- Zimmerer, K. 2003. Geographies of seed networks and approaches to agrobiodiversity  
conservation. *Society & Natural Resources* 16:583-601.
- Zimmerer, K. S. and D. S. Douches. 1991. Geographical approaches to native crop  
research and conservation: The partitioning of allelic diversity in Andean potatoes.  
*Economic Botany* 45:176-189.



## 5 Les mesures de la diversité en tant qu'apports à la prise de décisions liées à la conservation des ressources génétiques du bétail

---

J. P. GIBSON, W. AYALEW et O. HANOTTE

### Cartographie de la diversité génétique du bétail

Plus de 6.379 races-populations documentées de quelques 30 espèces de bétail ont été développées tout au long des 12.000 ans, depuis la domestication des premières espèces de bétail (Scherf 2000). Ces races ont développé des adaptations leur permettant d'être productives dans un large éventail de situations, y compris celles de certains environnements naturels des plus hostiles jamais habités par les humains. Ces caractéristiques génétiques, naturellement évoluées, fournissent une panoplie cohérente de solutions durables en matière de résistance aux maladies, de survie et de rendement. Malheureusement, ces caractéristiques ont souvent été ignorées dans les démarches visant à trouver des solutions technologiques et celles de la gestion des problèmes individuels d'élevage dans les systèmes à faibles intrants. On estime que 35% des races mammifères et 63% des races aviaires sont menacées d'extinction et qu'une race est perdue chaque semaine. Bien qu'elles ne soient pas clairement établies, les menaces sur les ressources génétiques animales dans les pays en voie de développement semblent être en augmentation rapide, principalement en raison des changements véloces dans les systèmes de production et l'utilisation extensive de métissage. Les menaces émergentes, telle que la mise en œuvre des politiques d'abattage pour prévenir la propagation des maladies du bétail hautement commercialisé comme la fièvre aphteuse, et des zoonoses telles que l'encéphalopathie spongiforme bovine et la grippe aviaire, peuvent accentuer le risque d'extinction des races dans les pays développés et aussi dans les pays en voie de développement.

La conservation efficace des ressources génétiques du bétail, que ce soit in-situ ou ex-situ implique la mobilisation d'importantes ressources sociales et économiques sur de longues périodes. Ces ressources sont souvent disponibles dans les pays développés, où on observe souvent une forte proportion de races rares de bétail déjà conservées de manière efficace. Cependant, la majorité de la diversité génétique du bétail se trouve dans les pays en voie de développement, où les ressources pour la conservation sont rares. Par conséquent, il semble probable que des choix difficiles devront être faits concernant ce qu'il faut conserver avec les ressources limitées disponibles.

L'information sur la diversité génétique est utile dans l'optimisation de la conservation et les stratégies d'utilisation des ressources génétiques agricoles. Idéalement, nous aimerions faire en sorte que toutes les variations génétiques existantes restent disponibles pour une utilisation future et ceci de la manière la plus rentable. Dans la pratique, il y aura souvent des ressources insuffisantes pour conserver la diversité génétique complète d'une espèce donnée. Même lorsque les ressources sont suffisantes, nous n'avons pas une connaissance complète de toutes les variations fonctionnelles génétiques d'une espèce. Ainsi, assurer la conservation de près de 100% de la variation fonctionnelle impliquerait la création d'un processus inefficace de conservation des individus ou des populations beaucoup plus (races, adhésions) qu'il ne serait nécessaire si nous avions des informations complètes. Diverses mesures peuvent être utilisées pour obtenir une estimation indirecte de la diversité génétique fonctionnelle. La caractérisation phénotypique fournit une estimation grossière de la moyenne des variantes fonctionnelles des gènes portés par un individu ou une population donnée. Mais la plupart des phénotypes des plantations agricoles, d'animaux et d'espèces de poissons n'ont pas été enregistrés. En l'absence de données fiables de phénotype, les mesures les plus rapides et rentables de la diversité génétique sont obtenues à partir du dosage du polymorphisme de marqueurs génétiques moléculaires anonymes.

Une question importante est de savoir comment les estimations de la diversité génétique moléculaire peuvent être utilisées pour améliorer le processus décisionnel en matière de conservation et d'utilisation des ressources génétiques.

Ce chapitre donne un aperçu des différentes mesures de la diversité phénotypique et génétique et examine la façon dont elles pourraient être utilisées pour appuyer les décisions de conservation dans les pays en voie de développement. Des exemples sont fournis ici pour la conservation de l'élevage et peuvent avoir une application plus large pour d'autres espèces

agricoles. L'utilisation de l'information sur la diversité génétique moléculaire, afin d'optimiser l'utilisation de la diversité génétique, n'est pas traitée ici. Cependant, une stratégie possible est résumée par Gibson (2003).

## La caractérisation phénotypique en tant que mesure de la diversité génétique du bétail

### *Développement historique*

L'inventaire et la caractérisation phénotypique de la biodiversité du bétail sont les premières étapes essentielles pour la planification des programmes de gestion durable. L'enregistrement à grande échelle des caractéristiques physiques et de production des races de bétail a commencé il y a environ 150 ans dans les pays à économies très développées et a continué, conduisant à l'élaboration d'une importante littérature scientifique. La force motrice derrière ces enregistrements est principalement l'intérêt économique dans l'identification et l'amélioration des génotypes les plus productifs, au niveau des races et entre elles. Ces enregistrements ont été principalement présents dans les économies les plus développées et ont été dominés par les races les plus commercialisées. Cependant, la conscience de la nécessité pour la caractérisation phénotypique systématique de la biodiversité du bétail a augmenté, en particulier depuis la Conférence des Nations Unies sur l'environnement humain à Stockholm en 1972 (FAO, 1984; Cunningham 1992; Swaminathan, 1992) et l'entrée en vigueur de la Convention sur la diversité biologique (CDB) en 1993. Même si ceci n'occupait pas une place très importante dans les intentions des nations lors de la signature de la CDB, les pays signataires ont indirectement reconnu l'importance de la gestion durable des ressources génétiques animales par leur signature, et la CDB a considérablement augmenté le niveau du débat sur la gestion durable des ressources génétiques animales au cours de la dernière décennie.

Bien que les ressources génétiques animales aient fait partie du programme de la FAO depuis la création de l'organisation, une nouvelle approche a été adoptée dans les années 1980 après une consultation technique de la FAO à Rome et une consultation d'experts FAO/PNUE en 1980. Ces consultations ont conduit à la création d'un Comité mixte entre la FAO et le PNUE sur les ressources génétiques animales en 1982 et sa mise en œuvre jusqu'en 1990. Un examen de ce programme en 1989 a mis en place les bases de la stratégie mondiale pour la gestion des ressources

génétiqes animales (ANGR), qui a été développée et mise en œuvre depuis 1993, aux niveaux mondial et régional, pour fournir un cadre global pour la gestion des ressources génétiques des animaux domestiques. Un élément important du programme de techniques de travail de cette stratégie est la caractérisation des ressources zoo-génétiques, la documentation de l'information et la diffusion de ces informations dans une base de données et dans un système d'information largement disponibles et facilement accessibles à l'échelle mondiale (FAO, 1999).

### *A quoi sert la caractérisation?*

La caractérisation phénotypique est menée afin de mesurer la diversité entre des races ou des populations définies afin de comprendre l'ampleur, la répartition, les caractéristiques de base, la performance comparative, la valeur d'utilité et l'état actuel des races ou des populations distinctes au sein des races. Les activités essentielles comprennent l'identification et l'inventaire des différentes races ainsi qu'une description détaillée de leurs habitats naturels et adaptés, et l'enregistrement de leurs caractéristiques phénotypiques. La motivation principale des travaux de caractérisation consiste à fournir des informations permettant une utilisation appropriée et visant le renforcement des moyens de subsistance de l'homme (Cunningham 1992). C'est pourquoi la mise au point de l'application est généralement basée sur les attributs de production et d'adaptation des races. Couplées avec des notions précises sur l'état et de la distribution, ces informations peuvent fournir des données de base essentielles pour l'établissement des priorités nationales, régionales et mondiales d'un pays, ainsi que pour la gestion des ressources génétiques animales (FAO, 1984, 1999, Rege 1992). Tel que mentionné dans ce chapitre, de telles assertions sont facilement déclarées, mais plus difficiles à réaliser dans la pratique.

### *La nature de la caractérisation*

Les descriptions les plus courantes des caractéristiques d'une race sont basées sur le phénotype.

Le phénotype d'une race donnée est déterminé par son génotype moyen de base ainsi que par l'environnement dans lequel les animaux en question sont élevés et enregistrés. Les niveaux de rendement sont généralement très dépendants de l'environnement dans lequel les animaux sont élevés. Bien que certains traits d'apparence comme la tendance de la couleur, la taille des cornes et la forme sont peu affectés par l'environnement et, sou-

vent, ne varient guère entre les animaux au sein d'une race, les caractéristiques de la performance sont fortement influencées par l'environnement et montrent des variations importantes entre les animaux au sein d'une race. Ceci nécessite que de nombreux animaux soient enregistrés dans un environnement bien défini afin d'obtenir une estimation précise et bien définie du phénotype de la race.

Des recommandations sur les méthodes permettant la caractérisation complète dans le cadre de la stratégie mondiale pour la gestion des ressources zoo-génétiques ont été élaborées et documentées (FAO, 1984; Hodges 1987, 1992). Les listes détaillées des variables qui servent à décrire les caractéristiques phénotypiques et génétiques (listes de descripteurs) des ressources zoo-génétiques ont été publiées (FAO 1986a, 1986b, 1986c). Une telle qualification comprend une description de l'environnement de production en termes d'intrants clés et de variables de sortie, y compris les dimensions biologiques, climatiques, économiques, sociales et culturelles (FAO, 1984, 1986b, 1999).

Dans la pratique, les facteurs environnementaux qui influent le phénotype des animaux sont si complexes, qu'aucun des descripteurs proposés par les diverses autorités n'est capable de décrire l'environnement avec une précision suffisante pour déterminer si l'enregistrement de deux ou plusieurs races, se trouvant dans les différents cadres spatiotemporels, a été soumis à des conditions similaires ou pas, et ce afin de permettre l'établissement d'une comparaison valable de leurs phénotypes. Scientifiquement, des comparaisons valables entre races peuvent se produire dans des conditions limitées. La première condition comprend deux ou plusieurs races enregistrées simultanément au même endroit sous une même gestion. La seconde est une approche indirecte dans laquelle l'enregistrement de différentes races se déroule dans différents lieux ou moments, mais qui peut cependant être liée à l'utilisation d'espèces communes. Les effets des différents milieux peuvent alors être ajustés à travers les différences dans le phénotype commun des races à travers les environnements. Ces études sont rarement menées de manière délibérée, mais les effets notés se produisent naturellement, quand de nombreux essais ont lieu de façon indépendante dans différents pays ou à des moments différents. Roughsedge et al. (2001) ont exploré la possibilité de faire de telles comparaisons indirectes entre les races bovines de boucherie en analysant les données de plusieurs expériences publiées dans le monde développé. Ils ont conclu que leur méta-analyse des données publiées a donné des informations plus pertinentes que l'ensemble de données expérimentales prises isolément. Ces méta-analyses ne sont techniquement valables que lorsque les

interactions entre l'environnement et le génotype sont négligeables. Cette hypothèse ne semble pas être valable lorsque les données couvrent un très large éventail d'environnements et de génotypes, mais autrement, en tant que première approximation, elle semble très raisonnable. La difficulté actuelle pour de nombreuses races dans les pays en voie de développement est que, lorsque ces données existent, elles sont difficiles d'accès. Surmonter cette difficulté serait un précieux service offert aux systèmes d'informations générales des ressources génétiques du bétail. Toutefois, il restera un problème que beaucoup des traits les plus importants concernant la productivité dans les environnements hostiles typiques du bétail des pays en développement sont extrêmement difficiles à enregistrer et ne le sont généralement pas. Dans l'ensemble, bien que beaucoup d'informations précieuses soient en attente d'être extraites et utilisées concernant de nombreuses races, il y a très peu d'informations sur le phénotype de la majorité d'entre elles pour la plupart des caractères revêtant une importance économique (voir chapitre 17).

De nombreuses décisions sur la conservation ou l'utilisation de matériel génétique approprié entraînent la suppression de la plupart des autres options, en réduisant les candidats à l'action pour quelques races qui sont convenables et accessibles. Dans de tels cas, un nombre important d'options peut être éliminé en toute sécurité si on se base sur les différences phénotypiques brutes.

Elles peuvent également être éliminées sans risque, en cas d'absence de données phénotypiques, en se basant sur la faible probabilité qu'elles possèdent des caractéristiques souhaitables, selon l'évaluation de leur répartition actuelle ainsi que leur utilisation. Par exemple, une race qui a évolué à l'extérieur de la région dans laquelle une maladie particulière est endémique ne semble pas posséder la résistance utile à cette maladie (la situation peut être différente pour les cultures; voir chapitre 11). De même, les races qui ont évolué dans des environnements humides tempérés ne seront certainement pas capables de s'adapter à la sécheresse des savanes tropicales. Ainsi, même des informations partielles ou inexacts sur le phénotype couplé avec des informations sur la répartition des indigènes et la distribution de l'exploitation actuelle constituent des informations précieuses pour la prise de décision. La prise de décision serait grandement aidée si les informations actuelles sur les caractéristiques de la race pourraient être liées à des bases de données publiquement accessibles, au sein du système d'information géographique (SIG), montrant les caractéristiques physiques et létales des environnements hostiles dans lequel elles évoluent et sont actuellement utilisées.

Dans la poursuite de la caractérisation des races, la connaissance des éleveurs, à la fois traditionnelle et moderne, est trop souvent négligée. Les éleveurs ont généralement une compréhension profonde de leur stock. Ce qui manque souvent, c'est une base de comparaison avec d'autres races. Associées aux difficultés relatives aux termes de conversion des mesures quantifiables que les éleveurs utilisent, ces connaissances peuvent être difficiles à saisir de façon précise et peuvent souvent être trop générales pour être utilisées à bon escient. Ainsi, par exemple, des revendications de la part d'éleveurs en faveur d'actions propres généralement résistantes à la maladie sont de faible pertinence. En revanche, les observations par les éleveurs que leurs actions sont résistantes (ou sensibles) à certaines endémies spécifiques ou à des maladies épidémiques ont souvent un fondement dans la réalité, surtout quand ils ont eu l'occasion d'observer les performances des races de substitution dans un contexte de combat contre une maladie.

### *La documentation de la diversité mondiale*

Bien que l'information sur la majorité des races soit limitée, souvent de mauvaise qualité et pas collectée dans les pays en voie de développement, une quantité surprenante d'informations touchant certaines races a été recueillie au cours des 100 dernières années. Une grande partie de cette information a été publiée avant que l'édition électronique ne devienne courante, dans la littérature grise des publications gouvernementales et institutionnelles ou dans des journaux nationaux ou régionaux qui ne sont pas facilement accessibles en dehors du pays ou de la région. Ces informations sont très difficiles à localiser et ne peuvent être facilement trouvées à partir de recherches bibliographiques basiques. Réunir ces informations et les rendre accessibles à la communauté mondiale est d'une valeur potentiellement importante.

Le premier effort fourni afin de documenter la biodiversité du bétail à l'échelle mondiale a été le travail de Mason (1988). Ce livre cite les noms de races, leurs synonymes ainsi que les endroits où elles sont localisées, et fournit aussi la description de base quant à l'origine, l'apparence physique, et les principales utilisations de chaque race. Il ne fournit pas d'estimations de la taille de la population (à part le fait d'indiquer occasionnellement le statut de la race préalablement connu et les tendances des populations) ou des caractéristiques de production de la race citée.

Une autre contribution majeure, mais touchant une espèce seulement, est celle des races bovines: une encyclopédie (Felius 1995), qui donne un bref aperçu sur plus de 1.000 races bovines.

L'ouvrage propose une synthèse qui porte sur les origines, la distribution et le développement, les relations possibles entre les races, ainsi qu'une brève description de l'aspect typique, la taille de chaque race, et quelques estimations portant sur la taille de la population. Les informations sur le rendement, l'adaptation et la résistance aux maladies demeurent insuffisantes. Les écrits portant sur les comparaisons entre les races ainsi que les compilations répertoriant les rapports sur les races d'une espèce donnée dans certains pays ou régions sont abondantes. L'utilité de ces informations dépend de l'efficacité de la manière avec laquelle elles sont archivées et acheminées vers les bons intervenants. Une grande partie de cette littérature est difficile à localiser et à consulter. En prenant aussi en considération le fait que le nombre des écrits soit constamment en hausse, il serait nécessaire d'assembler toutes ces informations en un seul endroit accessible. La solution systématique serait de développer des bases de données électroniques et des systèmes d'information qui peuvent être consultés à travers le monde.

L'idée de la création de banques de données régionales des ressources zoo-génétiques dans les pays en développement a émergé suite à une réunion de groupes d'experts mixtes de la FAO/PNUE sur la conservation et la gestion des ressources zoo-génétiques, qui s'est tenue à Rome en octobre 1983 (FAO, 1984). Environ 70% de la biodiversité mondiale du bétail est entre les mains de petits éleveurs, insouciants de la préoccupation mondiale quant à la conservation de la biodiversité du bétail. En outre, les pays en développement n'ont généralement pas la capacité de faire face, d'une manière adéquate et efficace, à la hausse du taux de perte de diversité génétique. Un manque d'informations précises sur la diversité et sur l'état des ressources zoo-génétiques agricoles existantes fait partie des menaces actuelles pesant sur la diversité du bétail.

### *La situation actuelle et les besoins futurs des systèmes d'information accessibles à l'échelle mondiale*

À l'heure actuelle, il existe plusieurs systèmes d'information électroniques publics universellement accessibles sur la diversité biologique du bétail. Un bref résumé des origines et du contenu de ces systèmes d'information est fourni dans l'encadré 5.1.

Les systèmes d'information existants servent une variété de buts différents. Ensemble, ils contiennent une quantité importante d'informations. Cependant, ils demeurent loin de ce qui est nécessaire et possible pour une prise de décision efficace en matière de conservation et d'utilisation.



Jusqu'à présent, dans un système d'information, seule une infime proportion de l'information disponible touchant la plupart des races et des espèces est apparente, et peu de fonctionnalités dépassant les simples recherches par pays ou par race sont disponibles. La prochaine génération de systèmes d'information aura pour objectif de documenter une grande partie des informations passées et présentes sur la plupart des races de bétail et de classer les données selon des méthodes qui permettent aux utilisateurs de porter des jugements personnels sur la valeur de chaque élément d'information. La fonctionnalité des systèmes d'information doit être augmentée, afin de permettre l'extraction et l'analyse personnalisée de phénotype et de données de génétique moléculaire au niveau des sources de données et entre elles. Il est souhaitable que le champ d'application de l'acquisition de données soit également élargi, afin que les informations sur les races soient liées à l'environnement basé sur le SIG et la cartographie du système de production, permettant aux caractéristiques mal documentées, comme la résistance aux maladies et des caractères d'adaptation, d'être prévus à partir des distributions passées et actuelles de races ainsi que leur exploitation. Ces fonctions sont importantes, mais tout à fait réalisables et nécessaires d'urgence si les chercheurs, les décideurs politiques et les conseillers auprès des communautés paysannes sont tentés d'avoir l'information dont ils ont besoin, afin de formuler des recommandations et des décisions appropriées pour la conservation et l'utilisation des ressources génétiques du bétail.

### *Les estimations de la génétique moléculaire basées sur les marqueurs de diversité génétique*

Les marqueurs génétiques moléculaires sont couramment utilisés pour estimer les paramètres de la diversité génétique du bétail. Ces informations ont été recueillies dans un certain nombre de projets à partir d'une multitude de races, même si un examen général toujours fait défaut. Les polymorphismes des protéines furent les premiers marqueurs utilisés dans l'élevage. Un grand nombre d'études sur la variation génétique a été réalisé, au cours des années 70, en utilisant des systèmes de groupe sanguin et des allozymes (Baker et Manwell 1980; Manwell et Baker 1980); Toutefois, le niveau de polymorphisme observé au niveau de ces marqueurs était souvent faible, ce qui a fortement réduit son applicabilité sur les études de la diversité. Avec le développement des technologies de réaction en chaîne de polymérase (PCR), le polymorphisme de l'ADN est devenu le marqueur de choix pour les enquêtes à base moléculaire de la variation génétique.

### Encadré 5.1. Systèmes d'informations mondialement accessibles sur les ressources génétiques animales

La banque de données mondiale de la FAO sur les ressources zoo-génétiques a été lancée en 1987, lorsque la FAO a collaboré avec la Fédération européenne de zootechnie (FEZ), dans l'élaboration d'une banque de données électronique d'informations descriptives sur toutes les races de bétail et variétés reconnues trouvées partout dans le monde. La banque de données est administrée à partir de deux sites: Le premier, basé à Hanovre, en Allemagne, sert l'ensemble de l'Europe. Le second, basé à Rome, en Italie, sert le reste du monde. La FAO coordonne la saisie des données qui sont fournies par les représentants des pays désignés (FAO, 1999). La base de données mondiale est utilisée pour maintenir les inventaires des races et contrôler la conservation des ressources génétiques animales dans le cadre du système mondial d'alerte rapide de la diversité des animaux domestiques. Actuellement, cette base de données contient des informations sur 14.000 populations de races de 35 espèces de mammifères et d'oiseaux. La liste mondiale de surveillance pour la diversité des animaux domestiques (WWWL-DAD-3) était fondée sur des informations fournies par cette banque internationale de données en 1999 (Scherf, 2000).

#### *DAD-IS*

DAD-IS ([www.fao.org/dad-est](http://www.fao.org/dad-est)) est la première base de données mondiale accessible sur les ressources zoo-génétiques développé par la FAO. Elle a été lancée en tant que clé de communication et outil d'information pour la mise en œuvre de la stratégie mondiale pour la gestion des ressources génétiques des animaux domestiques, principalement pour aider les pays et les réseaux nationaux dans leurs programmes de pays respectifs (FAO, 1999). Outre les informations sur les races au niveau des pays, DAD-IS offre un service de bibliothèque virtuelle sur une sélection de documents techniques et politiques, y compris des outils et des lignes directrices pour la recherche sur les ressources zoo-génétiques. Il offre également d'importants liens Web aux ressources d'information électronique et possède un centre d'échange de points de vue et une adresse pour les demandes d'informations spécifiques, en liant les diverses parties prenantes: agriculteurs, scientifiques, chercheurs, praticiens du développement, et les décideurs.

DAD-IS fournit un résumé de la race (ou de la variété), des informations sur l'origine, la population, la situation de risque, les caractéristiques particulières, la morphologie et les performances des races telles que fournies par les pays membres de la FAO. Actuellement, la base de données répertorie 5.300 races dans 35 espèces de 180 pays. Un élément clé de DAD-IS est qu'il offre un stockage sûr des informations par pays et un outil de communication à l'usage du pays, avec la possibilité à chaque autorité de décider quand et pour quelle race les données seront publiées à travers la personne de contact officiellement désignée. La nature de l'information implique qu'elle est d'un intérêt limité pour les utilisateurs externes.

*Encadré 5.1, suite à la page suivante*

### *Encadré 5.1, suite*

Peu de renseignements sont fournis pour la plupart des races dans la plupart des pays, et l'utilisateur ne peut pas déterminer l'origine, le contexte, ou l'exactitude des informations fournies. Les comparaisons significatives entre les races et les pays sont donc impossibles.

#### *Le système européen d'information sur la biodiversité des animaux de ferme*

Cette base de données ([www.tiho-hannover.de/einricht/zucht/eeap/index.htm](http://www.tiho-hannover.de/einricht/zucht/eeap/index.htm)) a été développée et est administrée par le Ministère de l'élevage et de la génétique, l'École de médecine vétérinaire, Hanovre, Allemagne. Elle fait partie de la base de données mondiale, mais limitée à 46 membres EEAP et d'autres pays européens. A la date du 23 octobre 2003, la base de données comportait 1935 races européennes introduites de huit espèces de bétail (buffles, bovins, caprins, ovins, chevaux, ânes, porc, lapin). Les informations de la base de données des races affichent un résumé sur l'origine, le développement, la taille de la population, le statut de la race, la performance et les activités de conservation. La base de données fournit également des liens importants avec d'autres bases de données dans d'autres pays : Allemagne, France, Suisse, Pays-Bas et Autriche. Le site de « Rare Breeds International » de AAEP est également lié (EAAP Animal Genetic Databank 2003).

#### *DAGRIS*

La base de données DAGRIS ([dagrils.ilri.cgiar.org](http://dagrils.ilri.cgiar.org)) est développée et gérée par l'Institut international de recherche de l'élevage (ILRI). Elle a été lancée en 1999 pour rassembler et diffuser des informations sur l'origine, la distribution, la diversité, les caractéristiques, les utilisations actuelles et l'état des races indigènes. L'information est recueillie à partir des résultats de recherches publiées. Une caractéristique unique de cette base de données est que les informations sur les races sont soutenues par des références bibliographiques et des résumés des sources de publication. DAGRIS est conçue pour soutenir la recherche, la formation, la sensibilité du public, l'amélioration génétique et la conservation. La version I de la base de données a été lancée sur le Web en avril 2003 (DAGRIS 2003) et est également disponible sur CD-ROM. Actuellement, la base de données contient plus de 16.000 rapports sur les traits des races de 152 bovins, 96 ovins et 62 races caprines d'Afrique. Bien qu'elle soit limitée actuellement à trois espèces en Afrique, la portée de DAGRIS en Asie sera étendue dans un avenir proche.

Les plans pour développer des futures base de données comprennent la création de structures supplémentaires pour l'envoi de données à distance et le téléchargement des informations sur d'autres races pour augmenter la portée des utilisateurs qui participent à l'élaboration de la base de données. Les modules intègrent des outils de prise de décision pour l'utilisation durable et la conservation des ressources génétiques animales dans les pays en développement, et aussi pour documenter et analyser l'information génétique moléculaire.

*Encadré 5.1, suite*

Des liens avec GISS, afin de fournir une accumulation de diverses données géo-référencées sont disponibles (Ayalew et al. 2003).

*L'étude des races de l'Université publique d'Oklahoma.*

Le Département des sciences animales de l'Université d'Etat d'Oklahoma gère cette base de données, ouverte depuis 1995 ([www.ansi.okstate.edu/breeds](http://www.ansi.okstate.edu/breeds)). Elle fournit une brève description des races en termes d'origine, de distribution, du caractère typique, d'utilité, ainsi que du statut et de la référence essentielle de la race. Il présente une liste des races provenant de différents endroits du globe, avec des options de tri par région.

En Octobre 2003, la base de données comportait 1074 races, dont 289 races ovines, 269 races bovines, 229 chevaux, 106 races caprines, 73 porcs, 8 ânes, 7 buffles, 6 camélidés, 4 rennes, 1 lama, 1 yak, 55 volailles, 10 canards, 7 dindes, 7 oies, 1 poule de Guinée, et 1 race de cygne noir. Elle fournit également des liens vers des informations utiles à travers la bibliothèque virtuelle relative aux données du bétail.

Actuellement, les deux classes de marqueurs les plus populaires utilisées dans les études de caractérisation génétique du bétail sont : les séquences d'ADN mitochondrial et en particulier celles de la séquence de la région hypervariable de la *D-loop*, ou de la région de contrôle; et les loci micro-satellites autosomiques (Sunnucks 2001).

L'ADN mitochondrial est transmis en tant qu'élément extranucléaire, presque exclusivement à travers le lignage maternel. Chaque individu hérite généralement un haplotype unique de sa mère. L'analyse génétique mitochondriale fournit donc une image incomplète de la diversité présente chez un individu ou une population en l'absence de diversité génomique nucléaire ou de l'analyse des flux de gènes d'origine male (Awise 1994). Cela est particulièrement important pour les races d'élevage, qui sont exclusivement exogamiques, avec des mâles reproducteurs donnant généralement naissance à plusieurs générations. Toutefois, en raison de l'absence de recombinaison et de l'héritage comme un haplotype unique, les études d'ADN mitochondrial ont grandement contribué à l'identification des progénitures sauvages des espèces domestiques et de la compréhension du processus complexe de domestication, qui est une information essentielle pour comprendre l'origine et la distribution de la diversité génétique (voir Bruford et al. 2003 pour accéder à une analyse récente). Si les séquences sont

disponibles pour un grand nombre d'individus non apparentés, la diversité des haplo types peut être calculée au sein des races et comparée entre elles. L'analyse hiérarchique de la variance moléculaire (AMOVA) (Excoffier et al. 1992) nous permet de comparer la distribution de la diversité au sein d'un ensemble de races et entre elles, ou dans les régions géographiques et entre elles (Luikart et al, 2001). L'ADN mitochondrial peut également fournir un moyen rapide de détection de l'hybridation entre espèces de bétail ou sous-espèces (Nijman et al. 2003).

Les loci microsatellites sont des marqueurs nucléaires co-dominants trouvés à haute densité et dispersés de manière aléatoire sur tous les chromosomes de la plupart (probablement tous) des eucaryotes. Ils sont très polymorphes, avec des allèles différents du nombre de répétition en tandem des deux à cinq séquences de paires de base. Les microsatellites sont de petite taille et peuvent être facilement amplifiés par le PCR de l'ADN extrait à partir d'une variété de sources, y compris le sang, les cheveux, la peau, ou même des excréments. Les polymorphismes peuvent donc être visualisés sur des gels de séquençage tandis que la disponibilité de séquenceurs automatiques d'ADN permet d'analyser à haut débit un grand nombre d'échantillons sur le court terme (Jarne et Lagoda 1996, Goldstein et Schlotterer 1999). Ils sont désormais les marqueurs de choix pour les études sur la diversité, l'analyse de filiation et de la cartographie des traits quantitatifs du locus, cependant, leur popularité actuelle pourrait être contestée dans un proche avenir avec le développement de méthodes peu coûteuses pour le dosage des marqueurs polymorphes à un seul nucléotide. La FAO a supervisé l'élaboration de recommandations pour des ensembles de marqueurs microsatellites utiles pour les études de la diversité pour chacune des principales espèces de bétail (voir [dad.fao.org/fr/référence/bibliothèque/guidelin/marker.pdf](http://dad.fao.org/fr/référence/bibliothèque/guidelin/marker.pdf)).

Une controverse a entouré le choix du meilleur modèle de mutation appliquée à l'évolution des marqueurs microsatellites, et donc le choix des meilleurs modèles de génétique des populations pour l'analyse des données. Le polymorphisme des microsatellites est probablement généré par un mécanisme de glissement d'ADN (Schlotterer et Tautz 1992), et les allèles qui en résultent sont discrets. L'hypothèse d'un bassin à possibilités infinies d'allèles pourrait ne pas tenir, parce que la taille d'un nouveau mutant dépend probablement de la taille de l'allèle à partir duquel il a muté. Les mutations arrières sont également possibles. Par conséquent, de nouveaux calculs portant sur les distances génétiques et sur la différenciation génétique, basés sur un modèle de mutation par étapes ont été proposés

(Goldstein et al. 1995). Toutefois, des études de simulation ont montré que l'utilisation des analyses qui supposent un modèle de mutation infinie des allèles est généralement valable pour des études sur la diversité au sein des espèces à partir de données microsatellites (Takezaki et Nei, 1996).

Les données sur les microsatellites sont utilisées pour une estimation autant au sein qu'entre la diversité et le mélange génétique entre races. Le nombre moyen d'allèles (MNA) et d'hétérozygoties observés et attendus ( $H_o$  et  $H_e$ ) sont les paramètres génétiques, pour évaluer la diversité intra-raciale, les plus couramment utilisés. Toutefois, pour que le nombre moyen d'allèles soit un comparateur valable entre les races, il est important que les échantillons soient les mêmes dans toutes les races. Théoriquement, la diversité allélique peut fournir des informations sur l'unicité de la race, grâce à la présence d'allèles uniques (aussi appelé «privé») dans une population. Dans la pratique, l'observation d'allèles privés doit être interprétée avec prudence, surtout si elle est présente à basse fréquence, car elle pourrait entraîner des artefacts d'échantillonnage. De même, l'erreur-type de mesures d'hétérozygoties dépend du nombre d'animaux génotypés et le niveau de polymorphisme observé au niveau des locis individuels.

Les plus simples paramètres, pour évaluer la diversité entre races à partir des données microsatellites, sont la différenciation génétique ou les indices de fixation. Plusieurs estimateurs ont été proposés (par exemple,  $F_{ST}$ ,  $G_{ST}$ ,  $\theta$ ), la plus largement utilisée étant  $F_{ST}$  (Weir et Basten 1990), qui mesure le degré de différenciation génétique entre les sous-populations, à travers le calcul des écarts normalisés des fréquences des allèles entre populations. La signification statistique peut être calculée pour les valeurs de la  $F_{ST}$  entre des paires de populations testant l'hypothèse nulle d'absence de différenciation génétique entre populations et donc une répartition de la diversité génétique entre elles (Mburu et al. 2003). D'une manière similaire à celle de l'analyse du polymorphisme de l'ADN mitochondrial, l'AMOVA (Excoffier et al. 1992) peut être effectuée pour évaluer la distribution de la diversité au sein et entre les groupes de races.

Les données sur la fréquence des microsatellites sont également couramment utilisées pour évaluer les relations génétiques entre les populations et entre les individus, et ce par le calcul des mesures de distance des ressources génétiques basée sur la fréquence des allèles microsatellites. La mesure la plus couramment utilisée de distances génétiques est celle de la distance génétique standard de Nei ( $D_s$ ) (Nei, 1972). Toutefois, dans le cas des populations étroitement liées où la dérive génétique est le principal facteur de différenciation génétique (comme c'est souvent le cas

dans l'élevage de races en particulier dans les pays en développement), la distance modifiée de Cavalli-Sforza ( $D_A$ ) est recommandée (Nei et al, 1983). La relation génétique entre les races est souvent visualisée par la construction de phylogénies, le plus souvent en utilisant la méthode de Neighbor-joining (N-J) (Saitou et Nei, 1987), qui ne suppose pas que le taux d'évolution soit le même dans toutes les lignées. De nombreux articles (par exemple, celui du journal de la Société internationale de génétique animale, « *Animal Genetics* » [www.isag.org.uk]) ont été publiés décrivant les relations phylogénétiques entre les races de bétail en utilisant les distances génétiques. Toutefois, un inconvénient majeur de la construction de l'arbre phylogénétique est qu'on suppose que l'évolution est non réticulé (c.à.d. que les lignages peuvent diverger, mais ne peuvent jamais résulter de croisements entre lignées). Cette hypothèse tient rarement pour le bétail, où de nouvelles races proviennent souvent d'un croisement entre deux ou plusieurs races ancestrales. La visualisation de l'évolution fournie par la reconstitution phylogénétique doit donc être interprétée avec prudence vu que cette méthode ne peut pas représenter la fusion de lignages.

L'analyse multi-variée et, plus récemment, les approches bayésiennes de regroupement ont été proposées afin d'avoir une analyse de mixture des données de fréquence des microsatellites de l'allèle (Pritchard et al. 2000). L'étude la plus complète de ce type dans le secteur de l'élevage était probablement une étude à l'échelle continentale des bovins africains (Hannotte et al. 2002). En utilisant une analyse en composantes principales, les auteurs ont été en mesure d'évaluer, pour chaque race africaine, le niveau de mélange génétique et d'en déduire les origines dans les trois centres actuellement reconnus de la domestication du bétail. En outre, combinées avec des informations archéologiques, les données moléculaires ont permis d'identifier les centres d'origine ou les points d'entrée sur le continent africain des trois principales influences génétiques qui se trouvent aujourd'hui chez les bovins africains. Un point clé ici est que l'utilisation des données de la génétique moléculaire est un outil utile, en conjonction avec d'autres informations telles que les données archéologiques et documents rédigés sur ce thème; ceci afin de comprendre la nature et l'histoire des origines ainsi que les mouvements et les développements subséquents de la diversité génétique des espèces d'élevage.

La cartographie des origines de la diversité génétique actuelle peut permettre de tirer des conclusions sur l'endroit où la variation génétique fonctionnelle pourrait être trouvée dans une espèce pour laquelle seules des données limitées sur les variations phénotypiques existent.

## L'utilisation de marqueurs moléculaires de la diversité dans des décisions de conservation

Bien que l'idéal soit de conserver toutes les races de bétail pour une utilisation potentielle future, les ressources financières nécessaires, matérielles et humaines sont très peu susceptibles d'être disponibles. Par conséquent, nous devons décider de la manière avec laquelle on va allouer les ressources limitées destinées à la conservation. Un des objectifs de conservation sera de conserver le maximum de diversité pour une utilisation future. Il n'y a presque aucune information potentiellement utile sur la distribution des polymorphismes génétiques entre les races, et très peu d'information existe sur les phénotypes des races des pays en développement. À court terme, par conséquent, l'information du marqueur moléculaire fournit les estimations les plus faciles à obtenir de la diversité génétique au sein et entre un ensemble donné de races. Dans la discussion qui suit, il n'est pas soutenu que l'information issue du marqueur moléculaire soit supérieure à la mesure phénotypique ou aux autres mesures directes ou indirectes de la variation génétique fonctionnelle. Au contraire, les mesures de la diversité génétique basées sur les marqueurs moléculaires sont plus utiles quand toutes les autres informations sont insuffisantes. Ceci est vérifié quand des mesures de variation génétique fonctionnelle, plus détaillées et plus pertinentes (telle que l'évaluation phénotypique précise), sont disponibles. En fin de compte, les décisions de conservation doivent être enrichies par des combinaisons optimales de l'information sur la diversité génétique fonctionnelle, y compris celles des informations basées sur des marqueurs génétiques moléculaires, mais l'aide à la décision actuelle est essentiellement centrée sur l'utilisation de données moléculaires des marqueurs génétiques ou sur les mesures de la diversité dérivées de ces données. À la fin de cette discussion, quelques suggestions sont proposées sur la façon la plus intégrée de l'aide à la décision qui pourrait être développée. Il convient également de garder à l'esprit que les décisions de conservation comprennent des facteurs tels que les valeurs sociales et culturelles des différentes races. Les aides à la décision abordés dans ce chapitre seront probablement plus utiles pour aider les décideurs à comprendre les conséquences des divers plans d'action, pour aider à améliorer plutôt que de conduire le processus de prise de décision.

Un des objectifs de conservation est de maximiser la diversité génétique disponible dans le futur. Selon les estimations de données de marqueurs génétiques moléculaires (Toro et al 1998; Eding et al 2002.). Un certain nombre d'auteurs ont suggéré l'application de méthodes qui maximisent



dans l'avenir le total de la diversité génétique intra et inter race. D'autres auteurs ont mis l'accent sur la maximisation de la diversité entre les races futures (Thaon d'Aroldi et al 1998; Simianer 2002), et des suggestions ont été faites sur la maximisation d'un équilibre pondéré « intra-et inter-race » de la diversité (Piyasatian et Kinghorn 2003).

Bien qu'une forte variabilité génétique peut être trouvée au sein des races (voir chapitre 6), et que les méthodes proposées pour maximiser la somme de la diversité génétique « inter et intra-races » telle qu'elle est évaluée par les marqueurs génétiques moléculaires sont élégantes, nous doutons que la maximisation de cette somme soit un critère pertinent pour fixer des objectifs de conservation; et ceci pour les raisons suivantes:

- La diversité génétique la plus facilement et rapidement exploitable se situe entre les races. Ceci parce que les fréquences des allèles contrôlant des caractères adaptatifs importants et fonctionnels peuvent s'avérer élevées ou fixes au sein des races, c'est pourquoi la substitution de race ou l'amélioration par croisement produit des changements génétiques beaucoup plus rapidement que la sélection au sein des populations.

- La théorie de la population génétique prédit qu'il devrait y avoir une relation non linéaire entre la distance nettement génétique mesurée par les marqueurs génétiques anonymes et fonctionnels (c.à.d. exploitables) des différences entre les races, s'il y a évolution de la dérive génétique ou la sélection. Dans une étude récente de la diversité génétique moléculaire entre les races porcines européennes, il a été constaté que la diversité entre les races a été beaucoup plus élevée que prévu en raison de la variation de la dérive génétique compatibles avec les effets de sélection qui agit dans de vastes régions du génome au cours de la domestication et de l'évolution des races (L. Ollivier, comm. pers.). Une autre illustration qui appuie ces deux premiers points est le cas de la production de lait chez les bovins. Rendement moyen en pleine lactation des bovins de bien moins de 800 litres pour de nombreuses races tropicales succédané à plus de 6000 litres pour les races laitières européennes *Bos taurus*. Sélectionner une race tropicale à faible rendement en production laitière dans un programme d'élevage très réussi pourrait améliorer le rendement en lait à environ 1% par an, alors qu'il faudrait 202 années pour sélectionner une race tropicale non laitière avant d'obtenir des rendements égaux à ceux de races laitières modernes. La substitution de la race pourrait faire ce changement en 5 à 10 ans, leurs croisements pourraient faire la moitié de ce changement en 5 ans et les trois quarts de la variation en environ 10 ans.

- Les méthodes utilisées pour évaluer la variation génétique sur la base de données de marqueurs moléculaires supposent nécessairement que la variation génétique intra-race est fonctionnellement identique pour toutes les races, ce qui n'est peut être pas vrai
- La Conservation d'une faible quantité de races peut garder une très forte proportion de la variation intra-race telle qu'évaluée par les marqueurs génétiques moléculaires.
- Les indicateurs de la diversité utilisés qui ne sont pas monotones et qui ne représentent pas des copies invariantes, ce qui conduit au résultat peu plausible qui illustre que l'ajout de nouvelles races à un ensemble de races à conserver peut réduire le volume estimé de la diversité conservée, tandis que l'ajout d'une race déjà présente dans un ensemble de races peut accroître ce dernier.

Nous croyons qu'une approche plus appropriée consiste à maximiser la diversité à venir entre les races, ou peut-être de mettre l'accent essentiellement sur une plus grande conservation de la variation inter-races plutôt qu'intra-race. Plusieurs groupes ont suggéré l'application d'une méthode proposée par Weitzman (1993, 1998) pour l'allocation des ressources à la conservation de la diversité inter-race. Cette méthode a été adoptée le plus par Simianer et ses collègues (Simianer 2002; Simianer et al 2003.). L'approche proposée consiste à évaluer premièrement les distances génétiques entre les races basées sur les données de la génétique moléculaire ou d'autres sources. Une version légèrement modifiée d'une métrique de la diversité,  $D$ , proposée par Weitzman, a été développée pour l'évaluation de la diversité génétique qui a les propriétés essentielles de la non-négativité, de la monotonie, et aussi de l'invariance des copies. Des méthodes ont été développées pour estimer la probabilité d'extinction de chaque race,  $z_i$ , qui peut ensuite être utilisée pour calculer la diversité future attendue,  $D_F$ , tout en permettant d'introduire les probabilités d'extinction de toutes les races. La contribution marginale à la diversité de chaque race,  $m_i$ , peut également être calculé comme la différence entre  $D_F$  et cette race incluse dans l'ensemble des races avec sa probabilité d'extinction égal à  $m_i$  et  $D_F$  si la probabilité d'extinction  $z_i = 1,0$  (c.-à-d, la race va définitivement s'éteindre). La contribution marginale d'une race donnée n'est pas liée à la probabilité d'extinction propre, mais à la probabilité d'extinction des races étroitement liées. L'observation montre que les races les plus menacées ne sont généralement pas les races qui sont censées avoir la plus grande contribution marginale à la diversité. Cela signifie que les

ressources pour la conservation seront rarement bien employées sur les races avec la plus grande menace d'extinction.

Des méthodes ont été proposées à des prédictions de probabilité d'extinction (Reist-Marti et al. 2003), mais beaucoup plus de recherches sur les méthodes de prévision des probabilités d'extinction sont nécessaires. Les méthodes peuvent être développées pour optimiser l'affectation d'une ressource limitée aux efforts de conservation. Cela exige que la relation entre la probabilité d'extinction et les dépenses de ressources sur la conservation d'une race donnée puisse être définie; ceci doit généralement être possible mais n'a cependant pas encore été appliqué de façon systématique. Une illustration de l'optimisation des ressources pour la conservation des races de bétail en Afrique est donnée par Simianer (2002) et repose sur les relations hypothétiques entre l'allocation des ressources et de changement dans la probabilité d'extinction. Dans cet exemple, l'allocation optimale des ressources a conduit à une augmentation d'environ 60% supérieure dans la diversité future d'environ 60% de plus qu'une allocation égale des ressources à toutes les races ou une allocation privilégiant les races les plus menacées. Ce dernier point est l'approche la plus généralement adoptée en débat montrant que le développement et l'application d'approches optimisées pour l'allocation des ressources pourrait avoir des répercussions importantes sur l'efficacité des programmes de conservation.

Revenant à la question de la mesure appropriée de diversité, qu'il faudrait maximiser dans un programme de conservation, Barker et al. (2001) ont comparé l'utilisation de différentes mesures de la diversité dans un ensemble de races de chèvres asiatiques. Ils ont montré qu'il n'y avait pratiquement pas de corrélation entre les contributions à la diversité des races particulières, lorsque l'objectif était de maximiser (inter et intra-race) la variation totale, et les objectifs qui maximisent la diversité inter-races, telle que mesurée par des indicateurs tels que les statistiques de Weitzman D. Bien que nous ayons ici pris une position claire sur le fait que les mesures auxquelles on croit sont les plus pertinents pour les objectifs de conservation, il serait important, pour la communauté internationale, de parvenir à un consensus sur cette question, afin d'assurer une utilisation rationnelle et efficace des ressources destinées à la conservation.

**La combinaison de données de génétique moléculaire, phénotypique, et autres dans la prise de décision**

Les approches susmentionnées fondées sur des mesures anonymes de la diversité peuvent être étendues pour inclure des mesures directes de l'utilité

(p.e., la résistance aux maladies, résistance au stress, productivité), de façon à ce que la combinaison de la diversité et l'utilité maximale soient conservées. Simianer (2002) propose une méthode possible. De telles méthodes doivent être davantage développées, mais en principe, peuvent faire face à toute situation allant de n'avoir aucune information sur l'utilité, où seule la diversité génétique moléculaire est disponible, jusqu'à avoir des informations complètes sur l'utilité, où les données moléculaires de la diversité génétique seraient négligeables dans le processus d'optimisation.

L'issu de l'optimum dans la prise de décision est de calcul intensif quand plus que quelques races sont concernées, ce qui limite son potentiel d'application à de grands problèmes et son utilisation comme un outil facilement accessible. Les algorithmes génétiques constituent une solution itérative basée sur les principes de l'évolution qui peuvent rapidement résoudre ces problèmes d'optimisation très complexes. Cela a été illustré par Piyasatian et Kinghorn (2003) pour un problème de maximisation d'une combinaison de la variance intra et inter-race génétique, dans lequel l'utilisateur définit le poids relatif à être placé à l'intérieur ou entre les races de la variance. Cela a été illustré par Piyasatian et Kinghorn (2003) pour un problème de maximisation d'une combinaison de la variance intra et inter-race génétique, dans lequel l'utilisateur définit le poids relatif à être placé à l'intérieur ou entre les races de la variance. Ces méthodes peuvent être développées pour générer des interfaces dans lesquelles les utilisateurs peuvent varier de nombreux paramètres d'entrée et explorer les conséquences de scénarios de conservation alternative en temps réel. Ces méthodes pourraient aussi être élargies pour élaborer des modèles plus sophistiqués de l'impact des décisions de conservation (p.e., l'inclusion des prévisions de taux de consanguinité et donc la perte de diversité génétique intra-race) et, par là, la perte de potentiel d'amélioration génétique future. Ces outils peuvent être fournis en conjonction avec des bases de données relatives aux ressources génétiques du bétail basées sur le Web et des systèmes d'information, ou comme outils autonomes pouvant être exécutés sur n'importe quel ordinateur de bureau standard. Ces outils pourraient probablement être facilement adaptés à des applications importantes dans la prise de décision en matière de conservation d'autres espèces agricoles et non agricoles.

## Notes

1. Ces estimations proviennent de la liste mondiale de surveillance pour la diversité des animaux domestiques, compilées à partir des rapports de situation sur les ressources

généétiques animales soumises par les représentants officiels des pays à la base de données officielle de la FAO. Une critique de cette approche pour documenter la diversité génétique du bétail est que chaque pays a le droit souverain d'identifier comme une ressource génétique unique toute ressource génétique présente dans ce pays. Par exemple, de nombreux pays, identifient les porcs de races indigènes comme un patrimoine génétique national, ils seront alors considérés comme une race distincte dans chaque pays. Dans de nombreux pays, il ya très peu de porcs de races indigènes, et ils sont donc identifiés comme étant sous un certain degré de menace, bien que la population mondiale de porcs de races locales reste énorme et sous aucune menace. Bien qu'il y ait, sans aucun doute, un certain degré de différenciation génétique entre certaines populations de porcs de races indigènes, le processus utilisé pour compiler des statistiques conduit à une surestimation du nombre de races et de la proportion des races menacées. Ce problème provient presque exclusivement des déclarations faites par des pays développés. La plupart des observateurs sur le terrain pensent que la situation dans les pays en développement est l'opposé de celle des pays développés. Dans les pays en voie de développement, de nombreuses ressources génétiques du bétail ne sont pas signalées, et les menaces croissantes aux ressources génétiques y sont beaucoup plus importantes que ce qui est officiellement signalé. Les menaces qui pèsent sur les ressources génétiques animales dans les pays en développement sont déterminés principalement par l'utilisation croissante de métissage et de l'évolution des pratiques agricoles, qui sont toutes deux en hausse. Il y a donc une situation déplorable dans laquelle de nombreux observateurs sont sceptiques envers les menaces aux ressources génétiques animales, à cause des détours induits par le processus d'information dans les pays en développement, tandis que d'autres observateurs estiment que les menaces à d'importantes ressources génétiques sont beaucoup plus grandes que le présent rapport suggère. Il y a un urgent besoin de précision, de documentation complète par rapport à l'état et les tendances des ressources génétiques animales dans les pays en développement.

2. Au 1<sup>er</sup> mai 2006, il y avait 188 Parties à la CDB, et 168 de ces pays ont signé la convention ([www.biodiv.org](http://www.biodiv.org)).

## Références

- Avise, J. C. 1994. *Molecular Markers, Natural History and Evolution*. New York: Chapman and Hall.
- Ayalew, R., J. E. O. Rege, E. Getahun, M. Tibbo, and Y. Mamo. 2003. Delivering systematic information on indigenous animal genetic resources: The development and prospects of dagris. Proc. Deutsche Tropentag 2003: Technological and Institutional Innovations for Sustainable Rural Development, October 8–10, 2003. Goettingen, Germany.
- Baker, C. M. A. and C. Manwell. 1980. Chemical classification of cattle. I. Breed Groups. *Animal Blood Groups and Biochemical Genetics* 11:127–150.
- Barker, J. S. F., S. G. Tan, S. S. Moore, T. K. Mukherjee, J. L. Matheson, and O. S. Silveraj. 2001. Genetic variation within and relationships among populations of Asian goats (*Capra hircus*). *Journal of Animal Breeding and Genetics* 118:213–233.

- Bruford, M. W., D. G. Bradley, and G. Luikart. 2003. DNA markers reveal the complexity of livestock domestication. *Nature Reviews Genetics* 4:900–910.
- Cunningham, E. P. 1992. Animal genetic resources: The perspective for developing countries. In J. O. E. Rege and M. E. Lipner, eds., *Animal Genetic Resources: Their Characterization, Conservation and Utilization*. Research Planning Workshop, ILCA, Addis Ababa, Ethiopia, February 19–21, 1992. Addis Ababa, Ethiopia: ILCA.
- DAGRIS. 2003. *Domestic Animal Genetic Resources Information System (DAGRIS)*. Version 1. J. E. O. Rege, W. Ayalew, and E. Getahun, eds. Addis Ababa, Ethiopia: ILRI. [dagrils.ilri.cgiar.org](http://dagrils.ilri.cgiar.org).
- EAAP Animal Genetic Databank. 2003. Department of Animal Breeding and Genetics, School of Veterinary Medicine, Hanover, Germany. [www.tiho-hannover.de/einricht/zucht/eaap/index.htm](http://www.tiho-hannover.de/einricht/zucht/eaap/index.htm).
- Eding, H., R. P. Crooijmans, M. A. Groenen, and T. H. Meuwissen. 2002. Assessing the contribution of breeds to genetic diversity in conservation schemes. *Genetics Selection Evolution* 34:613–633.
- Excoffier, L., P. E. Smouse, and J. M. Quattro. 1992. Analysis of molecular variance inferred from metric distances among DNA haplotypes: Application of human mitochondrial DNA restriction data. *Genetics* 131:479–491.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 1984. *Animal Genetic Resources Conservation by Management, Data Banks and Training*. Part 1. Rome: FAO.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 1986a. *Animal Genetic Resources Data Banks*. 1. *Computer Systems Study for Regional Data Banks*. Rome: FAO.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 1986b. *Animal Genetic Resources Data Banks*. 2. *Descriptor Lists for Cattle, Buffalo, Pigs, Sheep and Goats*. Rome: FAO.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 1986c. *Animal Genetic Resources Data Banks*. 3. *Descriptor Lists for Poultry*. Rome: FAO.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 1999. *The Global Strategy for the Management of Farm Animal Genetic Resources*. Executive Brief. Rome: FAO.
- Felius, M. 1995. *Cattle Breeds: An Encyclopedia*. Doetinchen, The Netherlands: Misset.
- Gibson, J. P. 2003. Strategies for utilising molecular marker data for livestock genetic improvement in the developing world. In *Proceedings International Workshop on Marker Assisted Selection: A Fast Track to Increase Genetic Gain in Plant and Animal Breeding*, October 2003. Torino, Italy.
- Goldstein, D. B. and C. Schlötterer. 1999. *Microsatellites: Evolution and Applications*. New York: Oxford University Press.

- Goldstein, D. B., A. R. Linares, L. L. Cavalli-Sforza, and M. W. Feldman. 1995. An evaluation of genetic distances for use with microsatellite loci. *Genetics* 139:463-471.
- Hanotte, O., D. G. Bradley, J. W. Ochieng, Y. Verjee, E. W. Hill, and J. E. O. Rege. 2002. African pastoralism: Genetic imprints of origins and migrations. *Science* 296:336-339.
- Hodges, J., ed. 1987. *Animal Genetic Resources: Strategies for Improved Use and Conservation*. Proceedings of the 2nd Meeting of the FAO/UNEP Expert Panel with Proceedings of the eaap/psas Symposium on Small Populations of Domestic Animals. Rome: FAO.
- Hodges, J., ed. 1992. *The Management of Global Animal Genetic Resources*. Proceedings of an FAO Expert Consultation. Rome: FAO.
- Jarne, P. and P. J. L. Lagoda. 1996. Microsatellites, from molecules to populations and back. *Tree* 11:424-429.
- Luikart, G., L. Gielly, L. Excoffier, J. D. Vigne, J. Bouvet, and P. Taberlet. 2001. Multiple maternal origins and weak phylogeographic structure in domestic goats. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA* 98:5927-5932.
- Manwell, C. and C. M. A. Baker. 1980. Chemical classification of cattle. 2. Phylogenetic tree and specific status of the Zebu. *Animal Blood Groups and Biochemical Genetics* 11:151-162.
- Mason, I. L. 1988. *A World Dictionary of Livestock Breeds, Types and Varieties*. Wallingford, UK CAB International.
- Mburu, D. N., J. W. Ochieng, S. G. Kuria, H. Jianlin, B. Kaufmann, J. E. O. Rege, and O. Hanotte. 2003. Genetic diversity and relationships of indigenous Kenyan camel (*Camelus dromedarius*) populations: Implications for their classification. *Animal Genetics* 34:26-32.
- Nei, M. 1972. Genetic distance between populations. *The American Naturalist* 106:283-292.
- Nei, M., F. Tajima, and Y. Tatenno. 1983. Accuracy of estimated phylogenetic trees from molecular data. II. Gene frequency data. *Journal of Molecular Evolution* 19:153-170.
- Nijman, I. J., M. Otsen, E. L. Verkaar, C. de Ruijter, E. Hanekamp, J. W. Ochieng, S. Shamshad, J. E. O. Rege, O. Hanotte, M. W. Barwegen, T. Sulawati, and J. A. Lenstra. 2003. Hybridization of banteng (*Bos javanicus*) and zebu (*Bos indicus*) revealed by mitochondrial DNA, satellite DNA, AFLP and microsatellites. *Heredity* 90:10-16.
- Piyasatian, N. and B. P. Kinghorn. 2003. Balancing genetic diversity, genetic merit and population viability in conservation programmes. *Journal of Animal Breeding and Genetics* 120:1-13.
- Pritchard, J. K., M. Stephens, and P. Donnelly. 2000. Inference of population structure using multilocus genotype data. *Genetics* 155:945-959.

- Rege, J. E. O. 1992. Background to ILCA'S AGR characterisation project, project objectives and agenda for the research planning workshop. In J. E. O. Rege and M. E. Lipner, eds., *African Animal Genetic Resources: Their Characterisation, Conservation and Utilisation*, 55–59. Addis Ababa, Ethiopia: ILCA.
- Reist- Marti, S. B., D. Wakelin, H. Simianer, J. Gibson, O. Hanotte, and J. E. O. Rege. 2003. Weitzman's approach and livestock conservation: An application to African cattle breeds. *Journal of Conservation Biology* 17:1299–1311.
- Roughsedge, T., R. Thompson, B. Villanueva, and G. Simm. 2001. Synthesis of direct and maternal genetic components of economically important traits from beef breed- cross evaluations. *Journal of Animal Science* 79:2307–2319.
- Saitou, N. and M. Nei. 1987. The neighbor-joining method: A new method for reconstructing phylogenetic trees. *Molecular Biology and Evolution* 4:406–425.
- Scherf, B., ed. 2000. *World Watch List for Domestic Animal Diversity*, 3rd ed., Part 1.9, 20, [dad.fao.org/en/Home.htm](http://dad.fao.org/en/Home.htm), databases. Rome: FAO/UNDP.
- Schlötterer, C. and D. Tautz. 1992. Slippage synthesis of simple sequence DNA. *Nucleic Acids Research* 20:211–215.
- Simianer, H. 2002. Noah's dilemma: Which breeds to take aboard the ark? In *7th World Congress on Genetics Applied to Livestock Production*, 8. Montpellier, France: INRA/CIRAD.
- Simianer, H., S. B. Marti, J. Gibson, O. Hanotte, and J. E. O. Rege. 2003. An approach to the optimal allocation of conservation funds to minimize loss of genetic diversity between livestock breeds. *Ecological Economics* Special Issue on ANGR 45:377–392.
- Sunnucks, P. 2001. Efficient genetic markers for population biology. *Tree* 15:199–203.
- Swaminathan, M. S. 1992. Biological diversity and global food security. In R. R. Lokeshwar, ed., *V International Conference on Goats. Pre- Conference Proceedings. Plenary Papers and Invited Lectures*, 1–5. New Delhi: International Goat Association and Indian Society of Sheep and Goat Production and Utilization.
- Takezaki, N. and M. Nei. 1996. Genetic distances and reconstruction of phylogenetic trees from microsatellite DNA. *Genetics* 144:389–399.
- Thaon d'Aroldi, C., J. L. Foulley, and L. Ollivier. 1998. An overview of the Weitzman approach to diversity. *Genetics Selection Evolution* 30:149–161.
- Toro, M., L. Silió, J. Rodríguez, and C. Rodríguez. 1998. The use of molecular markers in conservation programmes of live animals. *Genetics Selection Evolution* 30:585–600.
- Weir, B. S. and C. J. Basten. 1990. Sampling strategies for distances between DNA sequences. *Biometrics* 46:551–582.
- Weitzman, M. L. 1993. What to preserve? An application of diversity theory to crane conservation. *Quarterly Journal of Economics* 108:157–183.
- Weitzman, M. L. 1998. The Noah's ark problem. *Econometrica* 66:1279–1298.



## 6 La gestion des ressources zoogénétiques : variation et interaction

---

I. HOFFMANN

Les races de différentes espèces domestiquées d'animaux de ferme sont la base biologique du développement du secteur du bétail ainsi que de sa contribution à la sécurité alimentaire et au développement rural durable. Seulement 14 d'environ 30 espèces de mammifères et d'oiseaux fournissent 90% de l'alimentation humaine de source animale. Pourtant, la valeur de la plupart des ressources génétiques animales demeure mal connue. Le développement effectué durant le 20ème siècle s'est focalisé sur un petit nombre de races à l'échelle universelle, souvent sans une considération appropriée des effets du milieu de production local sur la capacité de survie, de production et de reproduction d'une race. La gestion de ce capital biologique a été négligée, ce qui s'est traduit par une érosion importante susceptible de s'accélérer avec l'augmentation de la demande mondiale des produits de l'élevage souvent appelée « Révolution de l'élevage ».

L'usage et le développement des races de bétail ainsi que la conservation des races de valeur présentant actuellement peu d'intérêt pour les agriculteurs, doivent être améliorées afin d'assurer une future sécurité alimentaire et un développement rural durable. L'usage, le développement et la conservation des races sont des éléments complémentaires et critiques. Une gamme de développement moléculaire rapide et de biotechnologies reproductives ont également d'importantes implications dans la gestion des ressources génétiques animales (GRGA). Ce chapitre va traiter la diversité de la GRGA en se basant sur trois questions clés (Masinde 2001):

- Dans quelles mesures les agriculteurs veulent ils maintenir un nombre d'espèces et de races dans le système de production agricole ? Quelles en sont les raisons ?

- Quelles sont les techniques et les stratégies que les agriculteurs utilisent afin de maintenir un certain nombre d'espèces et de races ?
- Quelles sont les forces positives et négatives qui aident ou empêchent les agriculteurs de maintenir cette diversité ?

Suite à une revue générale de la domestication et de la distribution des espèces de bétail, les objectifs majeurs des systèmes de production animale, des races et de la reproduction ont été réexaminés. Les principales forces externes agissant sur la GRGA sont identifiées et la manière dont les agriculteurs y font face est étudiée. Généralement, les études portant sur l'évaluation et la gestion des GRGA à petite échelle, ainsi que sur l'agriculture traditionnelle sont insuffisantes, mais beaucoup d'entre elles ont été initialisées durant ces dernières années. Les études portant sur la diversité au sein des systèmes de production agricole sont d'autant plus insuffisantes.

## Le statut de la GRGA

### *Domestication et distribution des espèces*

La domestication a débuté il y a environ 12.000 ans, et a suivi deux méthodes d'usage de la production animale. En premier lieu, l'attention a été portée sur la sélection des animaux pour l'approvisionnement en viande, matière grasse et fibres par la domestication des ovins, des caprins, des porcins, des bovins, des chiens et des porcs de guinée. Par la suite, après une période de domestication qui a déjà influencé le comportement des animaux, ces derniers ont été également utilisés pour le transport et comme force de traction. Les principales espèces sélectionnées dans ce but sont notamment les bovins, les buffles, les yacks, les ânes, les chevaux, les lamas et les chameaux (Röhrs 1994). Dans la plupart des cas, les humains ont influencé l'environnement dans lequel les animaux ont vécu, mais dans quelques systèmes de production tels que le nomadisme, les humains ont suivi leurs animaux. Il y a plusieurs repères de domestication dans le temps et l'espace (Bruford et al. 2003), comme illustré dans le tableau 6.1. L'échange des animaux entre les continents et les pays a toujours connu une certaine limite, mais il s'est développé par la suite durant la colonisation, particulièrement depuis le 19<sup>ème</sup> siècle.

Aujourd'hui encore, à titre d'exemple, la plupart des diverses races de taureaux et de yacks se trouvent en Asie, la plus grande diversité de chevaux,

de poules et d'oies est localisée en Europe, alors que la diversité de camélidés est concentrée en Amérique latine (tableau 6.1).

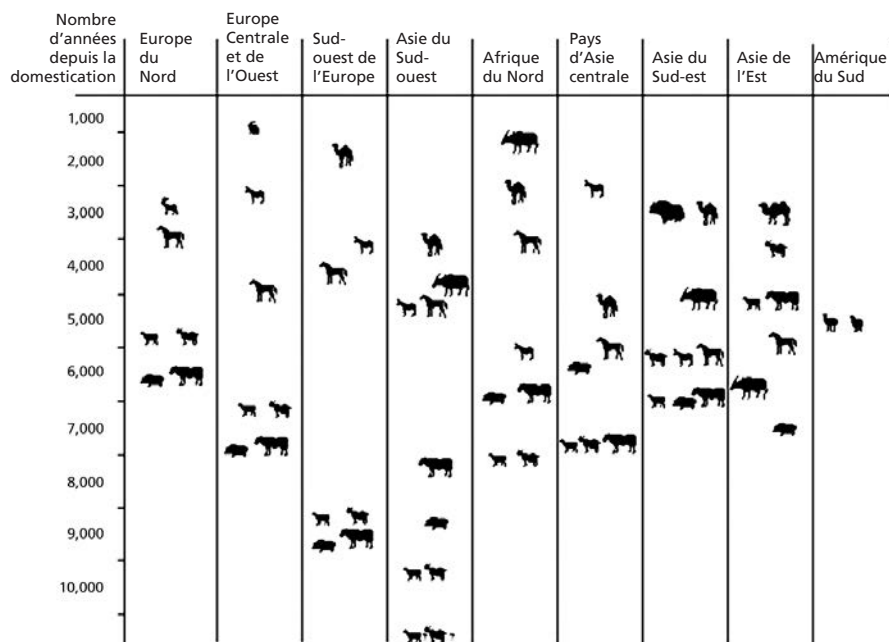


FIGURE 6.1. Époque et lieu de domestication des espèces de mammifères domestiques (d'après Röhrs 1994).

### Les systèmes de production animale

Plusieurs milliers de populations de races animales domestiques se sont développées durant les 12.000 années qui ont suivi la domestication de la première race de bétail. Celles-ci ont évolué à partir d'adaptations qui permettent la production animale dans un large éventail de zones agroécologiques et systèmes de production, sous différents régimes économiques. Les objectifs de la production diffèrent également et comprennent à la fois l'agriculture de subsistance avec une forte proportion de la consommation domestique et l'agriculture commerciale sans consommation domestique. Les petits agriculteurs ne vendent leurs animaux que lorsqu'ils y

Tableau 6.1 Répartition géographique de la population mondiale et du nombre d'espèces des principaux animaux d'élevage

	Afrique		Asie-Pacifique		Europe		Amérique latine et Caraïbes		Proche-Orient		Amérique du Nord	
	% Pop mondiale	% espèces	% Pop mondiale	% espèces	% Pop mondiale	% espèces	% Pop mondiale	% espèces	% Pop mondiale	% espèces	% Pop mondiale	% espèces
Buffles	0.1	3.5	93.4	70.9	0.3	3.5	1.0	10.5	2.5	11.6	0.0	0.0
Bovins	13.2	20.5	34.9	19.3	12.3	39.4	26.9	8.7	5.4	7.0	8.4	5.1
Yack	0.0	0.0	n/a	69.2	n/a	7.7	0.0	0.0	n/a	23.1	n/a	0.0
Caprins	19.4	15.6	55.4	25.6	3.7	32.8	5.8	6.0	16.2	16.5	0.2	3.5
Ovins	12.1	11.2	38.6	17.7	17.5	47.9	8.5	3.2	23.0	15.3	0.7	4.6
Porcs	2.8	4.4	54.7	36.9	21.5	45.8	8.2	6.0	0.1	0.4	7.8	6.4
Ânes	22.2	12.4	34.3	12.4	3.5	23.7	18.8	5.2	21.3	41.2	0.1	5.2
Chevaux	7.4	7.7	24.5	11.4	12.8	60.7	42.5	4.3	4.2	8.5	10.7	7.3
Camélidés	17.7*	20.6*	14.8†	22.2†	0.1†	3.2†	100.0†	100.0†	66.8†	54.0†	0.0	0.0
Poulet	5.4	7.8	45.4	17.7	14.5	64.2	16.4	5.0	7.3	3.8	13.7	1.4
Canards <sup>o</sup>	0.9	11.0	91.7	45.0	8.9	36.0	2.7	6.0	1.4	2.0	1.0	n/a
Dindes	1.0	17.6	0.8	17.6	49.5	47.1	6.3	11.8	3.1	2.9	39.6	2.9
Oies	1.4	7.6	89.8	19.7	7.0	63.6	0.2	7.6	4.8	n/a	0.1	1.5

Sources: FAO (1999) pour les populations d'animaux d'élevage et Domestic animal diversity informations system Scherf (2000)

\*Dromadaires uniquement

†Dromadaires et chameaux de Bactriane

<sup>o</sup>Camélidés du Nouveau Monde

<sup>o</sup>Canards domestiques et canards de Barbarie

sont contraints pour des raisons économiques. Ils gardent leurs animaux principalement pour la consommation domestique ou encore pour des raisons sociales, religieuses ou culturelles. L'élevage représente actuellement entre 25% et 30% du produit intérieur brut agricole dans les pays en voie de développement, et cette part passerait à presque 50% au cours des 20 prochaines années. L'élevage fournit une gamme de services tels que la création de revenus, l'accumulation d'actifs, l'assurance contre les variations cycliques, la nourriture, l'habillement et autres biens, l'extension et le recyclage nutritif (ex : à travers l'utilisation des recettes provenant d'autres activités agricoles comme les résidus de récolte). Environ 70% des pauvres du monde rural dépendent de l'élevage en tant qu'élément de subsistance. L'élevage fournit une contribution plus importante au revenu et au bien être des petits exploitants et particulièrement aux femmes, et à travers elles aux enfants de ces ménages, qu'à celui des riches.

Les principaux critères généralement utilisés pour la classification des systèmes de production animale sont les zones agro-écologiques, la mobilité, l'intégration à la ferme, les biens fonciers, les apports extérieurs nécessaires à la production et les objectifs économiques. Les systèmes de production animale ont été classifiés par Sere et al. (1996) selon la superficie nécessaire à la production en : élevage à base d'herbages, mixtes et hors sols.

Les fermes à base d'élevage de prairie ou les systèmes basés sur le pastoralisme sont généralement des systèmes d'élevage pur où le bétail est considéré comme la seule source de revenu pour environ 20 millions de familles pastorales (Steinfeld et al. 1997). En termes de production totale, les systèmes de pâturage fournissent seulement 9% de la production mondiale de viande. La majorité du bétail est gardée dans les systèmes agricoles mixtes. A l'échelle mondiale, les systèmes de production agricole mixte produisent 54% de la production de viande et 90% de la production laitière. Cette agriculture mixte présente le système principal pour les petits exploitants agricoles dans de nombreux pays en voie de développement. Les systèmes hors-sols fournissent plus de 50% de la production mondiale de viande porcine et de volaille et 10% de la production bovine et ovine. Ils dépendent des approvisionnements externes en nourriture, énergie, et autres intrants.

### *Les races et la reproduction*

Les GRGA sont généralement regroupés selon leur origine locale et traditionnelle ou exotique et moderne, et selon leur historique de reproduction

en tant qu'indigènes et localement développées ou élevées pour le commerce. Les races commercialisées sont habituellement dérivées de programmes de reproduction scientifiques, qui sont basés sur l'identification et l'enregistrement des performances de chaque animal (voir le glossaire de l'Organisation pour l'alimentation et l'agriculture - FAO: définition des races).

La reproduction du bétail commence par un contrôle de la reproduction, ce qui est difficile dans les élevages extensifs d'herbage. La reproduction est la composante la plus importante pour l'utilisation et le développement des ressources génétiques animales. Les objectifs de la reproduction des races locales incluent l'adaptation aux environnements difficiles, la résistance aux maladies et la fourniture d'une gamme de produits et de services qui peuvent être négociables ou pas.

Un tel élevage est à portée multifonctionnelle et fournit de la nourriture (viande, lait et œufs), des fibres (laine, cuir et peau), une force de traction, du fumier et de l'énergie. En Afrique du Sud par exemple, quelques petits exploitants utilisent les oies comme animaux de garde (bayer et al. 2003). La conduite des troupeaux dans les pâturages peut tisser des liens sociaux et culturels favorisant le maintien de la biodiversité. Les sociétés indigènes ont un savoir profond sur les types d'animaux mâles et femelles dont ils ont besoin et qui s'adaptent le mieux à leur environnement et à leurs conditions de production.

Les Grecs et les Romains pratiquaient un élevage d'animaux assez développé comme on peut le conclure à partir de la large taille des os de squelettes retrouvés. Cependant, un tel savoir et de telles pratiques ont disparu en Europe durant le moyen âge, période durant laquelle les bovins étaient de petite taille. Les éleveurs de chevaux arabes étaient les premiers à appliquer le pedigree dans la sélection durant le moyen âge. Ce savoir a par la suite influencé l'élevage européen. L'élevage moderne a été entamé durant le 18ème siècle particulièrement en Grande Bretagne. Une multitude de races a émergé, souvent adaptée à l'environnement local spécifique. Par exemple, les races d'ovins et de bovins sélectionnées pour les terrains en altitude avaient un phénotype différent de ceux sélectionnés pour les terrains dans les basses altitudes, tout comme les chevaux pure sang différaient des chevaux de travail. Les races ont également été développées sur les bases des importations en provenance d'autres continents. Les porcs britanniques indigènes ont été croisés avec des races de l'Asie de l'Est et du Sud et des races méditerranéennes. Durant cette période, la reproduction était plus tournée vers les phénotypes que vers les caractères de production. De plus, les races étaient à usages multiples comme les bovins, qui

étaient utilisés pour le lait, la viande et la force de traction. A partir de ces races (les races indigènes), les races modernes spécialisées ont été développées depuis 1950 afin de produire un rendement élevé dans un ou deux caractères de production tels que le lait, la viande, les œufs ou les fibres. Les races actuelles ont été sélectionnées il y a au moins 20 générations de systèmes de production animale en race pure. Un tel système moderne de production animale implique un accouplement contrôlé, une identification et un enregistrement individuel des animaux, des tests de progéniture et de performance afin de trouver des parents de race supérieure (particulièrement du côté masculin à cause de la supériorité de la capacité reproductive des mâles), et des traitements de données sophistiqués.

Aujourd'hui, la plupart du bétail élevé dans les pays développés (et qui augmente également dans les pays en voie de développement) est gardée dans des conditions contrôlées, sans dépendre des conditions du milieu qui les entoure. Même les ingrédients alimentaires ne sont pas nécessairement produits localement étant donné que l'alimentation est facilement accessible dans les marchés internationaux. Un tel découplage environnemental est plus prononcé dans les systèmes de production de bétail hors-sol, comme avec les volailles et les porcs gardés sous conditions intensives, mais peut également être important pour les produits laitiers et les bovins de boucherie gardés dans les parcs d'engraissement. L'uniformité des conditions environnementales a limité le besoin en races, ce qui a affecté la diversité du bétail. (Tisdell 2003).

Les objectifs d'élevage comprennent la haute performance dans des traits de caractères limités (la viande, le lait ou les œufs). Plus récemment, ces objectifs d'élevage ont notamment inclus l'amélioration de la santé animale et la stabilité métabolique (ex : la structure osseuse, l'intégrité des organes vitaux pour les volailles), le comportement animalier et la qualité du produit. Ces caractéristiques ont été introduites dans les schémas d'élevage pour faire face aux problèmes environnementaux causés par les élevages intensifs, et également pour aviver la sensibilisation et les préoccupations des consommateurs, ainsi que les mouvements soutenant la cause animale dans les pays développés.

Aux États-Unis les consommateurs portent un intérêt croissant pour les volailles et des œufs des fermes. Des facteurs externes (ex : la gestion des déchets) et la pression causée par les pôles d'intérêt commun (ex : la protection animale) peuvent hausser les frais d'élevage vu qu'ils nécessitent l'adaptation aux scénarios imprévus, peut-être aussi en exigeant l'aptitude dans les programmes de sélection. On se retrouve face à deux dilemmes: la concurrence possible avec les humains pour se nourrir, et la pollution

qui se caractérise par une haute teneur en azote et en phosphore causée par les fermes à charge importante de porcs et de volailles. L'amélioration constante du ratio de la conversion alimentaire chez les espèces monogastriques est imposée aux entreprises et aux institutions d'élevage pour des raisons éthiques, environnementales et économiques. Le ratio de la conversion alimentaire dans la production de viande et des œufs des volailles commerciales a été réduit de 4.0:1 en 1950 à 2.0:1 en 2000 (Flock et Preisinger 2002). Il est actuellement à 2,5 dans la production commerciale de porc.

Les races indigènes sont conservées et échangées par plusieurs petits agriculteurs, alors que les races commerciales ont tendance à s'associer à des échelles plus importantes et sont plus concentrées dans la région. Cette concentration est indépendante de la forme juridique des entreprises (coopératives ou sociétés). Les coopératives agricoles peuvent gagner jusqu'à 100% des parts dans certains marchés boursiers d'élevage, et d'autres entreprises de reproduction ont adapté la même démarche sur d'autres marchés. (Preisinger 2004). La concentration dans l'industrie animale repose sur le taux de reproduction, la probabilité, les frais de transport des produits d'élevage et les dépenses qui y sont associées. Le taux de reproduction est le plus élevé chez les volailles, suivis par les porcs (une reproduction élevée chez les femelles), ensuite les bovins (une reproduction élevée chez les males), et il est beaucoup plus faible chez les petits ruminants. La facilité d'utilisation de la biotechnologie reproductive est la plus élevée chez les bovins (congélation de sperme et d'embryons) et faible chez les volailles et les porcs (sperme frais principalement utilisé dans l'élevage commercial). Chez les petits ruminants et les chevaux, l'insémination artificielle n'est pas répandue vu que l'accouplement naturel est le plus dominant. Le taux de reproduction est le plus élevé chez les volailles et les poussins. Les œufs sont faciles à transporter, ce qui a renforcé la consolidation dans l'élevage industriel des volailles. Il y a cinquante ans, les premiers éleveurs ont apparut dans les pays occidentaux. Dans les débuts des années 80, le nombre des entreprises d'élevage dans le monde avait atteint les 20. Aujourd'hui, le marché mondial du poulet est dominé par trois groupes d'éleveurs de base et 4 grandes entreprises de production de poulets de chair (Flock et Preisinger 2002). Une tendance similaire est prévue dans l'industrie du porc.

D'un point de vue institutionnel, l'élevage moderne est fortement organisé, il se réfère aux livres généalogiques où les animaux et les enregistrements des ascendances sont inscrits, ce qui soutient les objectifs phénotypiques et de reproduction de l'organisation d'élevage. Les organisations



### Encadré 6.1 Les races de volailles et la variabilité génétique

L'origine de toutes les volailles semble être la poule rouge « de jungle » de l'Asie du Sud (Hillel et al. 2003). Les races de volailles dans les pays en voie de développement sont souvent non descriptives, et, en dehors de la race Fayoumi, développées en Egypte (Hossary et Galal 1995). Aucune race tropicale développée à partir de poules indigènes n'a été enregistrée en Afrique. La composition génétique de la race Fayoumi est différente de celles des autres races et les oiseaux sont beaucoup plus résistants aux maladies virales que les poules américaines (« Egyptian chicken plan » 1997).

On peut trouver une forte variabilité génétique (polymorphisme élevé) chez les races comptant un nombre élevé de populations, de larges troupeaux et une consanguinité restreinte. En se basant sur les populations indigènes génétiquement distinctes, des races pures ont été développées, elles diffèrent au niveau des caractères phénotypiques tels que la couleur du plumage et son motif, et la forme de la crête. La taille effective de la population de ces races peut diminuer dans une courte période de temps si, comme chez les races ornementales, la sélection des traits est très pointue. La consanguinité, la dérive génétique et les goulets d'étranglement peuvent aggraver la situation menaçant ainsi les races. Peu de données sur les races de volailles sont disponibles dans le système d'information sur la diversité des animaux domestiques (DAD-IS) basé à la FAO, et ce malgré les efforts fournis au fil des ans afin de l'améliorer (Scherf 2000 ; Weigend et Romanov 2002). Les données disponibles dans le DAD-IS sur les 14 espèces d'oiseaux et les 1049 races ne représentent que 16% des races enregistrées. D'après les données sur les ressources génétiques des volailles fournies au DAD-IS, il paraît évident que les races enregistrées en Europe et en Amérique du Nord sont menacées d'extinction pour la plupart, tandis que dans les autres régions, les données signalées ne sont pas suffisantes. 50% des races de volailles enregistrées dans le DAD-IS sont classées comme étant « menacées ». C'est le pourcentage le plus élevé parmi les espèces figurant dans DAD-IS. Les lignées commerciales ne figurent pas sur la liste. Il en est de même pour les lignées gardées dans les réserves des fermes d'élevage et dans les universités.

Les éleveurs de volailles commerciales offrent des produits divers, dont la plupart est le fruit de trois ou quatre croisements de races pures. Pour ce faire, les lignées de reproducteurs doivent être développées constamment et les lignées de réserve sont gardées. Les éleveurs commerciaux font preuve de consanguinité limitée et essaient de maintenir une variabilité génétique forte (Flock et Preisinger 2002). Par rapport à la variabilité génétique, les races commerciales couvrent un large éventail de diversité génétique de volailles, ce qui pourrait être le cas chez certaines races ornementales. Toutefois, les producteurs d'œufs à coquille blanche sont préoccupés par la réduction de la variabilité génétique et par la réponse future à la sélection, puisque les œufs à coquille blanche proviennent d'une seule espèce : la Leghorn. La base génétique des poules pondeuses brunes ou des poulets de chair a été plus large, provenant principalement de quatre races. La fusion des entreprises d'élevage ces dernières années et l'élimination des lignées de réserve pour des raisons économiques a accru le besoin de conservation de variation génétique des races et des lignées (Hilal et al. 2003).

d'élevage peuvent être des associations appartenant aux éleveurs ou à des entreprises de reproduction privées.

Une grande partie des informations concernant ces organisations et leurs programmes sont publiquement accessibles (ex : via les sites web des associations d'élevage). Ces organisations produisent généralement une seule race, ciblant uniquement une ou deux caractéristiques de production et ne tentent pas d'augmenter ou de maintenir la biodiversité du GRGA. Elles visent plutôt à gérer la variabilité génétique au sein d'une population (encadré 6.1). Les technologies de reproduction avancées et le recours fréquent aux géniteurs ont permis d'établir une population comptant des millions, comme c'est le cas chez les bovins Holstein-Frisonne. Cependant, la taille effective de la population est inférieure à 100.

Le terme « races » désigne la diversité génétique animale exploitée par les humains et il porte une connotation culturelle plus qu'une unité technique (Voir le glossaire des définitions de la FAO). La diversité génétique, en termes de variabilité, peut être décrite au niveau des distances génétiques à travers des méthodes de génétique moléculaire comme les marqueurs microsatellites. Plus les races sont éloignées dans l'arbre phylogénétique, plus elles sont différentes génétiquement. On trouve une grande variété génétique chez les races à population importante qui comportent de nombreux troupeaux et où la consanguinité est limitée. La diversité génétique mesurée au niveau moléculaire ne correspond pas toujours à la diversité des races phénotypiques parce qu'un long passé d'échanges, de mise à niveau et de croisements a créé des génotypes similaires chez des phénotypes dissemblables ou l'inverse. Une race de bétail autochtone en Namibie, qui est connue sous le nom de Sanga et qui se trouve dans les parties nord et nord-est du pays, est un exemple concret de génotypes semblables se trouvant dans des phénotypes différents. Quatre écotypes différents ayant évolué dans des environnements distincts sont reconnus : les Ovambo, les Caprivi, les Kunene et les Kavango. Cependant, ils sont génétiquement assez semblables (Nortier et al, 2002). Des exemples de croisements, visant à accroître la variabilité génétique tout en conservant le phénotype, sont les bovins Murnau-Werdenfelser, une race menacée en Allemagne qui a été croisée avec les Tarentaises, ou l'ancienne race Angler qui a été croisée avec la Danoise rouge. Les éleveurs de poules de race ornementale sont principalement préoccupés par le phénotype, alors que les génotypes des races phénotypiquement différentes peuvent être très semblables. Les races disparues peuvent être recréées par des croisements visant à reproduire une norme phénotypique. Ces créations pourraient être souhaitables au niveau de la conservation phénotypique et motivée sur

le plan socioculturel des races anciennes adaptées à un environnement spécifique, et peuvent être considérées comme un patrimoine agricole. Elles ne doivent néanmoins pas être confondues avec le maintien de la variabilité génétique. Les deux lignes d'arguments doivent être distinguées : la race comme constituante sociale avec certaines caractéristiques phénotypiques ; telle qu'elle est définie par les gouvernements comme gardien de la biodiversité par la Convention sur la diversité biologique ; et la variabilité génétique au niveau génomique ou au niveau du locus. Cela met l'accent sur les difficultés à focaliser la discussion sur la diversité des ressources zoogénétiques, leur caractérisation et leur gestion.

### La gestion des ressources zoogénétiques indigènes

Ce chapitre portera principalement sur la gestion des ressources génétiques animales indigènes. Le savoir indigène est l'ensemble de connaissances d'une population qui reflète les expériences locales basées sur les traditions. Il assemble aussi des expériences plus récentes aux technologies modernes. Ce savoir est donc dynamique. Il change à travers les mécanismes de créativité et d'innovation ainsi qu'à travers le contact avec les autres systèmes de connaissances, qu'ils soient locaux ou internationaux. (Richards 1985; Warren 1991 ; Haverkort 1993 ; Rajaskaran 1993 ; encadrés 6.2 et 6.3).

D'un point de vue social, les décisions des agriculteurs concernant les ressources génétiques animales sont influencées par les organisations et les institutions au sein de la communauté aussi bien que de la gestion des ménages et des ressources communautaires et leurs accessibilité (Rege 2003). L'accès aux ressources naturelles (terre et eau), le régime foncier et la propriété (privée ou publique), sont déterminant pour choisir les espèces à garder. Il est admis que la notion de « race » est une manifestation de l'environnement ainsi que des valeurs et objectifs communautaires, par conséquent la conservation de la diversité agricole doit s'harmoniser avec le milieu de production (Rege 2003).

#### *Pour quelles raisons les pasteurs et agriculteurs préservent-ils les espèces et les races dans leurs systèmes agricoles ?*

Les éleveurs autochtones sont principalement des pasteurs et des agriculteurs mixtes qui ont des connaissances profondes de leur environnement naturel. Dans ces systèmes, les animaux sont marqués selon leur apparte-

nance à tel ou tel clan, l'identification de chaque animal demeure difficile pour les étrangers.

Rege (2003 : 27) a noté que « le terme « race » n'aurait pas de sens dans les régions de faible influence occidentale où la base de données généalogiques des ascendances n'est pas souvent disponible. Néanmoins, malgré ces contraintes, certaines races ou espèces doivent leur identité distincte et continue à une combinaison d'objectifs d'élevage traditionnels d'une part, et à la séparation géographique ou culturelle mise en place par les communautés qui en sont propriétaires de l'autre. »

La reconnaissance de chaque animal et le degré de contrôle des animaux d'élevage dépendent de la contribution du bétail dans la subsistance des agriculteurs ou des sociétés. Par conséquent, ils ont tendance à être plus répandus dans les systèmes d'élevage que dans les systèmes de production agricole mixte. Il y a aussi une grande variabilité d'une espèce à une autre ; les éleveurs de chameaux sont plus susceptibles de s'intéresser à l'élevage que les producteurs de moutons et de chèvres (Huelsebusch et Kaufmann 2002). Le bétail peut être hérité ou échangé contre un service (ex : pâturage), reçu comme don de la part des parents ou acheté (Hassan 2000 ; Gondwe et Wollny 2002 ; Jabbar et Diedhiou 2003).

Diverses études montrent que les éleveurs de races indigènes utilisent un certain nombre de critères pour évaluer les animaux d'élevage et distinguer les mâles des femelles. Ces critères sont le fruit de la multitude de fonctions que les animaux sont sensés remplir. Tano et al. (2003) ont interviewé des éleveurs de subsistance, des producteurs de récoltes mixtes et de bétail ainsi que des producteurs de bovin et de lait et ce dans une zone touchée par la tsétsé au Burkina Faso. Ils ont découvert que tous les agriculteurs préfèrent un bétail peu exigeant en terme de pâturage et de qualité d'eau. Chez les taureaux, la capacité de traction, la grande taille, la haute fécondité, la résistance aux maladies et le gain de poids rapide sont souhaitables. Chez les vaches, la performance de reproduction, la haute production de lait et la masse corporelle sont des critères importants mais qui diffèrent selon les systèmes de production. Les agriculteurs valorisent la traction plus que les éleveurs qui s'intéressent plutôt à la production laitière. Les agriculteurs-éleveurs (polycultures) s'intéressent à la traction animale plus qu'à la production de viande et de lait, et sont donc moins préoccupés par la faible performance de reproduction. Pour les éleveurs, la faible performance reproductive est problématique car elle affecte la taille du troupeau et sa capacité reproductive. Le lait ainsi que la viande bovine demeurent une préoccupation majeure. Comme dans le cas des taureaux,

### Encadré 6.2 Les caractéristiques préférées des éleveurs de bovins N'dama : méthode participative pour évaluer les objectifs d'élevage

La recherche et l'évaluation des connaissances des éleveurs en matière d'élevage et des stratégies, représentent un défi, à cause du manque de bonnes conditions d'élevage et de bases de données. Cette étude vise à identifier les méthodes participatives appropriées facilitant la compréhension de l'intérêt que portent les agropasteurs aux races bovines indigènes, leur préférence pour la production et les traits fonctionnels pouvant s'appliquer pour l'amélioration des programmes d'élevage et la gestion des ressources génétiques animales.

L'étude a été menée auprès de propriétaires et de gardiens de troupeaux de 27 villages de 3 départements en Gambie. Trois sites d'études ont saisi les différences qui touchent la commercialisation, le défi de la tsé-tsé et la structure de la propriété des troupeaux. Dans tous les sites d'étude prédominent une agriculture à production diversifiée et à faible apport en intrants, avec un système d'élevage. Les bovins sont exploités en tant que races à usages multiples fournissant le lait, la viande, la fumure organique et comme bêtes de somme. Comme ailleurs dans les zones touchées par la tsé-tsé en Afrique de l'Ouest, les ruminants restent exploitables grâce à leur trypanotolérance et à leurs aptitudes d'adaptation. Environ 95% des bovins de Gambie sont des races bovines trypanotolérantes (N'dama) (CIRDES/ILRI/ITC 2000). Cependant, la proximité du climat aride de la savane facilite l'immigration des bovins Gobra de type Zebu. Les agropasteurs utilisent plusieurs techniques d'enquêtes pour identifier et évaluer leurs préférences de races et les rendre disponibles afin de définir les objectifs de sélection. Des discussions de groupes menées dans 7 villages ont permis de déterminer les objectifs de production des agropasteurs, les stratégies d'élevage y compris les préférences en termes de races et traits génétiques, ainsi que les pratiques d'élevage.

Les discussions de groupe ont révélé que malgré que les N'Dama soient la race bovine préférée, le croisement avec les Gobra est aussi pris en considération dans les stratégies d'élevage traditionnelles. Les critères d'évaluation les plus fréquemment mentionnés par les agropasteurs concernant les taureaux N'Dama sont : la taille (13.1%), la force (28.3%), la libido (10.6%) et la bonne progéniture (12.3%). Les agropasteurs utilisent le terme « force » pour décrire une combinaison de vigueur et d'aptitude physique. Chez les vaches N'Dama, la production de lait (25.1%), le vêlage annuel (24.9%) et la force (16.6%) sont des critères prioritaires. L'état de santé (reflétant la résistance aux maladies) est le paramètre le plus important chez les taureaux et est extrêmement important chez les vaches. Au niveau de la production, les priorités sont le rendement laitier et la reproduction pour les vaches ; et la taille et la performance au niveau de la production pour les taureaux.

Se basant sur les fréquences des critères et des objectifs de la production de bétails, six traits génétiques ont été sélectionnés pour la classification matricielle (boîte 6.2). Les N'Dama ont atteint les premiers rangs en termes de résistance au stress des saisons sèches, de traction et de résistance aux maladies. Les Gobra ont été les plus faibles au niveau de la résistance aux maladies, et les meilleurs en termes de taille et de rendement laitier. Les résultats diffèrent significativement d'un site à l'autre.

TABEAU DE L'ENCADRÉ 6.2. Les évaluations de 1 à 5 des races bovines en Gambie telles que fournies par les agropasteurs

Critères d'évaluation	Gobra	N'Dama–Gobra	N'Dama
Taille	4.9	4.3	3.1
Rendement en lait	4.7	4.3	3.2
Fréquence de vêlage	2.9	3.1	4.4
Adaptation aux saisons sèches	2.3	2.9	4.7
Utilisation comme bête de somme	2.7	3.5	4.7
Résistance aux maladies	1.8	2.6	4.6

Les approches participatives pour la gestion des ressources génétiques animales sont vitales pour pouvoir identifier et évaluer les différents aspects des stratégies d'élevage traditionnel, ainsi que pour assurer l'implication active des communautés d'éleveurs de bétails. L'outil de classification matricielle fournit des données quantifiables et facilite l'échange d'informations pertinentes sur l'élevage entre les agropasteurs et les chercheurs. Les agropasteurs ont exprimé leur préférence pour la race N'Dama en raison de sa résistance aux maladies et ses caractères d'adaptation. La taille est un critère de sélection très important chez la race N'Dama, elle occupe le premier rang chez la race Gobra et elle est considérée comme une raison pour le croisement. Ceci met l'accent sur la nécessité de soutenir l'amélioration génétique de la race N'Dama dans les programmes d'élevage des races pures si leur intégrité et leurs traits génétiques adaptatifs doivent être maintenus dans le futur. Néanmoins, les politiques d'élevage doivent prendre en considération la planification régionale et l'amélioration des programmes d'appui qui, dans les zones à fort potentiel, peuvent même consolider les tentatives de croisement déjà effectuées par les agropasteurs.

Source: Steglich et Peters (2002).

une grande masse corporelle reste souhaitable chez les vaches puisqu'elle affecte la valeur de l'animal au niveau du marché (Tano et al. 2003) (voir encadré 6.2).

Une étude menée au Nord Ouest du Nigéria (Hoffmann 2003 ; encadré 6.4) démontre que la répartition des animaux d'élevage dans le paysage, varie selon l'espace et la saison et que plusieurs races sont maintenues

### Encadré 6.3 La valeur de la race bovine éthiopienne «Boran » dans un environnement variable

Cette étude illustre les changements au niveau de la valeur de la race bovine Boran afin d'exploiter son habitat d'origine. Ces changements ont été causés par les interventions erronées de développement et l'accroissement de la densité de la population humaine. Les données ont été recueillies dans deux régions de l'Éthiopie avec des fonctionnalités opposantes au niveau de la gestion traditionnelle, ainsi qu'une différence au niveau de l'interférence externe. Le district Web est une zone aride traditionnelle de pâturage, située au Borana central et liée à l'un des neuf puits profonds de la région. Le district de Dida Hara est une ancienne région de pâturage de saison humide. Il est situé dans le parcours périphérique où des bassins ont été construits dans les années 1970 afin d'atténuer l'exploitation des pâturages de saison humide et assurer une meilleure utilisation en général. Les techniques des diagnostics participatifs en milieu rural, des entretiens, des GPS (global position systems) et des cartes géographiques officielles ont été utilisés afin de déterminer les préférences des éleveurs, l'état des ressources naturelles et les stratégies locales de l'exploitation des terres. La masse corporelle des animaux bovins adultes de races indigènes, mâles et femelles, a été mesurée en pleine saison (sèche et humide). Les bovins éthiopiens « Boran » résultent des stratégies réussies d'élevage et de sélection effectuées par les éleveurs dans les conditions à haut risque des régions semi-arides. Les bovins « Boran » étaient autrefois appréciés pour leur productivité importante dans les zones semi-arides (Cousins et Upton 1988 ; Behnke et Abel 1996). Exportés pour des raisons d'élevage commercial vers des pays tels que le Kenya, l'Australie et le Mexique, la race améliorée des bovins « Boran » a atteint 850 kg au Kenya (Rege 1999). Le système local d'exploitation des terres des pasteurs du Borana s'est basé sur des actions bien planifiées entre les catégories des parcours fonctionnels et le mouvement des troupeaux, afin d'assurer la disponibilité du pâturage et de l'eau. La rareté de l'eau était la principale variable déterminant l'utilité des pâturages considérés comme les meilleurs parcours en Afrique Orientale. Diverses institutions autochtones ont adapté les besoins des troupeaux avec la gestion des pâturages disponibles et les ressources en eau durant les périodes d'abondance et de pénurie. Ensuite, les bassins artificiels du Dida Hara ont causé l'établissement d'une zone de pâturage permanent et de peuplement incontrôlé, ce qui a réduit la mobilité des troupeaux et a engendré le pâturage excessif dans des parcours autrefois exploités d'une manière temporaire. En même temps, l'établissement d'une administration officielle et hiérarchique a contribué à la disparition des institutions de gestion des parcours de pâturages autochtones. En outre, la délimitation de nouvelles frontières politiques et administratives, dans le cadre du programme récent de régionalisation établi par le gouvernement éthiopien et comprenant l'aliénation d'un tiers du parcours Borana ainsi que plusieurs puits importants en faveur de l'état régional Somalien, a intensifié les conflits entre les tribus somaliennes et celles du Borana. Le taux de croissance annuel est estimé à 2,5 – 3 %, ce qui renforce la pression sur les parcours de pâturage et réduit la disponibilité des ressources par habitant.

Le résultat implique la détérioration des ressources pastorales comme l'indique la disparition des espèces favorites empiétées par les espèces indésirables (Coppock 1994 ; Kamara 2001 ; Homman et al. 2004).

Les modifications apportées au parcours Borana ont menacé le maintien du type *Qorti* de bétail éthiopien Boran, et ont favorisé les types moins grands et plus robustes (*Ayuna*). Quand les conditions sont favorables, les éleveurs préfèrent le type *Qorti* à gros gabarit. Le *Qorti* est apprécié pour sa fertilité, sa bonne croissance et sa production laitière. Cependant, comparé au type *Ayuna*, le type *Qorti* semble être moins résistant à la sécheresse et aux parasites externes, et s'adapte mal avec la rareté des ressources fourragères. Le type *Ayuna* provient de l'introgession génétique des bovins Highland. Ils sont plus petits de taille, mais plus robustes et capables de s'adapter quand les conditions du parcours se dégradent. Il est généralement considéré comme étant plus faible comparé au type *Qorti* en matière de fertilité et de production laitière et viande. Les mesures effectuées sur la masse corporelle moyenne ont révélé que les *Qorti* sont significativement plus lourds que les *Ayuna*. Cependant, les *Ayuna* ont tendance à prendre plus de poids que les *Qorti* pendant la saison pluvieuse.

La répartition géographique des types de bétail reflète l'adaptation des préférences des éleveurs avec la dégradation du milieu. Le district du « Web » a été identifié comme étant plus favorable au maintien du type *Qorti* dont l'existence est plus fréquente à ce district qu'au district Dida Hara. Au Dida Hara, où les interventions extérieures sont importantes, la pression du pâturage a connu une expansion rapide et l'hétérogénéité socio-économique a été prononcée. C'est lors de la sécheresse de 1999 – 2001 que les plus grandes pertes de bétail ont été enregistrées au Borana. Aujourd'hui, l'épuisement total des pâturages a fait que seule une minorité d'éleveurs riches est capable de se procurer des taureaux *Qorti* soit sur le marché soit par le biais des fermes d'élevage gouvernementales. Dans de telles circonstances, la population de race Borane éthiopienne exploitant cet habitat a régressé. Les éleveurs ont reconnu que le type *Qorti* à gros gabarit risque de disparaître du Borana avec le temps. Le type *Qorti* est jugé comme étant incapable de s'accommoder quand les ressources de pâturage se font rares. La plupart des ménages ont maintenu soit le type *Ayuna*, soit un petit nombre du type *Qorti* à faible performance. La rareté des pâturages, la récurrence des sécheresses et l'appauvrissement de la majorité de la population ont été définis comme étant les causes principales de l'érosion génétique. Toute tentative pour conserver le vrai bétail Boran éthiopien nécessite l'amélioration qualitative et quantitative des ressources de pâturages mises à la disposition des éleveurs. De multiples facteurs interconnectés ont rendu le contrôle de l'exploitation des ressources naturelles plus difficile. Les communautés d'élevage ont déclaré que leurs moyens de subsistance ont décliné dans les années 1970, avec le début des interventions extérieures. Constatant la dégradation de leurs parcours, et étant conscients du déclin de leur capital social, ces



*Encadré 6.3, suite*

communautés considèrent toujours les stratégies traditionnelles de production indispensables pour la gestion des races nobles, mais insistent également sur la nécessité des services par le biais d'une administration officielle. De vraies structures visant la continuation des négociations (médiation des conflits et arbitrage) entre les groupes intéressés doivent être établies.

La continuité des négociations entre les parties prenantes des ressources naturelles peut assurer un accès collectif aux ressources naturelles à plus grande échelle, générer des structures communautaires coopératives, favoriser la gestion communautaire des relations avec les étrangers et améliorer la coordination des activités étrangères. Les avantages de cette forme de négociation comprennent la facilitation de l'innovation adaptative, le rejet des pratiques nuisibles et l'arbitrage des réclamations conflictuelles. Les dangers comprennent l'abus de pouvoir et l'inégalité dans l'accès à l'information, la croissance de la commercialisation, les alliances politiques et l'exposition des groupes défavorisés à davantage de manipulation. Soutenir cette approche institutionnelle exige des concepts politiques suffisamment pragmatiques, la prise en compte de dimensions socio-économiques et écologiques dans les programmes de recherches et développement, ainsi que des mesures permettant aux différents groupes d'intérêt de s'entendre sur des rôles et des régimes fonciers clairement définis. La réussite dépend en grande partie des questions politiques plutôt que des questions techniques. Elle dépend certainement aussi de la volonté des différentes parties d'échanger les informations et de collaborer afin de renforcer les capacités (Grell et Kirk 2000 ; Thebaud et Batterbury 2001).

*Source:* Homann et al. (2004).

par différents groupes de producteurs, afin de satisfaire les besoins (approvisionnement et services) liés à leur niche écologique et à leur système de production.

Dans les pays en voie de développement, peu d'informations concernant les races sont accessibles. Des facteurs tels que la performance, l'adaptation et la résistance aux maladies ne sont pas toujours sauvegardées. La plus grande partie de la diversité génétique du bétail est localisée dans les pays en voie de développement où la documentation est peu disponible et le risque de sa perte très élevé. La valeur des races indigènes de bétail est sous-estimée puisqu'on focalise uniquement sur les produits commercialisables, négligeant la multitude de fonctions et la durabilité des performances. La faculté d'adaptation face aux conditions défavorables de production demeure un attribue propre à plusieurs races indigènes, mais ceci reste difficile à sauvegarder à cause des conditions difficiles du travail sur

**Encadré 6.4** Gestion de la biodiversité pastorale et agropastorale en Afrique occidentale : une étude de cas du Nord Ouest du Nigéria.

Les bovins sont considérés comme la base de subsistance pour les éleveurs et les agropasteurs en Afrique occidentale. Ils sont exploités pour le lait, le fumier, la viande et leur force de traction. Ils sont également jugés utiles comme épargne et assurance. La composition des populations d'animaux d'élevage, en particulier des bovins, a généralement été analysée en termes du sexe et de l'âge des troupeaux individuels. (FDLPCS 1992a, 1992b; Vabi 1993). Au Nord du Nigeria, les données sur le nombre de bêtes sont difficiles à collecter lors des entretiens. Tout d'abord, les éleveurs sont réticents à donner des informations sur le nombre d'animaux qu'ils possèdent pour des raisons culturelles et par crainte de la fiscalité. Ensuite, certaines pratiques de gestion des risques dans un environnement variable à la fois économiquement et écologiquement augmentent la difficulté du contrôle et de l'obtention de données précises. Ces pratiques comprennent l'échange répandu des animaux dans un réseau social, la répartition des troupeaux en unités de gestion qui pourraient être rassemblées loin du domaine du propriétaire et le regroupement des animaux de propriétaires différents dans un seul troupeau. Les informations concernant la densité de la population animale de cette étude ont été obtenues à partir des recensements mensuels des animaux dans la réserve Zamafra au nord-ouest du Nigeria (Schaefer 1998).

Le recensement des animaux a ensuite été converti en unités de bétail tropical (UBT) équivalente de 250 kg de poids vif. Pendant toute l'année, une moyenne de 0,84 de tête de bovin, 0,55 mouton et 0,38 chèvre a été trouvée par hectare de terrain, ce qui entraîne un taux d'ensemencement de 0,81 ubt/ha. Ce taux d'ensemencement dépasse les normes recommandées. La plus forte densité bovine a été observée en août avec 2,3 tête/ha. Cela coïncide avec un pic de précipitations, un fort taux de croissance végétale et l'approvisionnement en nutriment des pâturages à la fois en termes quantitatifs et qualitatifs.

La densité animale décroissante dans les prairies pendant la saison sèche, reflète la diminution de la disponibilité en eau et en pâturage et la migration des éleveurs pastorales, hors de la réserve de Zamfara. Aucun bétail n'a été trouvé dans les zones cultivées pendant la saison des pluies, puisque l'accès en a été interdit par les autorités du village.

Le nombre de bovins est maintenu à un taux de 1,6 tête/ha dans les terres cultivées de décembre à mars et diminue rapidement par la suite. En revanche, le taux d'ensemencement des ruminants a légèrement et progressivement baissé de 0,3 à 0,1 animal/ha pendant la saison sèche. Grâce au fumier, la forte densité du bétail contribue à l'apport nutritif (Hoffmann et al. 2001).

Interrogés sur leur bétail dans la réserve lors de différentes enquêtes, les éleveurs et les agropasteurs Peuls ont communiqué des chiffres variant de 69 à 75 de têtes de bovins, de 33 à 43 moutons et de 34 à 36 chèvres (Kyiogwom et al., 1994). Des troupeaux de bovins similaires et d'autres moins importants de petits ruminants ont été observés chez les Peuls installés au nord du Cameroun (Vabi 1993).

*Encadré 6.4, suite à la page suivante*

La taille des troupeaux de Fulani est supérieure à celle de Haoussa : 77% des agriculteurs de Haoussa élèvent en moyenne 13 moutons et 75% élèvent 11 chèvres. Ils possèdent également quelques bovins, principalement des mâles adultes pour les fins de projets, mais seulement 7 % des agriculteurs en gardent plus de 10.

Le nombre de bovins ou de petits ruminants observés pour chaque unité d'élevage ne diffère pas entre les terres cultivées et les pâturages. Sur 1264 troupeaux observés, le nombre moyen de bovins était de 20,2 (intervalle d'observations allant de 1 à 183). Les deux-tiers des troupeaux comptaient moins de 20 têtes de bétail. Bien que l'observation des troupeaux ne permet pas de faire des conclusions directes sur la structure des propriétés, ce cas de figure peut être expliqué par une large proportion de petits troupeaux appartenant à des agriculteurs ne gardant que quelques bovins dont une forte proportion de bêtes de somme (Hassan 2000; Hoffmann et al. 2001).

Lors des entretiens, les éleveurs ont déclaré que les grands troupeaux sont fragmentés et que le bétail est regroupé par catégorie. Les taureaux, les vaches, le jeune bétail et les veaux sont rassemblés séparément pour mieux répondre à leurs besoins nutritionnels et pour prendre en compte leur capacité de marche (Schaefer 1998).

Les races les plus répandues dans la région sont les Bunaji (Fulani blancs), les Rahaji (Bororo rouges) et les Sokoto Gudali. La vache Rahaji est une race bivalente, produisant du lait et de la viande. Les Bunaji et les Sokoto Gudali fournissent en plus une force de traction. Les Bunaji sont exploités principalement pour le rendement laitier, et les Sokoto Gudali servent à la fois à la production de viande et aux travaux agricoles grâce à leur imposante masse musculaire (FDLPCS 1992a).

Dans ce domaine, 734 troupeaux (58%) se composent d'une seule race. Si les troupeaux sont assez purs, les animaux reproducteurs d'un certain type sont sélectionnés. Cela implique que les propriétaires de bétail aient une bonne idée, quant à l'adaptation de leurs bovins à un environnement et à un objectif particulier, et choisissent leurs taureaux en conséquence. La saison et la région au sein de la réserve ont significativement influencé la répartition de ces races. Les rahaji, mieux adaptés à un environnement aride et sévère, sont plus fréquents dans les parties nord de la réserve. Le rahaji est la race pastorale la plus prestigieuse, elle est aussi la mieux adaptée à un environnement aride. Elle est sensible aux maladies liées à l'humidité (Blench 1999). Le Bunaji, qui représente la race la plus importante dans 42% des troupeaux dans le nord, se trouve plus souvent dans les parties centrales et sud de la réserve, où il domine nettement (respectivement 62% et 90%). La docilité des races s'accroît de la race Rahaji plus que la race Bunaji et jusqu'à la race Sokoto Gudali (FDLPCS 1992a). Par conséquent, les Rahaji sont gardés uniquement par les éleveurs, indépendamment de leur activité agricole. Les Bunaji, sont gardés par les éleveurs et agropasteurs, alors que les Sokoto Gudali sont gardés principalement par les agriculteurs (Haoussa et Fulani). Le remplacement des bovins Rahaji et des Bunaji par des Sokoto Gudali dans les troupeaux des Peuls a également été

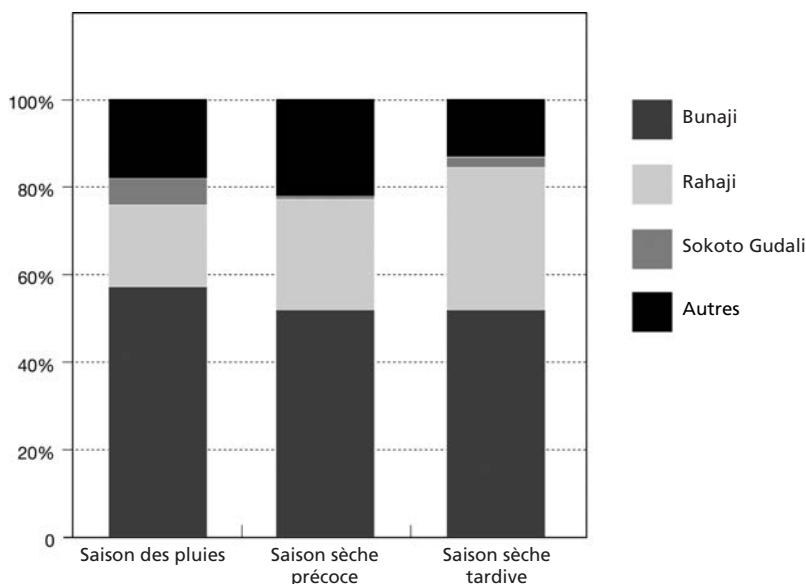


FIGURE DE L'ENCADRÉ 6.4. Les races bovines dans les terrains de parcours de la réserve de Zamfara par saison (Schaefer 1998).

observé par Vabi (1993) et Blench (1994). Ainsi, la distribution des races bovines révèle un choix délibéré de races particulières à des fins particulières, pour une utilisation en fonction de leur adaptation aux conditions écologiques. L'étude de cas de la réserve Zamfara a montré que les éleveurs ont développé des stratégies permettant d'utiliser et de gérer la biodiversité. En général, elles sont fondées sur les connaissances locales des sols, des plantes domestiques et sauvages et du bétail, selon les variations spatiotemporelles de l'accès aux ressources naturelles y compris la mobilité, la flexibilité des droits de propriété sur les échanges de biens et services avec les systèmes et entre eux, et un mélange d'activités régénératrices de revenus.

Ceci est typique des zones arides de l'Afrique occidentale, où le bétail et les systèmes de production agricole ont été maintenus, et ce malgré des précipitations irrégulières, l'expansion démographique et les changements survenant sur le marché.

Toutes ces stratégies sont basées sur un haut degré de diversité, de flexibilité et d'adaptabilité, afin de faire face aux impondérables.

Source: Hoffmann (2003).

### Encadré 6.5 Castration des animaux

La castration des mâles est une pratique courante dans plusieurs systèmes d'élevage nomade. Même si les animaux castrés grossissent davantage et sont moins agressifs (et donc plus faciles à gérer), de mauvaises décisions en termes de sélection génétique des mâles non castrés ou la perte par accident de ceux-ci peuvent laisser un troupeau d'animaux de piètre qualité. Une stratégie alternative est d'utiliser des moyens mécaniques pour empêcher la reproduction. La couverture des parties génitales des moutons et des chèvres est une pratique assez répandue dans l'Asie de l'Ouest.

La castration a probablement été assez rarement pratiquée en Afrique subsaharienne avant l'époque moderne en raison des risques qu'elle faisait courir aux mâles. Toutefois, la généralisation des soins vétérinaires a favorisé le développement de cette pratique.

Dans les Andes, la castration semble avoir été très pratiquée pour toutes les espèces. Elle dépend en partie des méthodes d'échange des mâles au sein des sociétés. D'une certaine façon, cette pratique est liée aux effets des sécheresses et des tempêtes de neige. Si un mâle meurt et qu'il y a trop peu d'animaux présentant un patrimoine génétique intéressant, il n'est possible de retrouver une certaine qualité qu'en empruntant un reproducteur au sein de la famille ou de la communauté. Cette méthode d'échange est d'autant plus efficace que la communauté est soudée. Elle peut néanmoins potentiellement faire baisser le nombre de mâles reproducteurs du clan (Blench 2001).

le terrain. L'évaluation quantitative des races indigènes est difficile dans les milieux traditionnels à cause de l'incapacité au niveau de l'identification des animaux et au niveau de l'évaluation des performances. L'évaluation qualitative a récemment été effectuée par plusieurs groupes. Elle s'est basée principalement sur l'évaluation participative des priorités et les préférences des éleveurs de bétail et de leurs communautés, en grande partie dans les systèmes de bétail traditionnels ou modifiés. Ce progrès méthodologique est démontré dans « la valorisation des ressources génétiques animales », un numéro spécial de la revue « Ecological Economics » (2003). En plus des méthodes participatives, plusieurs outils économiques ont fait preuve d'efficacité lorsqu'il s'agit de l'évaluation des ressources génétiques animales, tels que l'analyse conjointe (Tano et al. 2003) et les modèles de prix hédoniques évaluant les préférences des acheteurs pour certaines caractéristiques et certaines races sur le marché du bétail (Mohammed 2000 sur le marché des chameaux ; Jabbar et Diedhiou 2003 sur le marché des bovins). L'intérêt croissant pour les races indigènes et la gestion communautaire des ressources génétiques animales est également reflété dans la littérature (Kohler-Rollefson 2000 ; Mhlanga 2002).

## *Comment les éleveurs nomades et les fermiers conservent-ils les espèces ?*

Les stratégies de sélection et de conservation des espèces de bétail sont très variables d'une société d'éleveurs à l'autre (Blench 2001). La castration des mâles n'est pas une pratique acceptable dans certaines cultures, et la séparation des sexes est difficile à mettre en place pour des troupeaux élevés en liberté et lors des transhumances (voir encadré 6.5). Certains éleveurs ont des troupeaux si importants qu'ils sont en mesure de choisir les animaux qui se reproduiront pour favoriser certaines races en particulier (Köhler-Rollefson 2003). D'autres éleveurs se contentent de s'assurer que leur troupeau ne se mélange pas avec d'autres animaux plutôt que de contrôler la reproduction de leurs bêtes. Cette action a également pour but d'éviter la transmission de maladies extérieures au troupeau.

Une grande partie des peuples d'éleveurs nomades d'Afrique de l'Ouest semblent indifférents au contrôle des espèces, bien qu'ils soient sensibles au besoin d'intégrer des espèces différentes dans le cas où leur troupeau se déplace vers un milieu environnemental différent (Blench 1994, 1999). Ainsi, les éleveurs nomades possèdent et conservent des espèces de bétail rares et adaptées à leur milieu.

Dans de nombreux systèmes d'élevages pastoraux et d'exploitations agricoles mixtes, il existe un système d'échange traditionnel, souvent au sein d'une même communauté ethnique. La généalogie des individus y est un élément important, et il en est presque de même pour les animaux. Ainsi, le bétail est souvent offert comme cadeau lors d'événements importants de la vie (naissance, mariage). Les éleveurs nomades de Mongolie associent clairement la généalogie des humains et celle des animaux. Toutefois, cette pratique a été interrompue avec la collectivisation des troupeaux et l'introduction de certaines pratiques scientifiques de sélection des espèces (Blench 2001). Au-delà du mélange de matériel génétique, les échanges de troupeaux sont également une façon de renforcer les liens de la communauté. Il existe différentes formes de baux ruraux dans lesquels la personne qui reçoit l'animal doit en partager la progéniture avec le donateur (Hassan 2000, Chagunda and Wollny 2002, Gondwe and Wollny 2002).

### **Changement et menaces pour les RGA (Ressources génétiques animales)**

L'érosion des RGA progresse à un rythme croissant. Sur les 6 300 espèces de bétail répertoriées dans DAD-IS (Domestic Animal Diversity Information System), 1 350 sont menacées d'extinction ou ont déjà disparu.

**Tableau 6.2.** Statut des risques touchant les mammifères et les oiseaux dans le monde en décembre 1999: chiffres en valeur absolue par région

Situation	Afrique	Asie- Pacifique	Europe	Amérique latine et Caraïbe	Proche- Orient	Amérique du Nord	Total
<b>Espèces mammifères</b>							
Nombre total d'espèces	632	1,031	2,512	304	562	289	5,330
Inconnue	205	280	265	116	278	103	1,247
En danger	74	99	857	43	37	69	1,179
Éteinte	39	43	515	27	25	55	704
Hors de danger	314	609	875	118	222	62	2,200
<b>Espèces aviaires</b>							
Nombre total d'espèces	106	220	611	53	34	25	1,049
Inconnue	45	99	63	0	0	2	209
En danger	21	43	391	24	7	22	508
Eteinte	0	4	32	0	0	0	36
Hors de danger	40	74	125	29	27	1	296

Source: Domestic Animal Diversity Information System, Scherf (2000)

Dans l'ensemble, ce sont 35 % des espèces mammifères et 52 % des races aviaires d'élevage qui sont éteintes ou en danger. L'Europe a le taux le plus important d'espèces d'élevage menacées (55 % des mammifères et 69 % des races aviaires). En revanche, ces taux sont inférieurs à la moyenne mondiale pour l'Asie et l'Afrique (voir graphique 6.2). Concernant les espèces indigènes, il existe une préoccupation croissante quant à leur préservation, notamment en raison de leur extinction progressive due au mélange génétique avec des espèces exotiques. La perte de ces races de bétail spécifiques entraînerait du même coup la perte de certains traits génétiques qui, dans certains cas, sont le fruit de plusieurs siècles de sélection comme : la trypanotolérance des bovins, ovins et caprins, la résistance à la chaleur et à la sécheresse des chèvres des Marwaris, qui peuvent supporter une alimentation pauvre, la résistance au froid des bovins des Yakuts.

Les menaces les plus sérieuses pesant sur les populations sont les suivantes :

- Les guerres, parasites, apparitions de maladies (animales et humaines) et autres catastrophes naturelles (inondations, sécheresses, tremblements de terre).
- Les changements de l'environnement, le réchauffement climatique et les bouleversements des écosystèmes agricoles.
- Les changements économiques et sociaux, l'urbanisation, les modifications des conditions de marché et l'accélération de l'extinction de certaines méthodes agricoles et de modes de vie.
- La perte des activités économiques traditionnelles et de la diversité culturelle.
- La marchandisation des troupeaux et ses effets en termes de substitution des espèces ou de mélanges de races indigènes et exotiques.
- La recherche de profits à court terme et le manque de considération de la valeur actuelle ou future des RGA.
- La faiblesse de la gestion à long terme et l'absence de programmes de développement durable de l'élevage.
- La faiblesse des politiques de développement des troupeaux, l'absence de systèmes de prévention et l'incapacité de restaurer la diversité des RGA après les catastrophes.
- Les politiques de gestion des sols régulant le partage des pâturages, le déplacement forcé des communautés d'éleveurs nomades et la perte des troupeaux.

### *Changements environnementaux*

Les changements de l'environnement naturel peuvent affecter l'avantage relatif de certaines espèces de bétail. Il s'agit notamment de l'extension des terres cultivées au détriment des pâturages et de ses conséquences sur la végétation et l'utilisation des sols, du réchauffement climatique et de la déforestation et de la chasse et leurs effets sur la propagation de maladies animales (Anderson 2004). La répartition et la productivité des troupeaux sont directement influencées par les modifications de la répartition des terres et des vecteurs de transmission de maladies (Tano et al. 2003, voir encadrés 6.2, 6.3 et 6.4). L'aire d'existence de la mouche tsé-tsé, où les bovins sont confrontés aux trypanosomiasés, s'est déplacée vers le sud en raison de la pression démographique et de la transformation de la savane en terres cultivées. Par conséquent, la mouche tsé-tsé a disparu de plusieurs centaines de milliers de kilomètres carrés en Afrique subhumide. Cela a pour conséquence de bouleverser la valeur relative du bétail résistant aux trypanosomiasés par rapport à celui qui ne l'est pas. Il est prévu que la



### Encadré 6.6 Remplacement des bovins par des chameaux pour le maintien de la fertilité des sols au Nord-Ouest du Nigeria

Dans le Nord du Nigeria, une interaction agriculture-élevage a prévalu, fondée sur des relations d'échange entre des groupes de producteurs distincts (McIntire et al. 1992). La mobilité des troupeaux des éleveurs nomades est une composante à part entière de ce système, et les déplacements vers certains sites particuliers sont réguliers. Les principaux éléments déterminant le choix des sentiers de transhumance par les éleveurs sont les droits d'accès à l'eau et aux pâturages et le coût de l'accès aux résidus des cultures. Cette forme d'interaction entre agriculture et élevage est remplacée par un système plus intégré où la production agricole et l'élevage sont présents dans une même ferme.

La pression démographique croissante est un des facteurs de ce changement. Les troupeaux sont de plus en plus souvent maintenus en enclos plutôt que laissés en liberté dans les pâturages. Pour leur alimentation, les élevages dépendent de plus en plus du fourrage récolté et des résidus des cultures. L'activité est orientée vers la production de fumier et de lait, ainsi que l'utilisation des animaux comme bêtes de somme (Mortimore and Adams 1998). Les résidus de récolte deviennent une marchandise à part entière pour les éleveurs et les agriculteurs.

Les arrangements institutionnels ont évolué au cours des années pour garantir la circulation des troupeaux et contribuer à résoudre les conflits entre agriculteurs et éleveurs. Les fermiers et les éleveurs ont l'habitude d'échanger les résidus des cultures contre du fumier, qui sont les produits disponibles en abondance pour les deux catégories. Les agriculteurs ont besoin des résidus de récolte pour nourrir leur propre cheptel, mais ils ont également un besoin crucial de fertilisants pour alimenter les sols en nutriments. Ils sont de plus en plus confrontés au départ vers le sud des éleveurs nomades de bovins en raison de la raréfaction de la végétation et de l'eau à la saison sèche.

En conséquence, les champs sont fertilisés par des dromadaires des Touaregs (*Camelus dromedarius*) en remplacement de l'épandage traditionnel des champs par les troupeaux de bovins appartenant aux Peuls de la région. Récemment, les dromadaires des éleveurs semi-nomades touaregs ont repris le rôle des bovins des Peuls dans la fertilisation des champs par du fumier. Les villages du district de Dundaye ont vu arriver le premier troupeau de dromadaires il y a 25 ans. Les premiers fermiers ont commencé à conclure des accords avec les éleveurs de dromadaires en 1985. D'autres les ont imités en 1992. Parmi les 14 fermiers qui ont conclu des accords en 1995, 8 l'avaient déjà fait l'année précédente. La transhumance des troupeaux de dromadaires du Niger vers le nord du Nigeria débute en décembre et janvier, et le trajet en sens inverse vers la République du Niger se fait au début de la saison humide (mai et juin). Le mouvement de migration saisonnière des troupeaux de dromadaires a une influence importante sur les populations de dromadaires du nord du Nigeria, en particulier à la saison sèche. Les populations de camélidés des éleveurs nomades et des villageois des états du Sokoto, du Kebbi et du Zamfara sont estimées respectivement à 6 800 et 36 500 têtes (FDLPCS 1992a, 1992b). L'abattage de dromadaires et leur utilisation comme animaux de trait et de bât a augmenté lors des dernières décennies (Mohammed 2000).

Lors de la durée des accords de fertilisation des sols, les éleveurs enferment leurs troupeaux sur les champs pendant les nuits de la fin de la saison sèche. Il ne reste alors plus de résidus de culture et la végétation alentour se raréfie. Les animaux ne paissent dans la campagne environnante que pendant la journée. Ainsi, le parage des animaux à la fin de la saison sèche a pour résultat un apport net de nutriments de la campagne vers les sols cultivés. Cette contribution à l'alimentation des champs en nutriment est généralement rémunérée par les fermiers. À l'approche de la prochaine campagne agricole, les pertes d'azote par volatilisation d'ammoniac deviennent négligeables par rapport au gain dû au fumier résultant de la consommation des résidus de récolte (Hoffmann et al. 2001). Les nutriments contenus dans le fumier de dromadaire n'est pas différent de ceux apportés par le fumier de bovins ou de petits ruminants.

Le passage du bétail aux chameaux comme source de production de fumier animal a permis l'utilisation de brouts comme strates d'alimentation fournissant toujours des quantités suffisantes de fourrage.

Le dromadaire est moins dépendant des herbes et des graminées. Il préfère les espèces ligneuses, abondantes dans la région. Le parage de nuit des dromadaires à la fin de la saison sèche présente trois avantages. D'abord, les résidus de récolte sont laissés à la disposition des fermiers pour leur propre bétail. Ensuite, l'enrichissement des sols en nutriments par le fumier est d'autant plus efficace qu'il survient juste avant le début de la saison humide. Enfin, compte tenu du temps passé à brouter dans la campagne, les déjections des dromadaires contiennent moins de graines de plantes herbacées que les bouses des bovins et des petits ruminants.

Source: Hoffmann and Mohammed (2004).

pression démographique et l'impact de l'activité humaine sur l'environnement auront pour conséquence le retrait de la mouche tsé-tsé ainsi qu'une réduction du réservoir de biodiversité sauvage.

Comme les zébus sont généralement plus grands, les paysans préfèrent les élever dans des environnements où ne sévit pas la mouche tsé-tsé. La connaissance des indigènes au sujet de cet insecte les conduit à adapter la répartition des troupeaux. Les bêtes résistantes aux trypanosomiasés et celles qui ne le sont pas sont ainsi finement réparties en fonction de la présence du vecteur du parasite.

Jabbar et Diedhiou (2003) ont remarqué que les paysans préféraient les grands zébus Peuls blancs non résistants au parasite aux plus petits Muturu et Keteku, même si ces derniers sont plus résistants aux trypanosomiasés et s'adaptent mieux aux différents types de pâturages. Rege et

### Encadré 6.7 Expériences de grand noyau ouvert de moutons reproducteurs génétiquement améliorés dans les hauts plateaux péruviens

Cet encadré repasse en revue les expériences de développement et la mise en place d'un programme d'introduction de petits troupeaux de moutons en vue d'améliorer les conditions de vie des communautés de paysans Andins. Les populations ciblées sont situées dans la Sierra Centrale, une zone isolée de hautes montagnes. Situés à l'Est de Lima, cette région est soumise à un climat subhumide froid. Dans ces conditions, les animaux élevés sont, par ordre décroissant d'importance, les moutons, les alpagas et les bovins. Les paysans y pratiquent un élevage nomade extensif regroupés en familles, communautés ou groupes de communautés. En règle générale, le troupeau familial compte de 30 à 400 moutons. Ils sont gardés à proximité de la maison du propriétaire pour assurer les besoins de base de la famille. Les troupeaux communautaires sont d'environ 4 000 têtes regroupées sur un terrain public proche de l'implantation de la communauté. Les revenus de la laine et de la viande générés par ces troupeaux sont redistribués aux différents membres (environ 1 000 familles).

Les troupeaux d'un groupe de communautés (6 à 10 clans) proviennent de l'expropriation des anciens propriétaires privés et des compagnies minières. Ces troupeaux peuvent compter jusqu'à 100 000 moutons répartis sur plusieurs sites, mais restent gérés par un seul contrat d'élevage. Les différents systèmes de production génèrent des différences dans les infrastructures d'élevage, l'organisation des moyens et la mise en œuvre de technologies. Ceci a pour conséquence de créer des écarts de productivité entre les systèmes.

La plupart des moutons élevés le sont à la fois pour la laine et la viande, qu'il s'agisse de troupeaux de moutons Corriedale ou de races indigènes plus ou moins améliorées. Le poids de ces animaux est comparable à celui des bêtes issues des élevages commerciaux des régions plus accueillantes d'Amérique du Sud. Toutefois, leur toison est moins importante, de moins bonne qualité et manque d'uniformité.

Les éleveurs sont à la recherche de bêtes de qualité, notamment en vue de répondre à une demande accrue en laine de bonne qualité sur le marché. Les béliers peuvent provenir aussi bien de leur propre cheptel que d'échanges ou d'acquisitions auprès des producteurs de béliers ou de n'importe quelle provenance. Il n'y a donc aucune structure générique impliquant l'ensemble de la population de moutons Corriedale. De plus, il n'y a pas de suivi de performance ou de pédigrée ; tous les choix sont basés sur le simple examen visuel des animaux, y compris dans les troupeaux multicommunautaires où aucun programme de reproduction n'est mis en place.

Dans la Sierra Centrale, il n'y a pas de service public ou privé de soutien à l'agriculture. Les activités de recherche sur les animaux et de développement de l'élevage ont été entravées par le terrorisme et les problèmes marketing et économiques.

Un effort commun du Pérou et de l'Argentine en vue de mettre en place une politique de reproduction des moutons en Sierra centrale a été lancé en 1996. Cela a démarré par une analyse des méthodes traditionnelles de reproduction.

Au bout d'environ deux ans de discussion, sept communautés et une société multicommunautaire ont accepté d'intégrer un programme de développement de la reproduction visant à améliorer la qualité de la laine produite. Le programme est également prévu pour permettre un usage efficace des différentes technologies de reproduction disponibles.

En matière de stratégie de sélection, il a été décidé de générer une structure de production collective pour améliorer la production de béliers et assurer leur fourniture pour toute la population Corriedale de la région. Si ce cheptel est moins efficace, il présente néanmoins des possibilités de croissance et de durabilité. Chaque village participant établit un troupeau de reproducteur (certains en avaient déjà un) et fournit les meilleures brebis à un noyau central. La société multicommunautaire participe comme membre supplémentaire en fournissant ses meilleures brebis. Une conception optimale d'un noyau ouvert nécessite une concentration des meilleures brebis. Celles qui sont âgées sont abattues et remplacées par de nouvelles bêtes sélectionnées dans les cheptels participants au prorata de leur importance (Mueller 1984).

Toutefois, l'absence de suivi des performances et des liens de parenté des animaux empêche de faire une sélection précise des individus. En outre, chaque éleveur participant souhaite avoir un accès égal aux béliers. Par conséquent, chaque troupeau apporte une contribution initiale égale en brebis. Cette pratique n'est évidemment pas efficace, mais elle est acceptée et assure l'harmonie du groupe.

Prenant en considération les béliers nécessaires, le taux de reproduction effectif, les ratios d'accouplement, la structure des âges et la tolérance de consanguinité la taille minimale du noyau central est fixée à 250 brebis et 6 béliers et la taille minimale du troupeau reproducteur à 200 brebis et 4 béliers. Au départ, du sperme congelé de trois béliers argentins a été donné par l'association argentine des éleveurs de Corriedales. Trois béliers supplémentaires offerts par la société multicommunautaire ont également été utilisés.

Les béliers indigènes ont une bonne réputation, et les béliers étrangers ont d'excellentes performances dans d'autres secteurs. Les performances (poids au sevrage, poids antenais et le poids de la laine) et le pedigree sont répertoriés pour le noyau central. Les meilleurs géniteurs étaient utilisés de manière intensive. Un suivi des performances a été mis en place pour les reproducteurs. Il était prévu que les problèmes opérationnels limiteraient la hausse de l'afflux de nouveaux gènes.

Finalement, en Juin 1997, 432 brebis ont été synchronisées et inséminées artificiellement dans le noyau central, la moitié par laparoscopie avec le sperme congelé importé et l'autre moitié avec le sperme frais des béliers indigènes. Les tests sur la descendance des agneaux ont montré que les béliers étrangers donnaient de meilleurs résultats que les reproducteurs locaux en termes de poids et de qualité de la toison. Mais leurs résultats étaient moins bons concernant le poids des animaux.

Chaque année la moitié des brebis avec leurs agneaux retournent dans leurs villages, jetant ainsi les bases de troupeaux multiplicateurs. En 2001, le nombre de participants est passé à 15, et celui des brebis du noyau à 300 brebis. La plupart des troupeaux multiplicateurs ont atteint la taille désirée. Dans le noyau, les béliers antenais sont testés et classés visuellement. Ils sont utilisés pour féconder le noyau et les brebis reproductrices. La population ovine impliquée dans le programme est proche de 160.000 têtes.

Les participants ont judicieusement souligné la nécessité d'un appui technique. Plusieurs options en termes d'expériences et de ressources à prévoir ont été étudiées. Au final, les dirigeants communautaires ont accepté de céder une terre à l'université pour la mise en place du Centre de recherche et de formation des paysans (CICCA), qui abrite le noyau central ainsi qu'une ferme de démonstration. CICCA a donné des cours sur la sélection sur critères visuels, les procédures de contrôle de la reproduction et de la santé, le classement des types de laine et l'insémination artificielle. Les fermiers ont jugé que le CICCA était un succès et ont prolongé l'accord pour cinq années supplémentaires. Il s'agit peut-être de la décision la plus importante pour l'avenir du programme.

La principale retombée positive du programme est d'ordre social. La coopération et l'interaction entre les participants ont favorisé les discussions sur les aspects techniques et opérationnels du programme d'élevage et sur d'autres questions concernant les villages (marketing, réglementation et sécurité). La mise en place du CICCA a été importante pour la formation, la mise en confiance et l'implication des fermiers. L'établissement a également attiré l'attention des secteurs public et privé, ainsi que des offres de coopération et de soutien nationales et internationales. Il y a eu plus de difficultés opérationnelles que prévu, notamment parce que de nombreuses compétences en élevage n'étaient pas suffisantes. La pertinence de la sélection n'a augmenté pas au rythme souhaité, parce que de nombreuses difficultés dans l'enregistrement des performances persistent.

*Source:* Mueller et al. (2002).

al. (1994) on décrit le rôle social et culturel particulier du Muturu dans le sud du Nigéria.

L'avantage des espèces trypanotolérantes est en régression dans les régions où elles sont moins confrontées au parasite. Par conséquent, les races Muturu et Keteku ont disparu des zones de savane du sud-ouest du Nigéria et sont confinées dans les régions boisées. Cependant, la résistance croissante de la trypanosomiase aux médicaments antiparasites peut être une motivation pour continuer à élever des races trypanotolérantes (Jabar and Diedhiou 2003, Tano et al. 2003, voir encadré 6.2).

La combinaison de la raréfaction des précipitations dans les zones semi-arides de l'Afrique subsaharienne et la dégradation des pâturages à cause de la surpopulation animale et de l'agriculture, a pour effet une réduction significative des zones propres à l'élevage des ruminants et des bovins en particulier. Dans la zone subhumide, de nouvelles savanes sont créées à cause de la déforestation. Dans les régions où les pâturages se dégradent, les éleveurs sélectionnent des races adaptées, en raison de leurs besoins moins importants en nourriture ou de leur comportement alimentaire différent (voir encadrés 6.3 et 6.6).

La proportion des petits ruminants, en particulier des chèvres, dans les troupeaux a augmenté à la suite des périodes de sécheresse dans le Sahel dans les années 1970 et 1980. Il est également à noter que le nombre de dromadaires est également en augmentation. En effet, la capacité à supporter le manque d'eau et la rareté de la nourriture est la plus élevée chez les dromadaires, suivis des chèvres. Viennent ensuite seulement les ovins et les bovins. Les éleveurs choisissent donc les espèces les mieux adaptées à un environnement donné. Cette pratique a conduit par exemple à l'adoption du Sokoto Gudali en Afrique de l'Ouest et de la race bovine Nguni en Afrique du Sud (Blench 1999; Bester et al. 200, voir encadré 6.7).

Cette migration généralisée des bovins vers le sud du Sahel a également pour effet de déplacer la «ligne de traction animale», au sud et au nord de laquelle l'utilisation de la puissance animale pour la préparation des sols n'est pas possible (Blench 1999, voir encadré 6.6). Dans l'est et le sud de l'Afrique, qui connaissent une sécheresse depuis 1980, les fermiers ont dû remplacer les bovins par des ânes plus résistants au manque d'eau comme bêtes de somme.

Concernant les changements climatiques, les mesures compensatoires varient selon le type et l'importance du changement. Au départ, les éleveurs peuvent s'adapter au changement climatique en modifiant leurs méthodes de gestion dans les élevages contrôlés (rafraîchissement de l'environnement, changements des régimes alimentaires). Dans les élevages extensifs, les troupeaux peuvent également être déplacés vers des milieux plus hospitaliers, notamment des pâturages en altitude. La possibilité d'introduire des espèces supportant mieux la chaleur a comme inconvénient le fait que celles-ci soient potentiellement moins productives.

Si le maintien de races productives s'avère délicat, le remplacement par des espèces plus résistantes reste une possibilité, comme le démontre l'exemple sahélien. En règle générale, les systèmes de production de bétail intensifs ont plus de potentiel pour s'adapter en optant pour des moyens technologiques. Ces moyens sont beaucoup moins adaptés aux systèmes

d'élevage extensifs, pour lesquels le remplacement des espèces est une meilleure option (Anderson 2004).

## Changements économiques et sociaux

Le développement économique et social influe sur l'utilisation et le maintien des ressources génétiques animales. Quelques ressources génétiques animales parmi les plus précieuses et intéressantes (comme certains traits liés à l'endurance ou au comportement) sont conservées dans les communautés traditionnelles, notamment par les éleveurs nomades qui vivent dans des environnements difficiles. Les jeunes membres de ces groupes ethniques ne sont pas intéressés par le métier de l'élevage et préfèrent partir chercher un emploi en ville, perdant ainsi les savoirs locaux (Köhler-Rollefson 2003).

Les possibilités croissantes de trouver du travail hors de la ferme dans certains pays en développement ont plusieurs conséquences qui peuvent accélérer la perte des races indigènes traditionnelles. Celles-ci étaient utilisées principalement pour assurer la subsistance du groupe ou pour constituer un stock de valeur. Mais, les biens achetés aux marchés ont tendance à se substituer aux produits issus de l'élevage familial. Les familles de paysans ont moins de temps à consacrer aux animaux, alors que l'économie monétaire et le système bancaire offrent des alternatives pour conserver les valeurs (Tisdell 2003). En outre, la disponibilité des moyens de transport moderne et de l'électricité réduit la demande en traction animale. Ainsi, le développement de l'économie de marché et les changements qui en résultent peuvent avoir des conséquences graves sur la survie des races indigènes. Même si, dans l'ensemble, les bouleversements résultant de cette transition sont facilement identifiables, il est difficile de connaître leur impact réel sur la diversité des espèces de bétail. Alors que les changements de politiques agricoles affectent directement les ressources génétiques animales, les gains et les pertes découlant de ces décisions n'ont pas été chiffrés. De plus, l'environnement où ont été mises en place ces politiques et stratégies pour favoriser la conservation et la pratique appropriée de l'élevage n'a pas été définie.

Il pourrait y avoir un conflit d'intérêts entre la volonté d'assurer la sécurité alimentaire et la conservation de la biodiversité agricole. En raison de la forte intégration verticale et l'efficacité économique de la volaille commerciale et de la production porcine, le développement de ces types d'élevage pour répondre aux besoins du marché est un moyen plus simple

pour un pays d'atteindre l'autosuffisance alimentaire. Cela est d'autant plus facile qu'il est aisé de contrôler les environnements de production normalisés des volailles et des porcs. Les problématiques liées à l'environnement peuvent également générer des changements structurels. Il est prévu que l'élevage de volaille en Malaisie se déplace des zones occupées actuellement vers d'autres plus éloignées en raison de l'urbanisation rapide et des besoins accrus de terre pour l'exploitation à grande échelle. Les poulaillers, et plus généralement les fermes d'élevage de volailles, vont devoir mieux respecter l'environnement. La production de volailles devra se conformer aux normes sanitaires et phytosanitaires. La récente recrudescence de maladies infectieuses telle que la grippe aviaire peut aussi avoir des conséquences politiques et structurelles. Une première option serait de privilégier les systèmes de production dans lesquels des mesures de bio-sécurité peuvent être facilement mises en place. Une autre option serait de reconnaître les réservoirs de la maladie existante dans les élevages de poulets de basse-cour, composés essentiellement de races indigènes, tout en encourageant leur vaccination et un meilleur suivi vétérinaire. Cependant, il semble que les pays exportateurs comme la Thaïlande ont mis l'accent sur la production à grande échelle, l'uniformisation génétique et la sécurité sanitaire. Le développement des marchés et la mondialisation économique, y compris le commerce mondial de races exotiques, ont manifestement contribué à la disparition des races indigènes par des croisements non contrôlés (Tisdell 2003; FAO 2001; voir également chapitre 17). Malgré la plus haute teneur en graisse du lait de zébu et des vaches criollo latino-américaines par rapport à leurs congénères européennes, elles continuent d'être croisées avec des races étrangères, ce qui a engendré une menace pour certaines races Criollo.

Dans les pays en développement, l'arrivée de races exotiques ont des effets à la fois sur l'activité économique et sociale et sur la diversité génétique. L'importation de races étrangères, dans un environnement propice à leur élevage, est économiquement avantageuse pour l'importateur, par exemple dans le cas de l'achat d'une ligne de production de volailles en batterie. Par ailleurs, il ya beaucoup d'exemples où l'amélioration des races indigènes et les programmes de croisements dans les pays en développement ont échoué (Opération Coque en Afrique de l'Ouest). Ces échecs sont notamment dus au fait que les animaux n'ont pas survécu ou n'ont pas été productifs dans ces environnements difficiles où sévissent des maladies, ce qui a engendré des pertes économiques pour les petits producteurs. La plupart des introductions d'espèces exotiques dans les systèmes de d'élevage pastoraux ont échoué. En conséquence, la perte de ressources génétiques



animales indigènes est faible. Les ressources génétiques animales indigènes sont davantage menacées par la concurrence des modes d'élevage intensifs, devenus courants. Cette menace est également présente lorsqu'il existe des marchés distincts pour le bétail indigène et le bétail des élevages commerciaux. Dans ce cas, ce sont les revenus des éleveurs alimentant le marché en races moins productives qui sont menacés. S'ils continuent à produire, il est possible qu'il ne soit plus économiquement viables de maintenir des races indigènes.

## Conclusion

Les programmes d'amélioration génétiques dans les pays en développement ont échoué principalement en raison de stratégies inappropriées et d'un manque d'infrastructure. La plupart des efforts d'amélioration génétique des cheptels ont été de portée limitée. Faut de informations essentielles sur les ressources génétiques, la plupart des programmes d'amélioration de l'élevage ont été à ce jour incapables de définir les ressources génétiques stratégiques. Ceci a conduit à une utilisation inefficace des modestes moyens disponibles. L'accès aux ressources génétiques améliorées a été limité pour les agriculteurs pauvres. Toutefois, les traits génétiques des races indigènes ont fourni un ensemble de solutions durables en termes de résilience aux maladies, de capacités de survie et de rendement. Ces caractéristiques ont souvent été ignorées dans le but de trouver des solutions technologiques et organisationnelles aux problèmes particuliers de production animale dans des systèmes à faibles intrants. Dans les environnements marginaux plus qu'ailleurs, le coût de l'ajustement de l'environnement de production pour obtenir des conditions requises par les races à rendement élevé, peut excéder celui de l'amélioration des races indigènes mieux adaptées (Wagner and Hammond 1999).

Il est nécessaire d'élaborer des programmes pour les systèmes d'élevage à faibles intrants. Il existe dans tous les systèmes d'élevage une base de connaissances disponible pour démarrer les programmes d'amélioration génétique. Bien que les possibilités d'améliorer les ressources génétiques animales dans les systèmes à faibles intrants existent, les investissements nécessaires sont considérables. Des progrès dans ce sens ont été accomplis récemment avec des programmes dans lesquels les éleveurs échangent des animaux avec des troupeaux améliorés comme en Ouganda. Ces programmes utilisent des bêtes génétiquement proches de celles des éleveurs et vivant dans des conditions similaires.

### Encadré 6.8 Etude de cas sur les races bovines ngunis en Afrique du Sud

Des nomades de l'Âge de Fer ont été les premiers à introduire la race nguni en Afrique du Sud vers l'an 600. Ces animaux rustiques convenaient parfaitement au système d'agriculture communautaire des colons. Aussi loin qu'il soit possible de remonter, cette race ne semble pas avoir été modifiée avant le millénaire suivant. L'avènement de la colonisation européenne au milieu du 19<sup>e</sup> siècle et l'acceptation subséquente de l'agriculteur européen comme modèle, a conduit à l'importation de races exotiques qui ont finalement dilué et dépeuplé le réservoir génétique du bétail mieux adapté. Ce bouleversement a été accentué par d'autres facteurs tels que les changements politiques, l'urbanisation, l'érosion des croyances et pratiques locales et les catastrophes naturelles.

La perception des races indigènes comme inférieures a conduit à la promulgation d'une loi en 1934 les considérant comme quelconques et indignes d'intérêt. Des inspecteurs ont été chargés de contrôler les taureaux dans les zones communautaires et de castrer ceux qui étaient considérés comme inférieurs. Heureusement, cette loi n'a été appliquée que pendant quelques années après sa promulgation, parce qu'elle était impopulaire chez les propriétaires de bêtes. Une structure a été mise en place pour permettre l'entrée des bovins nguni sur le marché, et un suivi à grande échelle a permis l'amélioration de la race.

Alors que l'espèce était améliorée par le secteur commercial, elle était dégradée dans les zones rurales par son croisement et son remplacement par des races exotiques. Ceci à cause de l'idée répandue que la race nguni était inférieure aux plus gros animaux importés, malgré le fait qu'elle soit plus rustique et mieux adaptée aux systèmes agricoles communautaires à faibles intrants. La rusticité de la race lui a heureusement permis de survivre, et des animaux de pure race peuvent encore être trouvés en nombre limité dans les communautés rurales.

La découverte récente que cette race rustique était particulièrement bien adaptée à l'environnement sud-africain a conduit à son évaluation et développement pour le secteur commercial. En 1985, un comité a été désigné pour déterminer l'opportunité de réunir une banque de matériel génétique *in vitro* pour les troupeaux indigènes, ainsi que le contrôle de l'importation de sperme de races exotiques.

En tant que brouteur sélectif, le nguni est capable de s'alimenter de façon optimale, à partir de la végétation naturelle disponible. Il est donc plus apte à survivre dans des conditions que ne supporteraient pas les brouteurs généralistes comme les bovins européens. Le nguni est d'un tempérament docile ; son adaptation est également visible à travers d'autres caractéristiques qui lui permettent notamment de parcourir de grandes distances à la recherche d'eau et de nourriture. Il est également signalé que ces bêtes supportent des températures extrêmes et ont une meilleure capacité à maintenir leur condition physique en hiver, comparés aux races Simmental. La race nguni est désormais considérée comme une source de matériel génétique bien adapté au style de gestion et aux besoins de l'agriculture noire en animaux rustiques à haut rendement pour son développement. L'étude initiale des ngunis a montré son potentiel comme race à viande à la fois pour les systèmes agricoles extensifs et intensifs.

*Encadré 6.8, suite à la page suivante*

*Encadré 6.8, suite*

Les performances du nguni en termes de poids et de reproduction, comparées aux autres races, ont révélé qu'il était le bovin le plus fertile d'Afrique du Sud. En outre sa tolérance à la chaleur, aux tiques et aux maladies en font une race convenant parfaitement aux systèmes d'élevage extensifs.

Dans le passé, les projets d'introduction de races bovines exotiques dans le secteur communautaire ont toujours échoué en raison de l'introduction de technologies complexes qui augmentaient la production, au-delà de la limite supportable par l'environnement. Les projets en cours visent à favoriser la réintroduction de la race rustique nguni dans le secteur communautaire, afin d'endiguer l'influence des races exotiques moins bien adaptées.

*Source:* Bester et al. (2002).

La conservation et l'utilisation des ressources génétiques animales in-situ sont extrêmement tributaires d'un environnement politique favorable. Les systèmes d'élevage performants soutiendront la gestion des ressources génétiques animales uniquement si une attention égale est accordée aux aspects génétiques et au contexte économique et social. Par conséquent, il faut prendre en considération de nombreux aspects comme le mode d'organisation des programmes de reproduction, les exigences institutionnelles, les facteurs socio-économiques et l'identité culturelle des populations pratiquant l'élevage. La séparation institutionnelle entre paysans et fermes de reproduction animale aura également pour effet de mieux comprendre le fossé qui les sépare. Le concept stratégique d'une gestion communautaire basée sur la gestion des ressources animales est un mode de conservation in-situ garantissant le maintien des races indigènes dans le système de production local. Cette approche devrait être durable et efficace si les races indigènes demeurent ou deviennent économiquement attractives pour leurs éleveurs (Rege 1999) ; elle devrait également générer une amélioration génétique de ces espèces.

Dans les systèmes de production à faibles intrants, l'élevage restera sous la responsabilité du secteur public et pourra être soutenu par les coopératives de producteurs ou les programmes communautaires d'élevage (voir encadrés 6.2, 6.3, 6.7 et 6.8).

Toutefois, compte tenu d'une part des choix, du dynamisme et de l'adaptation inhérente aux savoirs et systèmes de production autochtones d'un

côté et de la disponibilité limitée de ressources du secteur public pour la conservation des races de l'autre côté, une certaine perte de races indigènes est inévitable. Le plus important, pour le développement des ressources génétiques animales, est le maintien ou la création d'un environnement dans lequel les éleveurs peuvent prendre des décisions de reproduction, en étant sensibilisés aux particularités de leur système de production agricole. Il doit être bien établi qu'il ne peut y avoir de biodiversité agricole sans des agriculteurs actifs. Les races indigènes auront plus de chance de survie si les produits qui en sont issus sont consommés. Les marchés de niches et les produits de terroir peuvent alors jouer un rôle important.

Les politiques nationales pour le développement du secteur de l'élevage doivent prendre en compte les ressources génétiques animales nécessaires pour atteindre leurs objectifs. Donc, les gouvernements ont besoin de faire des compromis et de fixer une ligne de conduite face à un certain nombre de dilemmes : investissement public ou investissement privé, agriculture à petite échelle ou à grande échelle, création d'emplois ou exploitations individuelles, biodiversité ou autosuffisance alimentaire, et sécurité alimentaire ou diversité alimentaire,

Les politiques nationales et internationales doivent définir des objectifs et prendre des décisions concernant la conservation des races, la diversité culturelle et la diversité génétique. Ces décisions auront des implications sur les méthodes de reproduction et de conservation, ainsi que sur le financement nécessaire. Elles auront également une implication sur les besoins en termes de technologies et de recherches requises pour la définition et l'évaluation des caractères génétiques. Les partenariats mixtes publics-privés sont nécessaires pour atteindre la majorité des objectifs. Dans l'ensemble, il existe un besoin urgent de sensibilisation à la valeur des ressources génétiques animales pour l'agriculture et l'alimentation.

## Glossaire du chapitre

**RACE:** Une subdivision d'un groupe d'animaux d'élevage ayant des caractéristiques physiques externes identifiables et définissables permettant de les séparer visuellement d'autres groupes similaires de la même espèce ou dont la séparation géographique et culturelle a conduit à l'acceptation d'une identité spécifique.

*Note :* Les races ont été développées en fonction de différences géographiques et culturelles pour répondre aux besoins agricoles et alimentaires humains. En ce sens, le mot race n'est pas un terme tech-

nique. Les différences, visuelles ou autres, entre les races constituent une grande partie de la diversité associée à chaque espèce d'animaux domestiques. La race est souvent reconnue comme une entité culturelle plutôt qu'un terme technique. Les races indigènes adaptées sont présentes dans le pays depuis suffisamment longtemps pour s'y être génétiquement adaptées à un ou plusieurs systèmes de production traditionnels ou environnements. Les races locales (également appelées indigènes ou autochtones) originaires, adaptées et employées dans une région donnée constituent un sous-ensemble de races localement adaptées (FAO 2001). Les races exotiques sont élevées dans un milieu autre que celui dans lequel elles ont été développées et incluent des races non adaptées aux conditions locales. Les races exotiques comprennent à la fois races introduites récemment, importées momentanément lors des cinq dernières générations, et les races importées en continu, dont le réservoir génétique est constamment alimenté par une ou plusieurs sources étrangères. De nombreuses races exploitées dans des systèmes de production intensifs ou commercialisées par des compagnies transnationales d'élevage appartiennent à cette dernière catégorie.

**RACE EN DANGER** : Toute race qui pourrait s'éteindre si les facteurs causant son déclin en nombre ne sont pas éliminés ou régulés. Les races peuvent se retrouver en danger d'extinction pour plusieurs raisons. Le risque peut être dû à une population trop faible, à des effets directs ou indirects des pratiques au niveau individuel, national ou international, à l'absence d'une organisation de la race, au manque d'adaptation à la demande du marché ou à une perception de race à faibles performances. Le risque d'extinction d'une race est déterminé à partir du nombre d'animaux reproducteurs et de la proportion de femelles de pure race.

**RACE ÉTEINTE** : Une race qui ne peut plus être recréée. Cette situation devient définitive lorsqu'il ne reste plus de mâles ou de femelle pouvant se reproduire. Dans la réalité, l'extinction peut être constatée bien avant la disparition du dernier animal ou matériel génétique (embryon ou gamète).

**RESSOURCES GÉNÉTIQUES D'ANIMAUX DE FERME (RGA)** : Espèces animales utilisées ou pouvant l'être pour la production alimentaire et agricole, ainsi que leurs populations respectives. Les populations de chaque espèce peuvent être classées en populations sauvages, population primaires locales, races standardisées, lignées sélectionnées, variétés, animaux de souche ou tout matériel génétique conservé étant catégorisé comme race. (FAO 2001).

**POPULATION** : Terme générique qui, utilisé avec un sens génétique, définit un groupe métissé et peut désigner tous les animaux d'une race. La composition génétique de la population est l'ensemble des matériels

génétiques des individus qui la composent et de la transmission de génération en génération d'échantillons de la variabilité génétique associée à cette population (FAO 2001).

## Referencias

- Anderson, S. 2004. *Environmental Effects on Animal Genetic Resources*. FAO Background Study Paper No. 28. Rome : FAO.
- Bayer, W., A. von Lossau, and A. Feldmann. 2003. Smallholders and community based management of farm animal genetic resources. In *Proceedings of the Workshop on Community Based Management of Animal Genetic Resources. A Tool for Rural Development and Food Security*, 1-12. Mbabane, Swaziland, May 7-11, 2001. Rome : FAO.
- Behnke, R. H. and N. Abel. 1996. Revisited: The overstocking controversy in semi-arid Africa. *World Animal Review* 12:5-27.
- Bester, J., L. E. Matjuda, J. M. Rust, and H. J. Fourie. 2002. The Nguni: A Case Study. Paper presented to the Symposium on Managing Biodiversity in Agricultural Ecosystems, Montreal, Canada, November 8-10, 2001.
- Blench, R. 1994. The expansion and adaptation of Fulbe pastoralism to subhumid and humid conditions in Nigeria. *Cahiers d'Études Africaines* 133-135:197-212.
- Blench, R. 1999. *Traditional Livestock Breeds: Geo graphical Distribution and Dynamics in Relation to the Ecology of West Africa*. ODI Working Paper 122. London : ODI.
- Blench, R. 2001. *Pastoralism in the New Millennium*. FAO Animal Production and Health Paper No. 150. Rome : FAO.
- Bruford, M. W., D. G. Bradley, and G. Luikart. 2003. DNA markers reveal the complexity of livestock domestication. *Nature Reviews Genetics* 4:900-10.
- Chagunda, M. G. G. and C. B. A. Wollny. 2002. Consequences of differences in pricing of economic values for milk yield of dairy cattle in Malawi. 7th World Congress on Genetics Applied to Livestock Production, August 19-23, 2002, Montpellier, France, Session 25: Developing Sustainable Breeding Strategies for Medium and Low- Input Systems. Communication 25-03.
- CIRDES/ILRI/ITC (Centre International de Recherche Développement sur l'Élevage en Zone Subhumide, International Livestock Research Institute, and International Trypanotolerance Centre), 2000. Collaborative research programme on trypanosomosis and trypanotolerant livestock in West Africa. In *Joint Report of Accomplishments and Results (1993-1999)*. Banjul, The Gambia : ITC.
- Coppock, D. L. 1994. *The Borana Plateau of Southern Ethiopia: Synthesis of Pastoral Research, Development and Change, 1980-1991*. Addis Ababa, Ethiopia : ILCA.

- Cousins, N. J. and M. Upton. 1988. Options for improvement of the Borana pastoral system. *Agricultural Systems* 27:251-278.
- “Egyptian chicken plan hatches... 50 years later.” 1997. *The Iowa Stater*, May, www.iastate.edu/IaStater/1997/may/chicken.html.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 1999. *The Global Strategy for the Management of Farm Animal Genetic Resources*. Executive Brief. Rome : FAO.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2001. Guidelines for the development of country reports. State of the World. Annex 2, Working Definitions for Use in Developing Country Reports and Providing Supporting Data, dad.fao.org/en/Home.htm.
- FDLPCS (Federal Department of Livestock and Pest Control Services). 1992a. Livestock in Sokoto State. *Nigerian Livestock Resources*. Vol. II: *National Synthesis*. Vol. III: *State Reports*. St. Helier, Jersey, UK : RIM.
- FDLPCS. (Federal Department of Livestock and Pest Control Services). 1992b. *Nigerian Livestock Resources*. Vol. I: *Executive Summary and Atlas*. St. Helier, Jersey, UK : RIM.
- Flock, D. K. and R. Preisinger. 2002. Breeding plans for poultry with emphasis on sustainability. 7th World Congress on Genetics Applied to Livestock Production, August 19-23, 2002, Montpellier, France, Session 24: Sustainable Breeding Plans in Developed Countries. Communication 24-02.
- Gondwe, T. N. P. and C. B. A. Wollny. 2002. Traditional breeding systems in small-holder rural poultry in Malawi. 7th World Congress on Genetics Applied to Livestock Production, August 19-23, 2002, Montpellier, France, Session 25: Developing Sustainable Breeding Strategies for Medium- and Low- Input Systems. Communication 25-26.
- Grell, H. and M. Kirk. 2000. The role of donors in influencing property rights over pastoral resources in Sub-Saharan Africa. In N. McCarthy, B. Swallow, M. Kirk, and P. Hazell, eds., *Property Rights, Risk, and Livestock Development in Africa*, 55-85. Washington, DC, and Nairobi, Kenya: IFPRI and ILRI.
- Hassan, W. A. 2000. *Biological Productivity of Sheep and Goats Under Agro-Silvo-Pastoral Systems in Zamfara Reserve in North-Western Nigeria*. Goettingen, Germany : Cuvillier.
- Haverkort, B. 1993. Agricultural development with a focus on local resources: ILEIA'S view on indigenous knowledge. In D. M. Warren, D. Brokensha, and L. J. Slikkerveer, eds., *Indigenous Knowledge Systems: The Cultural Dimensions of Development*. London: Kegan Paul International.
- Hillel, J., M. A. M. Groenen, M. Boichard, A. B. Korol, L. David, V. M. Kirzhner, T. Burke, A. B. Dirie, R. P. M. A. Croojimans, K. Elo, M. W. Feldman, P. J. Freidlin, A. Maki-Tanila, M. Oortwijn, P. Thomson, A. Vignal, K. Wimmers, and S. Weigend.

2003. Biodiversity of 52 chicken populations assessed by microsatellite typing of DNA pools. *Genetics Selection Evolution* 35:533–557.
- Hoffmann, I. 2003. Biodiversity management in West African pastoral and agro-pastoral systems. A case study from northwest Nigeria. In *Biodiversity and the Ecosystem Approach in Agriculture, Forestry and Fisheries*, 28–49. Satellite event on the occasion of the 9th regular session of the Commission on Genetic Resources for Food and Agriculture, FAO, Rome, October 12–13, 2002. Available at [www.fao.org/DOCREP/005/Y4586E/y4586e03.htm#Po\\_0](http://www.fao.org/DOCREP/005/Y4586E/y4586e03.htm#Po_0).
- Hoffmann, I., D. Gerling, U. B. Kyiogwom, and A. Mané- Bielfeldt. 2001. Farmers' management strategies to maintain soil fertility in a remote area in northwest Nigeria. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 86(3):263–275.
- Hoffmann, I. and I. Mohammed. 2004. The role of nomadic camels for manuring farmers' fields in the Sokoto Close Settled Zone, northwest Nigeria. *Nomadic Peoples* 8(1): 99–112.
- Homann, S., G. Dalle, and B. Rischkowsky. 2004. Potentials and constraints of indigenous knowledge for sustainable range and water development in pastoral land use systems of Africa: A case study in the Borana Lowlands of Southern Ethiopia. Eschborn, Germany: GTZ/Töb.
- Hossary, M. A. and S. Galal. 1995. Improvement and adaptation of the Fayoumi chicken. *Animal Genetic Resources Information* 14:33–42.
- Huelsebusch, C. G. and B. A. Kaufmann. 2002. *Camel Breeds and Breeding in Northern Kenya. An Account of Local Breeds of Northern Kenya and Camel Breeding Management of Turkana, Rendille, Gabra and Somali Pastoralists*. Nairobi: Kenya Agricultural Research Institute.
- Jabbar, M. A. and M. L. Diedhiou. 2003. Does breed matter to cattle farmers and buyers? Evidence from West Africa. *Ecological Economics* 45(3):461–472.
- Kamara, A. 2001. *Property Rights, Risk and Livestock Development in Southern Ethiopia*. PhD thesis, Wissenschaftsverlag Vauk, Kiel, Germany.
- Köhler- Rollefson, I. 2000. *Managing Animal Genetic Resources at the Community Level*. Eschborn, Germany: GTZ. Available at [www.gtz.de/agrobiodiv/download/koehl.pdf](http://www.gtz.de/agrobiodiv/download/koehl.pdf)
- Köhler- Rollefson, I. 2003. Community based management of animal genetic resources, with special reference to pastoralists. In *Proceedings of the Workshop on Community Based Management of Animal Genetic Resources. A Tool for Rural Development and Food Security*, 13–26. Mbabane, Swaziland, May 7–11, 2001. Rome: FAO.
- Kyiogwom, U. B., I. Mohammed, H. M. Bello, S. A. Maigandi, and C. Schaefer. 1994. The economic situation of the livestock farmer in Zamfara. In *Range Development in the Endangered Sudan Savanna in Sokoto State*, 63–70. Unpublished report, Giessen.



- Masinde, I. A. 2001. *Managing Biodiversity in Agricultural Ecosystems. Local Management of Agricultural Biodiversity by Communities in Kenya*. Montreal: United Nations University. Available at [www.unu.edu/env/plec/cbd/Montreal/papers/Masinde.pdf](http://www.unu.edu/env/plec/cbd/Montreal/papers/Masinde.pdf).
- McIntire, J., D. Bourzat, and P. Pingali. 1992. *Crop–Livestock Interaction in Sub-Saharan Africa*. Washington, dc: The World Bank.
- Mhlanga, F. N. 2002. *Community- Based Management of Animal Genetic Resources: A Participatory Approaches Framework*. Eschborn, Germany: GTZ. Available at [www.gtz.de/agrobiodiv/download/mhalanga.pdf](http://www.gtz.de/agrobiodiv/download/mhalanga.pdf).
- Mohammed, I. 2000. *Study of the Integration of the Dromedary in Small holder Crop–Livestock Production Systems in Northwestern Nigeria*. Goettingen, Germany: Cuvillier.
- Mortimore, M. and W. M. Adams. 1998. Farming intensification and its implications for pastoralism in northern Nigeria. In I. Hoffmann, ed., *Prospects of Pastoralism in West Africa*, Vol. 25, 262–273. Giessener Beiträge zur Entwicklungsforschung, Reihe I. Giessen, Germany: Wissenschaftl. Zentrum Tropeninstitut.
- Mueller, J. P. 1984. Single and two- stage selection on different indices in open-nucleus breeding systems. *Genetics Selection Evolution* 16:103–120.
- Mueller, J. P., E. R. Flores, and G. A. Gutierrez. 2002. Experiences with a large scale sheep genetic improvement project in the Peruvian highlands. 7th World Congress on Genetics Applied to Livestock Production, August 19–23, 2002, Montpellier, France, Session 25. Developing Sustainable Breeding Strategies in Medium- to Low- Input Systems. Communication 25–12.
- Nortier, C. L., J. F. Els, A. Kotze, and F. H. van der Bank. 2002. Genetic diversity of indigenous Sanga cattle in Namibia using microsatellite markers. 7th World Congress on Genetics Applied to Livestock Production, August 19–23, 2002, Montpellier, France. Session 26: Management of Genetic Diversity. Communication 26–07.
- Preisinger, R. 2004. *Internationale Tendenzen der Tierzüchtung und die Rolle der Zuchtunternehmen*. Presentation, Agrobiodiversität entwickeln: Handlungsstrategien und Impulse für eine nachhaltige Tier- und Pflanzenzucht, Umweltforum Berlin, February, 3–4, [www.agrobiodiversitaet.net/site/page/downloads/dateien/2](http://www.agrobiodiversitaet.net/site/page/downloads/dateien/2).
- Rajasekaran, B. 1993. A framework for incorporating indigenous knowledge systems into agricultural research, extension, and NGOs for sustainable agricultural Social Change Program, Iowa State University.
- Rege, J. E. O. 2003. Defining livestock breeds in the context of community based management of farm animal genetic resources. In Proceedings of the *Workshop on Community Based Management of Animal Genetic Resources. A Tool for Rural Development and Food Security*, 27–35. Mbabane, Swaziland, May 7–11, 2001. Rome: FAO.

- Rege, J. E. O. 1999. The state of African genetic resources. I. Classification framework and identification of threatened and extinct breeds. *Animal Genetic Resources Information* 25:1-25.
- Rege, J. E. O., G. S. Aboagye, and C. L. Tawah. 1994. Shorthorn cattle of West and Central Africa II. Ecological settings, utility, management and production systems. *World Animal Review* 78:14-21.
- Richards, P. 1985. *Indigenous Agricultural Revolution: Ecology and Food Production in West Africa*. London: Hutchinson.
- Röhrs, M. 1994. Entwicklung der Haustiere. In H. Kräusslich, ed., *Tierzuchtungslehre*, 4th ed., 37-55. Stuttgart, Germany: Ulmer.
- Schaefer, C. 1998. *Pastorale Wiederkäuerhaltung in der Sudansavanne: Eine Untersuchung im Zamfara Forstschutzgebiet im Nordwesten Nigerias*. Göttingen, Germany: Cuveillir.
- Scherf, B., ed. 2000. *World Watch List for Domestic Animal Diversity*, 3rd ed. Rome: FAO/UNDP.
- Sere, C., H. Steinfeld, and J. Groenewold. 1996. World livestock production systems. Current status, issues and trends. *FAO Animal Production and Health Papers* 127. Rome: FAO.
- Steglich, M. and K. J. Peters. 2002. Agro- pastoralists' trait preferences in N'dama cattle: Participatory methods to assess breeding objectives. 7th World Congress on Genetics Applied to Livestock Production, August 19-23, 2002, Montpellier, France, Session 25. Developing Sustainable Breeding Strategies in Medium- to Low- Input Systems. Communication 25-04.
- Steinfeld, H., C. De Haan, and H. Blackburn. 1997. *Livestock and the Environment: Issues and Options*. Brussels: European Commission/fao/World Bank.
- Tano, K., M. Kamuanga, M. D. Faminow, and B. Swallow. 2003. Using conjoint analysis to estimate farmers' preferences for cattle traits in West Africa. *Ecological Economics* 45(3):393-408.
- Tempelman, K. A. and R. A. Cardellino. In press. *Community- Based Management and Use of Animal Genetic Resources in Traditional Livestock Farming Systems*. Rome: FAO.
- Thebaud, B. and S. Batterbury. 2001. Sahel pastoralists: Opportunism, struggle, conflict and negotiation. A case study from eastern Niger. *Global Environmental Change* 11:69-78.
- Tisdell, C. 2003. Socioeconomic causes of loss of animal genetic diversity: Analysis and assessment: *Ecological Economics* 45(3):365-377.
- Vabi, M. B. 1993. *Fulani Settlement and Modes of Adjustment in the Northwest Province of Cameroon*. ODI Pastoral Development Network Paper 35d. London: ODI.
- Valuing Angr. 2003. *Ecological Economics* Special Issue 45(3).

- Wagner, H.- G. R. and K. Hammond. 1999. *The Management of Farm Animal Genetic Resources and FAO's Global Strategy*. Berlin: Deutscher Tropentag, Berlin, Humboldt University.
- Warren, D. M. 1991. *Using Indigenous Knowledge in Agricultural Development*. World Bank Discussion Paper No. 127. Washington, dc: The World Bank.
- Weigend, S. and M. N. Romanov. 2002. The World Watch List for Domestic Animal Diversity in the context of conservation and utilisation of poultry biodiversity. *World's Poultry Science Journal* 58(4):411-430.

## 7 La biodiversité aquatique dans les écosystèmes basés sur le riz

---

M. HALWART et D. BARTLEY

La riziculture, qu'elle soit irriguée ou pluviale, constitue un milieu favorable pour les poissons ainsi que pour d'autres organismes aquatiques (figure 7.1). Plus de 90% de la production mondiale de riz, couvrant environ 134 millions d'hectares (figure 7.2), est cultivée dans des milieux inondés, abritant ainsi un vaste éventail d'espèces aquatiques et offrant la possibilité de les améliorer et les cultiver. La production aquatique et la récolte du riz représentent une ressource cruciale pour les populations rurales des pays en voie de développement. La consommation locale et la commercialisation sont particulièrement importantes pour la sécurité alimentaire, étant donné que les ressources alimentaires aquatiques représentent la source de protéines animales et d'acides gras la plus disponible, la plus fiable et la moins onéreuse pour les agriculteurs ainsi que pour les paysans sans terre. Ce chapitre fait la synthèse des informations récentes et met en évidence le rôle important de la biodiversité aquatique des écosystèmes basés sur le riz dans le bien être des ruraux et des services écologiques. Ces informations ne sont pas toujours disponibles, mais elles sont cruciales pour la prise de décisions stratégiques.

### Problématique

La production, autre que le riz, obtenue à partir des écosystèmes à base de riz et son importance pour les populations rurales sont généralement sous-estimées et sous-évaluées (p. ex., FAO/MRC 2003 ; Halwart 2003) puisque la consommation locale et la commercialisation restreinte empêchent gé-



FIGURE 7.1. Les écosystèmes basés sur le riz représentent souvent un ensemble dynamique et soudé de rizières, d'étangs, de canaux d'irrigation et de rivières (Vietnam). (Photo : FAO/M. Halwart)

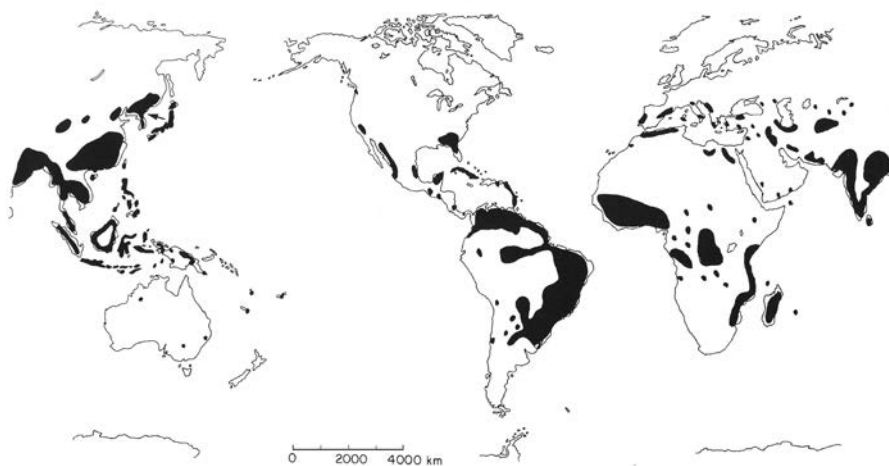


FIGURE 7.2. Le riz est cultivé dans environ 151 millions d'hectares dans les milieux irrigués (57%), en terres basses pluviales (31%), en eau profonde (4%) et en hautes terres (11%), (D'après Fernando 1993 et Fernando et Halwart 2001 ; IRRI World Rice Statistics et FAO 2001, [www.irri.org/science/ricestat/index.asp](http://www.irri.org/science/ricestat/index.asp))

néralement cette partie de la production de faire partie des statistiques officielles. En outre, la disponibilité de cette production est temporellement et spatialement variable, et la quantité des organismes collectés, capturés ou élevés est généralement faible. Le riz est généralement considéré comme une monoculture et le produit phare assurant la sécurité alimentaire locale et nationale. L'accent est ainsi mis sur le renforcement du rendement dans les stratégies nationales pour la production, ce qui entraîne souvent un apport accru en engrais et en pesticides. Très souvent, ces pratiques et ces stratégies négligent et menacent les autres composantes des écosystèmes à base de riz. Les responsables politiques doivent fonder leurs décisions sur des informations solides. Pourtant, les informations qui leur sont nécessaires en ce qui concerne la pêche dans les rizières et l'aquaculture basée sur le riz ne sont pas disponibles et la contribution de ces ressources dans la subsistance rurale n'est par conséquent pas reconnue. Les plans de développement ne s'intéressant qu'à l'augmentation du rendement de riz, pourraient combler les besoins des populations en riz, mais risquent aussi d'emporter une grande partie des animaux et plantes aquatiques vivants dans les champs et aux alentours. Sans une bonne compréhension et une observation attentive des autres composantes de l'écosystème des rizières, la diversité des animaux et des plantes aquatiques sera fortement réduite. Ce sont surtout les couches les plus pauvres de la société rurale qui souffriront des impacts négatifs de ce genre de développement.

### De la pêche à l'aquaculture: un continuum

Les systèmes riz-poisson peuvent être divisés en deux en fonction de la nature du poisson: systèmes de capture et systèmes de culture. On appelle ces systèmes « des systèmes basés sur le riz » ou « des systèmes riz-poisson » étant donné que l'économie agricole dont l'aquaculture fait partie est généralement dominée par la culture de riz. Dans le système de capture, les poissons sauvages accèdent aux rizières à partir des plans d'eau adjacents et se reproduisent dans les champs inondés. Dans le système de culture, les rizières peuvent produire du poisson simultanément ou en alternance avec le riz, elles sont appelées 'rizipiscicultures' simultanées ou à systèmes de rotation. Les rizières produisent des alevins ou du poisson comestible en fonction de la qualité des œufs de poissons disponibles pour le stockage, de la durée de la période de pisciculture et des besoins du marché en alevins et en poisson comestible (Halwart 1998 ; Demaine et Halwart 2001).

**Tableau 7.1a.** Nombre d'espèces aquatiques inventoriées dans les écosystèmes basés sur le riz et utilisées chez les ménages ruraux.

Groupe	Cambodge	Chine
Poissons	70	52
Crustacés	6	2
Mollusques	1	4
Amphibiens	2	4
Insectes	2	3
Reptiles	8	—
Plantes aquatiques	13	19

Sources: Balzer et al. (2005); Luo (2005).

Les écosystèmes des rizières sont riches en biodiversité aquatique largement exploitée par les populations indigènes. En ce qui concerne la diversité et l'importance, les poissons sont les plus importants pour la communauté indigène. Balzer et al. (2005) ont trouvé 70 espèces différentes de poissons au Cambodge, tandis que Luo (2005) en a trouvé 52 en Chine (tableau 7.1).

En plus des poissons, plus de 100 espèces de crustacés, de mollusques, d'amphibiens, d'insectes, de reptiles et de plantes aquatiques servent à des fins nutritives, médicinales, ornementales, etc. (Balzer et al 2005) (tableau 7.2).

Plusieurs espèces de poissons sont disponibles dans les rizières, et seulement quelques unes d'entre elles ont une importance commerciale. La carpe commune et le tilapia du Nil sont parmi les espèces les plus communes et les plus répandues. Elles constituent le premier maillon de la chaîne alimentaire, et sont par conséquent très appréciées dans les systèmes de culture. D'autres espèces sont populaires telles que « *Puntius gonionotus* » et « *Trichogaster* spp ». Plusieurs espèces respirant l'air comme le poisson à tête de serpent (*Channa striata*) et le poisson-chat (*Clarias* spp.) s'adaptent bien aux conditions marécageuses des rizières. Ces espèces de poissons sauvages sont très appréciées dans les systèmes de capture parce qu'elles rapportent un bon prix au marché, mais elles sont moins appréciées dans les systèmes de culture, vu qu'elles déciment les autres espèces stockées (1).

Traditionnellement, une grande partie du poisson destiné à la consommation des ménages provient des rizières. Avec la pression croissante sur les ressources, la conversion des zones humides en exploitations agricoles

et l'intensification de la production de riz, la pêche dans les rizières a décliné dans plusieurs régions, et les agriculteurs ont opté pour l'aquaculture comme source alternative de protéines animales.

## Les fonctions Ecologiques

Plusieurs organismes aquatiques trouvés dans les écosystèmes basés sur le riz occupent le rôle important d'agents de lutte biologique contre les vecteurs et les parasites. Ils sont d'une grande utilité sur le plan médical et agricole et ils sont considérés comme un élément essentiel dans la lutte antiparasitaire intégrée.

Les poissons qui ont la particularité de se nourrir des larves de moustiques ou de quelques espèces d'escargots peuvent contrôler les vecteurs du paludisme ou de la schistosomiase. Certaines espèces de poissons contribuent à la lutte biologique contre les parasites du riz, tels les escargots des pommes, les foreurs et les échinococcoses (Halwart 1994, 2001; Halwart et al. 1998). Les poissons se nourrissent également de mauvaises herbes et d'autres insectes, réduisant ainsi les problèmes des ravageurs et maintenant l'équilibre de l'écosystème. En effet, la lutte biologique s'est révélée plus rentable que les traitements prophylactiques ou les pesticides basés sur la fixation des seuils. (Rola et Pingali 1993). En outre, les agriculteurs ont témoigné que la culture simultanée du poisson-riz est la cause directe de l'augmentation des rendements en riz, particulièrement dans les sols pauvres, et probablement les rizières non fertilisées ; car dans de telles conditions, la fertilisation et l'effet du cycle nutritionnel des poissons demeurent plus importants. Les économies tirées des pesticides et les gains provenant de la vente de poissons, ont fait que le revenu-net des fermes de riz-poissons est de 7 à 65% plus élevé que dans les fermes à monoculture de riz (Halwart 1999).

Les rizières peuvent contenir également des espèces menacées d'extinction. L'écosystème de riz en eaux profondes et les terres adjacentes de graminées et d'arbustes inondées, près du Tonlé Sap, en Cambodge, offrent un habitat pour de nombreuses espèces d'oiseaux comme les outardes du Bengale, une espèce en voie de disparition dont deux populations seulement subsistent encore dans le monde (Smith 2001). L'exploitation de quelques espèces menacées, comme les gymnophiones bannanicus (*Ichthyophys bannanicus*), dotées d'une valeur médicinale, peut être bénéfique à long terme, car leur valeur économique favorise leur culture, ce qui pourrait assurer la survie de l'espèce.



Tableau 7.1b. Espèces de poissons ( $n = 70$ ) recueillis dans les rizières et utilisés par la population rurale en Cambodge.

Espèces	Nom français <sup>1</sup>	Espèces	Nom français <sup>1</sup>
<i>Thynnich thysthymoides</i>	ND	<i>Clarias batrachus</i>	Silure grenouille
<i>Mystus albolineatus</i>	ND	<i>Anabas testudineus</i>	Perche grimpeuse
<i>Osteochilus melanopleurus</i>	ND	<i>Trichogaster trichopterus</i>	Gourami bleu
<i>Leptobarbus hoeveni</i>	Carpe de Hoven	<i>Rasbora tornieri</i>	Rasbora
<i>Trichogaster pectoralis</i>	Gourami peau de serpent	<i>Rasbora trilineata</i>	Rasbora-ciseaux
<i>Botia modesta</i>	Loche verte	<i>Systemus partipentazona</i>	ND
<i>Cyclocheilichthys sp.</i>	Barbeau	<i>Rasbora daniconius</i>	
<i>Hemibagrus splilopterus</i>	ND	<i>Rasbora borapetensis</i>	Rasbora à queue rouge
<i>Xenentodon cancila</i>	Orphie/Poisson crocodile	<i>Cirrhinus microlepis</i>	
<i>Paralaubuca typus</i>	ND	<i>Monopterus albus</i>	
<i>Notopterus notopterus</i>	Poisson-couteau	<i>Trichopsis vittata</i>	
<i>Trichogaster pectoralis</i>	Trichogaster	<i>Botia sp.</i>	
<i>Pristolepis fasciatus</i>		<i>Pseudomystus siamensis</i>	
<i>Hampala macrolepidota</i>	ND	<i>Anguilla bicolor</i>	Anguille à nageoire courte
<i>Oxyeleotris marmorata</i>		<i>Parambassis sp.</i>	Perche de verre
<i>Henicorhynchus siamensis</i>		<i>Ompok hypophthalmus</i>	ND
<i>Channa micropeltes</i>	Ophiocéphale	<i>Puntius brevis</i>	
<i>Macrognathus siamensis</i>	Anguille de paon	<i>Parambassis wolffi</i>	
<i>Barbodes altus</i>	ND	<i>Macrognathus taenigaster</i>	ND








Encadré 7.1b, suite

Espèces	Nom français <sup>1</sup>	Espèces	Nom français <sup>1</sup>
<i>Trichogaster sp.</i>	Gourami à peau de serpent	<i>Osteochilus hasselti</i>	
<i>Mastacembelus favur</i>			
<i>Trichogaster sp.</i>	Gourami à peau de serpent	<i>Micronema micronema</i>	ND
<i>Pangasius conchophilus</i>	Panga	<i>Ompok bimaculatus</i>	
<i>Puntioplites proctozyron</i>	ND	<i>Chitala ornata</i>	Poisson couteau clown
<i>Channa striata</i>	Têtes-de-serpent	<i>Clarias macrocephalus</i>	
<i>Monotreta cambodgiensis</i>	ND	<i>Mastacembelidae</i>	
<i>Acantopsis sp.</i>	ND	<i>Esomus metallicus</i>	
<i>Mystus mysticetus</i>	ND	<i>Paralauca typus</i>	ND
<i>Labiobarbus siamensis</i>	ND	<i>Clupeichthys sp.</i>	
<i>Barbodes gonionotus</i>	Barbeau de Java	<i>Trichopsis schalleri</i>	Gourami grogneur de Schaller
<i>Doryichthys boaja</i>		<i>Macrogathus siamensis</i>	Anguille de paon
<i>Botia helodes</i>	Loche-tigre	<i>Parachela siamensis</i>	ND
<i>Luciosoma bleekeri</i>	ND	<i>Trichogaster sp.</i>	
<i>Nandus nandus</i>	Poisson feuille	<i>Cyclocheilichthys enoplos</i>	ND
<i>Morulius chrysphekadion</i>	Labéo comestible/ noir, Morulius noir, requin noir	<i>Channa lucius</i>	ND

1 ND = pas disponible

Source: Balzer et al. (2005).

**Tableau 7.2.** Liste indicative des utilisations des divers organismes aquatiques existant dans les rizières.

Taxon	Nom scientifique	Utilisations	Photo
Poissons	<i>Cyclocheilichthys sp.</i>	Frais, pâte de poisson fermenté, poisson fermenté en morceaux, poisson salé et séché, sauce de poisson	
Reptiles	<i>Erpeton tentaculatum</i>	Usage médicinal	
Amphibiens	<i>Bufo melanostictus</i>	Frais, usage médicinal (anthelminthique)	
Crustacés	<i>Somanniathelphusa sp.</i>	Frais, aliment pour animaux, appâts	
Mollusques	<i>Pila sp.</i>	Frais, aliment pour animaux, appâts, vente	
Plantes	<i>Nelumbo nucifera</i>	Fleurs, feuilles, graines, rhizome consommable, vente, décoration et emballage	
Insectes	<i>Lethocerus</i>	Frais, usage médicinal	

### Les activités récentes

La grande disponibilité de poissons sauvages a généralement favorisé le système de saisie dans les rizières liées aux plaines d'inondation des grands systèmes fluviaux. Ce système a été étudié récemment, focalisant sur la disponibilité des ressources aquatiques vivantes et les plans de gestion qu'adoptent les agriculteurs de riz dans les plaines inondables sur le bas et le haut de la rivière Mékong en Xishuangbanna, la province du Yunnan, en Chine (Luo 2005), et dans la province de Kampong Thom, Cambodge (Balzer et al., 2005). Une baisse au niveau de la disponibilité des poissons sauvages dans les zones montagneuses reculées a suscité l'apparition et l'évolution du système de la culture riz-poisson. Les systèmes autochtones de riz-pois-

**Encadré 7.1** La biodiversité aquatique basée sur le riz mise en relief à la 20<sup>ème</sup> session de la Commission internationale du riz, 23-26 juillet 2002

La commission internationale du riz de la FAO est un forum organisé au cours duquel les hauts responsables politiques et les spécialistes en riz provenant de pays producteurs de riz révisent et revoient leurs programmes nationaux de recherche et de développement. Son objectif est de promouvoir une action nationale et internationale dans le domaine de la production, conservation, distribution et consommation de riz. La commission se réunit tous les quatre ans. Lors de sa 20<sup>ème</sup> session, qui s'est tenue à Bangkok en juillet 2002, la commission a recommandé ce qui suit :

- Les pays membres devraient promouvoir le développement durable de la biodiversité dans les écosystèmes aquatiques basés sur le riz, les décisions politiques et les mesures de gestion devraient renforcer la base des ressources biologiques aquatiques. Dans les régions où les ressources en poissons sauvages ont été épuisées, la culture riz-poissons doit être considérée comme étant un moyen de renforcer la sécurité alimentaire et d'assurer un développement rural durable.
- Une attention particulière devrait être accordée à l'apport nutritionnel des organismes aquatiques dans l'alimentation des populations rurales qui produisent ou dépendent du riz.

*Source:* FAO (2002).

son qui utilisent des souches d'espèces de poissons adaptées aux conditions locales, se trouvent dans les terres hautes du Nord du Vietnam et au Laos. L'attention a été portée sur les connaissances traditionnelles dans ces sociétés riz-poisson lors des travaux récents effectués dans les provinces vietnamiennes de Hoa binh, Son La et Lai Chau (Meusch 2005), et les provinces Laotiennes Xieng Khouang et Houa Phan (Choulamany 2005).

Les résultats des études récentes ont permis de mieux comprendre et d'apprécier la riche diversité et la valeur des ressources aquatiques, les pratiques locales reliées à leur saisie et leur culture; et la nécessité d'une étroite collaboration avec les agriculteurs afin de développer des interventions appropriées à la production aquacole. La première étape, pour mettre l'accent sur la biodiversité aquatique basée sur le riz, touchait le plan intergouvernemental où les responsables ont été invités à prêter plus d'attention au développement de la biodiversité aquatique et à la contribution des organismes aquatiques dans l'alimentation des populations rurales qui produisent ou dépendent du riz pour leur subsistance (encadré 7.1). Les

## Encadré 7.2 La nutrition et les ressources aquatiques dans la province de Quang Tri, dans le Centre du Vietnam

Le Vietnam détient le plus haut taux de malnutrition chez les adultes et les enfants dans les pays de l'Asie du Sud (FAO, 1999). Les besoins nutritionnels de base de nombreux enfants ne sont pas assurés (Reinhard et Wijayarathne 2002). L'Organisation mondiale de la santé (OMS) a signalé l'existence de plusieurs problèmes au niveau de la santé publique : 40% des adultes ont un indice de masse corporelle inférieur à 18,5, ce qui représente la valeur seuil d'insuffisance pondérale. Avec la collaboration du programme de lutte contre la pauvreté financé par le ministère finlandais des affaires étrangères, le ministère vietnamien de la planification et de l'investissement et le Programme pour le développement rural de Quang Tri dans le centre du Vietnam, la FAO a participé à une étude sur l'état nutritionnel des familles de riziculteurs dans la région de Quang Tri, l'une des provinces les plus pauvres du centre du Vietnam. Cette étude a voulu aussi identifier le rôle que jouent les ressources aquatiques dans leur régime alimentaire. Une attention particulière a été accordée aux signes de malnutrition chez les enfants de moins de 5 ans.

### *Méthodes*

L'étude a fait recours à une approche participative qui s'est concentrée principalement sur l'évaluation du comportement des populations rurales et leur expérience par rapport à leurs conditions nutritionnelles et sanitaires et leur manière d'exploiter les ressources disponibles. L'étude comprenait trois éléments : un questionnaire au niveau des ménages, des mesures anthropométriques des enfants de moins de cinq ans et des sessions de dialogue en groupe. Les communes (villages) ont été choisies au hasard : cinq communes dans le district isolé de Dakrong situé dans une zone montagneuse, deux communes de Hai Lang, et une commune du district Cam Lo situé dans les terres basses. 15-30% des ménages des communes ont été sélectionnés, avec 5 personnes en moyenne dans chaque ménage. La malnutrition chez les enfants a été mesurée grâce à trois indicateurs : l'insuffisance pondérale (poids/âge), le retard de croissance (taille/âge), et l'émaciation (poids/taille).

### *Résultats*

Le poisson se révèle être l'animal aquatique le plus fréquemment consommé au sein des ménages, avec 80% à Hai Lang, 89% à Cam Lo et 39% au district de Dakrong. Ces ménages consomment du poisson à raison de deux fois par semaine, voire plus (encadré tableau 7.2a). Le poisson est considéré comme un élément de prédilection en raison de son bon goût, son abondance et ses vertus. L'étude a démontré que le goût est la raison principale derrière la consommation d'animaux aquatiques. La plupart des personnes interrogées déclarent manger des serpents en raison de leurs bienfaits, et les grenouilles, les insectes et les crabes pour leur abondance. Les serpents sont rarement consommés dans tous les districts, alors que les insectes représentent l'aliment de base au sein de près de la moitié des ménages dans le district montagneux de Dakrong.

TABLEAU 7.2A DE L'ENCADRÉ 7.2. Fréquence de consommation (%) de poissons et autres organismes aquatiques parmi les ménages enquêtés

	Jamais	1x/mois	2 à 3x/mois	1x/semaine	2 à 5x/semaine	Chaque jour (6-7x/semaine)	Occasionnellement
<b>Hai Lang (n = 70)</b>							
Poisson	2.9	—	1.4	5.7	61.4	18.3	10.3
Serpent	84.3	8.6	4.3	—	—	—	2.8
Escargot	45.7	21.4	8.6	10.0	1.4	1.4	11.5
Crabe de champ	54.3	15.7	7.1	5.7	4.3	—	12.9
Crevette	5.7	1.4	4.3	4.3	67.1	4.3	12.9
Insectes	92.9	1.4	1.4	—	2.9	0.1	1.3
Grenouille	60.0	7.1	4.3	5.7	1.4	—	21.5
<b>Cam Lo (n = 35)</b>							
Poisson	—	2.9	—	8.6	71.4	17.1	—
Serpent	94.3	—	5.7	—	—	—	—
Escargot	68.6	8.6	8.6	—	2.9	—	11.3
Crabe de champ	51.4	2.9	8.6	11.4	11.4	—	14.3
Crevette	20.0	8.6	5.7	25.7	37.1	—	2.9
Insectes	88.6	—	—	5.7	2.9	—	2.8
Grenouille	62.9	2.9	5.7	8.6	8.6	—	11.3
<b>Dakrong (n = 169)</b>							
Poisson	1.3	21.5	27.8	10.1	33.5	5.1	0.7
Serpent	87.3	5.1	3.2	—	0.6	—	3.8
Escargot	26.6	27.8	16.4	5.1	9.5	—	14.6
Crabe de champ	46.2	20.9	10.8	4.4	1.3	—	16.4
Crevette	21.5	23.4	19.6	8.9	11.4	—	15.2
Insectes	58.2	11.4	12.0	4.4	4.4	0.6	9
Grenouille	48.1	21.5	9.5	5.7	1.3	—	13.9

### *Encadré 7.2, suite*

L'étude a aussi démontré que les ménages se trouvant dans le district pauvre et isolé de Dakrong consomment en moyenne plus d'organismes aquatiques (particulièrement des escargots, mais aussi des insectes et des grenouilles) que les ménages dans les autres districts. Dans le riche district de Hai Lang, une moyenne quotidienne de 310g de poisson par ménage est consommée, tandis qu'aux districts de Cam Lo et de Dakrong la moyenne était respectivement de 260 et 240g. Une grande partie des femmes a déclaré alimenter leurs enfants âgés de 4-12 mois avec du poisson, des petites crevettes et des crabes. Au district Hai Lang, jusqu'à 80% des ménages préparent aux enfants des repas à base de poisson, et 64% consomment des crevettes 2 à 5 fois par semaine. On a noté un écart entre les quartiers riches et les quartiers pauvres : 30% seulement des ménages pauvres du district Dakrong utilisent le poisson pour nourrir les enfants à raison de deux fois, voire plus par semaine.

### *La disponibilité de la biodiversité aquatique*

Quarante espèces différentes ont été inventoriées, dont certaines ont été élevées. Dans tous les districts, les participants affirment que la capture des animaux aquatiques sauvages est devenue plus difficile qu'elle l'était il y a dix ans. Les villageois attestent que cette situation pourrait être le résultat de l'usage fréquent d'herbicides et de pesticides dans la production agricole, ainsi que la demande croissante en ressources exigée par une population humaine en hausse. En outre, on signale dans la plupart des districts, l'existence de plusieurs pratiques de pêche non durable telles que l'électro-pêche, l'empoisonnement et l'usage des moustiquaires, mettant ainsi les stocks et la capacité de reproduction des animaux aquatiques en péril.

Néanmoins, plus que la moitié de tous les ménages ont capturé les animaux aquatiques de la nature sauvage, rizières comprises. En plus d'être consommés au sein des ménages, ces animaux représentent une source de revenus : 9% des ménages du Cam Lo et du Hai Lang ont vendu du poisson capturé dans la nature sur le marché, et plus de 75% des ménages du district isolé de Dakrong ont vendu du poisson ainsi que d'autres ressources aquatiques provenant de la nature sauvage à d'autres villageois. La plupart des ménages achètent leurs poissons et crevettes sur le marché, à part ceux du district Dakrong, où 67% se procurent ces ressources dans la nature sauvage. Dans tous les districts, les serpents, les escargots et les grenouilles sont capturés dans la nature, surtout en ce qui concerne les ménages de la région isolée de Dakrong. Selon l'enquête, les marchés représentent des sources importantes de nourriture, alors que la biodiversité marque un déclin dans les rizières.

### *L'état nutritionnel*

L'étude a révélé une malnutrition touchant les enfants dans tous les districts. La région isolée et montagneuse du Dakrong reste la plus affectée (tableau encadré 7.2c). Par rapport à la situation régionale du nord du Vietnam central, les districts de Hai Lang et de Cam Lo avaient un pourcentage égal ou inférieur

TABLEAU 7.2B DE L'ENCADRÉ 7.2. Consommation d'organismes aquatiques par ménage (taille moyenne des ménages=5 personnes)

District	Quantités des ressources aquatiques (Kg/jour)							Total
	Poissons	Serpents	Escargots	Crabes de champs	Crevettes	Insectes	Grenouilles	
Hai Lang (n = 70)	0.39	0.01	0.05	0.05	0.11	0.03	0.02	0.66
Cam Lo (n = 35)	0.26	0.02	0.04	0.15	0.21	0	0.06	0.74
Dakrong (n = 169)	0.24	0.02	0.21	0.09	0.14	0.06	0.07	0.83



TABLEAU 7.2C DE L'ENCADRÉ 7.2. Statut nutritionnel des enfants âgés de moins de 5 ans dans les 3 districts étudiés par degré de gravité et commune (en %)

<i>Indicateurs de mal nutrition</i>	Districts (nombre d'enfants mesurés et pesés) et communes									
	Hai Lang (241)			Cam Lo (50)			Dakrong (282)			
	<i>Hai Thuon</i>	<i>Hai Le</i>	<i>Cam Lieu</i>	<i>Trieu Ngyen</i>	<i>A Ngo</i>	<i>A Bung</i>	<i>Huc Nghi</i>	<i>Ta Long</i>		
Maigre	11.9	30.2	28	45.8	46.2	64.6	50.0	39.3		
Gravité (faible, très élevée)	Moyenne	Très élevée	Elevée	Très élevée	Très élevée	Très élevée	Très élevée	Très élevée		
Retard en termes de croissance	20.1	29.5	42	44.7	53.8	68.8	61.5	50.0		
	Moyenne	Moyenne	Très élevée	Très élevée	Très élevée	Très élevée	Très élevée	Très élevée		
Déchets	3.0	3.8	2	6.3	7.7	14.6	6.4	10.7		
Gravité (faible, très élevée)	Faible	Faible	Faible	Moyenne	Moyenne	Très élevée	Moyenne	Elevée		

### *Encadré 7.2, suite*

d'enfants souffrant d'insuffisance pondérale et de retard de croissance. Le pourcentage de l'émaciation était juste le quart de la moyenne régionale. Le district isolé de Dakrong détient un taux élevé d'insuffisance pondérale et de retard de croissance, et dans certaines de ses communes, le taux d'émaciation est inférieur aux moyennes régionales et nationales. C'est dans ces communes isolées que les ressources aquatiques sauvages sont plus importantes pour les ménages qu'elles le sont dans les riches terres basses.

### *Conclusions*

L'étude a démontré que la biodiversité aquatique dans les systèmes de production basés sur le riz contribue considérablement à la sécurité alimentaire de la population rurale. Dans les régions montagneuses reculées, la consommation d'organismes aquatiques est supérieure à celle dans les terres basses, mais les régimes alimentaires comprennent moins de poissons et de serpents et plus d'escargots, d'insectes et de grenouilles. En général, la quantité de nourriture disponible dans la nature sauvage et sur les marchés n'est pas à la hauteur de la demande de la population. Cependant, la biodiversité aquatique assure une grande partie des besoins de la population en nourriture. Les données anthropométriques montrent que l'état nutritionnel est dégradé dans les zones reculées ; d'autres études révèlent que ces communes sont exposées à des pénuries en alimentation de base, souvent pendant plusieurs mois durant l'année. Dans ces régions, les organismes aquatiques peuvent simplement satisfaire les besoins nutritionnels fondamentaux de la population, et sans cette source nutritive, la malnutrition et la sécurité alimentaire pourraient se dégrader davantage. En outre, l'état de santé général peut jouer un rôle important. Les résultats exigent plus de recherches afin d'analyser le rôle des différents organismes aquatiques, particulièrement pour les personnes dépourvues de ressources dans les régions reculées.

enquêtes préliminaires effectuées sur la relation entre la culture du riz, les ressources aquatiques vivantes et les moyens de subsistance des personnes qui gèrent ces systèmes, ont révélé l'importance de cette biodiversité pour les communautés rurales (encadré 7.2).

## Les écosystèmes productifs menacés

Les témoignages des évaluations participatives rurales, réalisées avec les communautés agriculteurs et de pêcheurs, ont indiqué que la disponibilité des ressources aquatiques dans les rizières est en baisse (Balzer et al. 2005; Luo 2005). Bien que la quantité d'organismes aquatiques consommés est

restée constante il y a une décennie, la saisie basée sur le riz approvisionnait la moitié de cette consommation. Aujourd'hui en revanche, seulement un cinquième, voire le tiers, provient de la saisie dans la riziculture, et le reste doit être acheté ou cultivé (Luo 2005). Les agriculteurs en Xishuangbanna ont avancé que les poissons sont de moins en moins abondants et qu'à présent, la quantité d'organismes aquatiques recueillis en une seule journée équivaut à celle pêchée en une heure il y a dix ans. L'étude cambodgienne (Balzer et al. 2005) a démontré également que les saisies de poissons ont considérablement diminué au cours des deux dernières décennies. Les villageois estiment que d'ici trois à cinq ans il n'y aura pas assez de poissons pour subsister. Le facteur majeur de la diminution des ressources aquatiques vivantes est l'expansion démographique et la pression accrue de la pêche sur les ressources aquatiques qui en résulte. D'autres activités connexes sont également responsables de la dégradation, comme l'utilisation des pesticides, la destruction des bases d'élevage des poissons et les méthodes illégales de saisie, comme l'électro-pêche et l'empoisonnement chimique. Des efforts de développement sont déployés en urgence pour faire face à ces menaces.

Les ruraux pauvres sont particulièrement dépendants de la biodiversité aquatique des rizières. Ils n'ont pas de revenus, mais ont toujours accès à la biodiversité qui constitue leur moyen de subsistance (Encadré 7.2). Les menaces particulières auxquelles ils doivent faire face sont la restriction d'accès et la destruction des ressources halieutiques causée par la surexploitation effectuée par la pêche industrielle, quand, par exemple, les zones réservées à la saisie sont louées à des entreprises de pêche sous forme de lots. Ce sont ces gens nécessiteux qui seront les plus affectés puisqu'ils sont dépourvus de terres à cultiver et qu'ils dépendent de l'exploitation des ressources sauvages.

## Conclusion

La diversité des espèces aquatiques et son rôle important dans la subsistance en riz des populations rurales est capitale pour les écosystèmes universels basés sur le riz irrigués, pluviaux et profonds (figure 7.2). Des efforts sont exigés sur le plan international et national afin d'évaluer le rôle de la biodiversité aquatique dans les écosystèmes basés sur le riz et les moyens de subsistance des ruraux. Des études spécifiques s'imposent pour évaluer la contribution de la biodiversité aquatique au niveau de la nutrition des ménages pratiquant la riziculture, particulièrement en matière de graisses

et d'huiles. Ces études serviront aussi à attirer l'attention des consommateurs sur leurs bienfaits sur la santé et le bien-être (voir le chapitre 15 pour les études nutritionnelles). Les efforts actuels planifiés par les institutions locales en Cambodge, en Chine, au Laos et au Vietnam comprennent des ateliers nationaux et régionaux durant lesquels des informations sur la capture et l'utilisation des organismes aquatiques sont présentées, soulignant leur importance pour la subsistance rurale. Ces informations seront par la suite adressées aux responsables et aux agents de vulgarisation (FAO/NACA 2003). Des activités similaires sont prévues dans d'autres régions, particulièrement en Afrique occidentale et en Amérique latine. Sur le plan politique, une attention particulière doit être prêtée à la gestion des ressources aquatiques dans le développement rural, la sécurité alimentaire et les stratégies de lutte contre la pauvreté. Le renforcement et la spécialisation du système pour optimiser la production de riz se feront aux dépens d'autres produits. Par conséquent, il est extrêmement important de déterminer la nature de ces changements, qui seront les bénéficiaires et les perdants, ainsi que de tenter de minimiser les dégâts et maximiser les gains.

## Notes

1. Ce n'est pas toujours possible de différencier la capture des systèmes de culture. En Thaïlande par exemple, on trouve un système intermédiaire dont la gestion se base sur le stockage des poissons en tant que proies pour les espèces sauvages. Ces pertes sont compensées par l'importante valeur marchande des poissons sauvages sur les marchés locaux (Setboonsarng 1994)

## Références

- Balzer, T., P. Balzer, and S. Pon. 2005. Traditional use and availability of aquatic biodiversity in rice- based ecosystems. I. Kampong Thom Province, Kingdom of Cambodia. In M. Halwart, D. Bartley, and H. Guttman, eds., *Aquatic Biodiversity in Rice- Based Ecosystems* (cd- rom). Rome: FAO.
- Choulamany, X. 2005. Traditional use and availability of aquatic biodiversity in rice-based ecosystems. III. Xieng Khouang and Houa Phan provinces, Lao pdr. Northern Laos. In M. Halwart and D. Bartley, eds., *Aquatic Biodiversity in Rice-Based Ecosystems* (cd- rom). Rome: FAO.
- Demaine, H. and M. Halwart. 2001. An overview of rice- based small- scale aquaculture. In *Utilizing Different Aquatic Resources for Livelihoods in Asia: A Resource Book*, 189-197. Cavite, Philippines: International Institute of Rural Reconstruc-

- tion, International Development Research Centre, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Network of Aquaculture Centers in Asia-Pacific, and International Center for Living Aquatic Resources Management.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 1999. *Nutrition Country Profiles: Viet Nam*. Rome: FAO. Available at <ftp.fao.org/es/esn/nutrition/ncp/viemap.pdf>.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2002. *Report of the 20th Session of the International Rice Commission*, Bangkok, Thailand, July 23<sup>rd</sup>-26, 2002. Rome: FAO.
- FAO/MRC (Food and Agriculture Organization of the United Nations and Mekong River Commission). 2003. *New Approaches for the Improvement of Inland Capture Fishery Statistics in the Mekong Basin*. Report of the Ad Hoc Expert Consultation, Udon Thani, Thailand, September 2<sup>nd</sup>-5, 2002. Publication No. 2003/01. Bangkok: FAO/rap.
- FAO/NACA (Food and Agriculture Organization of the United Nations and Network of Aquaculture Centres in Asia Pacific). 2003. *Traditional Use and Availability of Aquatic Biodiversity in Rice-Based Ecosystems*. Report of a Workshop, Xishuangbanna, Yunnan, P.R. China, October 21<sup>st</sup>-23, 2002. Rome, Italy: FAO. Available at <ftp.fao.org/fi/document/xishuangbanna/xishuangbanna.pdf>.
- Fernando, C. H. 1993. Rice field ecology and fish culture: An overview. *Hydrobiologia* 259:91-113.
- Fernando, C. H. and M. Halwart. 2001. Fish farming in irrigation systems: Sri Lanka and global view. *Sri Lanka Journal of Aquatic Sciences* 6:1-74.
- Halwart, M. 1994. *Fish as Biocontrol Agents in Rice: The Potential of Common Carp Cyprinus carpio and Nile Tilapia Oreochromis niloticus*. Weikersheim, Germany: Margraf Verlag.
- Halwart, M. 1998. Trends in rice-fish farming. *FAO Aquaculture Newsletter* 18:3-11.
- Halwart, M. 1999. Fish in rice-based farming systems: Trends and prospects. In D. van Tran, ed., *International Rice Commission: Assessment and Orientation Towards the 21st Century*, 130-141. Proceedings of the 19th Session of the International Rice Commission, Cairo, Egypt, September 7<sup>th</sup>-9, 1998. Rome: FAO.
- Halwart, M. 2001. Fish as biocontrol agents of vectors and pests of medical and agricultural importance. In *Utilizing Different Aquatic Resources for Livelihoods in Asia: A Resource Book*, 70-75. Cavite, Philippines: International Institute of Rural Reconstruction, International Development Research Centre, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Network of Aquaculture Centers in Asia-Pacific, and International Center for Living Aquatic Resources Management.
- Halwart, M. 2003. Recent initiatives on the availability and use of aquatic organisms in rice-based farming. In *Proceedings of the 20th Session of the International Rice Commission*, 195-206. Bangkok, Thailand, July 23<sup>rd</sup>-26, 2002. Rome: FAO.

- Halwart, M., M. C. Viray, and G. Kaule. 1998. The potential of *Cyprinus carpio* and *Oreochromis niloticus* for the biological control of aquatic pest snails in rice fields: Effects of predator size, prey size and prey density. *Asian Fisheries Science* 10:31-42.
- Luo, A. 2005. Traditional use and availability of aquatic biodiversity in rice- based ecosystems. II. Xishuangbanna, Yunnan, P.R. China. In M. Halwart, D. Bartley, and J. Margraf, eds., *Aquatic Biodiversity in Rice- Based Ecosystems* (cd- rom). Rome: FAO.
- Meusch, E. 2005. Traditional use and availability of aquatic biodiversity in ricebased ecosystems. III. Northwestern Viet Nam. In M. Halwart and D. Bartley, eds., *Aquatic Biodiversity in Rice- Based Ecosystems* (cd- rom). Rome: FAO.
- Reinhard, I. and K. B. S. Wijayaratne. 2002. *The Use of Stunting and Wasting as Indicators for Food Insecurity and Poverty*. Working Paper 27, Integrated Food Security Programme trincomalee. Available at [www.sas.upenn.edu/~dludden/stunting-wasting.pdf](http://www.sas.upenn.edu/~dludden/stunting-wasting.pdf).
- Rola, A. and P. Pingali. 1993. *Pesticides, Rice Productivity, and Farmers' Health: An Economic Assessment*. Manila: International Rice Research Institute and World Resources Institute.
- Setboonsarng, S. 1994. Farmers perception towards wild fish in rice fields: °Product,~not predator - An experience in ricefish development in northeast Thailand. In C. R. de la Cruz, ed., *Role of Fish in Enhancing Rice field Ecology and in Integrated Pest Management*, 43-44. ICLARM Conf. Proc. 43. Manila: International Center for Living Aquatic Resources Management.
- Smith, J. D., ed. 2001. *Biodiversity, the Life of Cambodia: Cambodian Biodiversity Status Report 2001*. Phnom Penh: Cambodia Biodiversity Enabling Activity.

## 8 Services des pollinisateurs

---

P. G. KEVAN et V. A. WOJCIK

Les herbivores, les prédateurs, les parasitoïdes, les parasites et les agents pathogènes sont considérés comme cruciaux sur le plan écologique pour la préservation des écosystèmes et de leur diversité. Néanmoins, les relations de mutualisme sont tout aussi importantes. La pollinisation est le cœur de la productivité multibranche dont dépendent tous les consommateurs : hommes, bétail et faune (figure 8.1). Les interactions écologiques et leur complexité sont maintenant partie intégrante de la conservation. La biodiversité et l'évolution de la flore dominante de la planète (les plantes à fleurs) et de la faune dominante (les insectes) sont si intimement mêlées à la pollinisation que l'érosion de ce processus a de graves conséquences environnementales. En effet, la pollinisation est maintenant considérée comme une fonction compromise de l'écosystème qui mérite une attention dans tous les milieux terrestres, de l'agriculture intensive à la nature sauvage (Buchmann et Nabhan 1996). En outre, les visiteurs non pollinisateurs des fleurs existant dans la nature apportent des avantages, et parfois des problèmes, essentiels à d'autres aspects de l'écosystème.

Bien que la pollinisation soit étudiée depuis plus de 200 ans, elle est souvent négligée et mal comprise. Par conséquent, le rôle des pollinisateurs et des fleurs ainsi que les problèmes liés au déclin de la biodiversité et à la nécessité de conservation méritent une explication. L'importance des pollinisateurs et d'autres anthophiles (visiteurs de fleurs) s'étend au-delà de la durabilité des écosystèmes, de la reproduction des plantes, de la productivité des cultures et de la lutte antiparasitaire. Elle concerne également les aspects esthétiques et éthiques de la qualité de la vie humaine. De plus, les

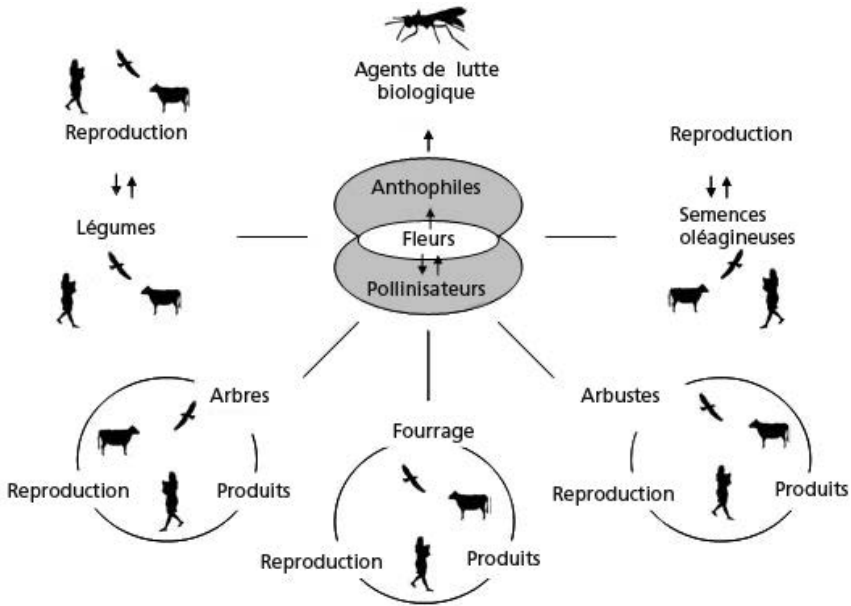


FIGURE 8.1. Les systèmes de pollinisation sont au centre des écosystèmes et de leurs fonctions. Les interactions directes et indirectes des services des pollinisateurs englobent toute la biosphère.

pollinisateurs et anthophiles sont également des bio-indicateurs sensibles de la santé des écosystèmes.

### Pollinisation, pollinisateurs et anthophiles

La pollinisation est tout simplement le transfert du pollen des anthères aux stigmates. Après la création de structures de reproduction par la plante, la pollinisation est l'étape suivante dans le processus de reproduction. La pollinisation abiotique se fait par le vent, l'eau ou la gravité. La pollinisation biotique est effectuée par les animaux. Il existe un vocabulaire riche et spécialisé ayant trait à la pollinisation et au mode de reproduction des plantes qu'il n'est pas utile de détailler dans cet article. En ce qui concerne les cultures, Roubik (1995) et Free (1993) sont des œuvres encyclopédiques.

Les anthophiles sont des animaux visitant les fleurs. Ils peuvent chercher du pollen, du nectar, de l'huile ou des tissus floraux pour satisfaire



leurs besoins nutritionnels (Kevan, 1999). Les pollinisateurs sont des anthophiles qui pollinisent. Tous les anthophiles ne sont pas des pollinisateurs efficaces : certains sont des voleurs engendrant la perte de ressources recherchées par les pollinisateurs ou se nourrissant du pollen nécessaire à la pollinisation abiotique (Inouye, 1980). D'autres peuvent être inoffensifs et s'abriter simplement dans les fleurs ou récupérer des restes après la fin de la pollinisation. Bien que les pollinisateurs soient essentiels à la reproduction des plantes, les anthophiles peu ou pas du tout pollinisateurs peuvent également être importants pour le fonctionnement des écosystèmes. Par exemple, de nombreux insectes qui sont utiles dans la lutte biologique contre les ravageurs ont besoin de se nourrir, de s'accoupler, de trouver des hôtes, de pondre des œufs et de compléter leur cycle de vie grâce aux fleurs (Ruppert, 1993). Certains anthophiles utilisent par ailleurs les massifs de fleurs pour capturer leurs proies (Kevan, 1999).

## Biodiversité des anthophiles, pollinisateurs et de la pollinisation

### *Généralités*

La diversité des anthophiles se compte en millions d'espèces. Presque toutes les abeilles et tous les papillons dépendent des fleurs. De nombreuses espèces de papillons, de mouches, de coléoptères, de guêpes et de fourmis bitument les fleurs. L'anthophilie est commune à moins d'insectes remarquables, tels que les thrips et les sauterelles à pollen. Dans d'autres ordres d'insectes, l'anthophilie est sporadique, comme chez les chrysopes et les collemboles. Parmi les vertébrés, certains groupes d'oiseaux (par exemple, les colibris, les dicées, les méliphagidés, les guit-guits, les soui-mangas et les loris) et de chauves-souris (roussettes ou renards volants des tropiques de l'Ancien Monde et les phyllostomidae des régions tropicales des Amériques) sont connus comme étant des anthophiles et des pollinisateurs. Il y a même quelques mammifères spécialisés dans la glisse et d'escalade (les mammifères grimpeurs) qui sont d'importants pollinisateurs, en particulier en Australie et en Afrique. Même les primates sont importants pour la pollinisation dans certains endroits

### *Dans les agrosystèmes*

Les abeilles (*Apis* spp.) sont les pollinisatrices les plus précieuses pour l'agriculture. Elles sont élevées dans des ruches facilement transportables pour

la pollinisation de nombreuses cultures. Leur biologie est bien connue et l'apiculture pour la pollinisation est bien maîtrisée. Néanmoins, les abeilles domestiques ne sont pas les seules pollinisatrices commercialement utiles et ne pollinisent pas toujours toutes les cultures (Kevan, 1999). Par exemple, les bourdons (*Bombus* spp.) sont des pollinisateurs de choix pour les légumineuses dont le tube de la corolle est trop profond pour permettre aux abeilles d'accéder au nectar (Free 1993). Leur comportement en tant que pollinisateurs vibratiles (pollinisateurs qui extraient le pollen des fleurs en produisant des vibrations) et leur capacité à se nourrir dans les serres les distinguent des abeilles. Les abeilles des vergers (spp *Osmie*) sont plus efficaces et commencent à butiner à des températures inférieures celles des abeilles (Kevan, 1999). Depuis peu, en Malaisie, les abeilles charpentières (*Xylocopa* spp.) sont utilisées pour fournir du matériel de nidification pour la pollinisation des fruits de la passion dont les fleurs trop grandes ne peuvent pas être pollinisées par les abeilles domestiques (Mardan et al. 1991).

La pollinisation de certaines cultures n'est pas effectuée par les abeilles, mais par d'autres pollinisateurs (tableau 8.1). Dans les régions tropicales, les problèmes de pollinisation sont particulièrement importants parce que les mécanismes naturels de pollinisation de nombreuses plantes (cultures et autres) ne sont pas connus (Roubik 1995; Kevan, 2001). Des recherches récentes ont fait certains progrès dans ce domaine. Il a été découvert que les coléoptères pollinisent les espèces fruitières anonacées (*Annona* spp.) comme les corossols et les anones, mais nous ne savons que peu de choses sur les pollinisateurs les plus adaptés à ces plantes (Roubik 1995). Le palmier à huile d'Asie est maintenant pollinisé par le Faust *Elaeidobius kameunicus* (Curculionidae), une espèce de charançon importée d'Afrique de l'Ouest, qui a servi de pollinisateur dans l'aire de répartition initiale de l'arbre (Kevan, 1999). Les recherches ont montré que le noisetier du Brésil est mellitophile (produit des fleurs mâles et femelles à des moments différents), ce qui rend l'auto-pollinisation temporellement impossible. Par conséquent, il dépend de l'activité des pollinisateurs pour produire des fruits (Maues 2002). Le fait qu'un grand nombre d'espèces différentes de moucheron et les mouches pollinisent les plantes à fruits sauvages démontre la nécessité d'envisager l'utilisation d'autres pollinisateurs pour de nombreuses cultures. Des efforts considérables sont encore nécessaires pour une compréhension complète de la pollinisation tropicale.

La nature et la quantité de récompenses recherchées par les pollinisateurs influencent la pollinisation, ce qui est souvent oublié par les cultivateurs. Les abeilles collectrices de pollen sont considérées comme de meilleurs pollinisatrices que les butineuses de nectar, y compris pour les

pommes et d'autres cultures comme avec les fleurs ouvertes en forme de cuvette qui produisent une bonne quantité de nectar (Free 1993). Dans les cultures avec des formes de fleurs spécialisées (par exemple : bleuets, canneberges), les butineuses de pollen sont plus efficaces que les butineuses de nectar (Cane et Payne, 1988). Sur ces cultures, les abeilles sont souvent de faibles pollinisatrices en raison de la faible proportion de butineuses

Tableau 8.1. Quelques pollinisateurs utiles pour les cultures commerciales.

Plante	Pollinisateur	Référence
Trèfle rampant ( <i>Trifolium repens</i> ) et autres légumes	Bourdons ( <i>Bombus</i> spp.)	Free 1993
Tomates de serre et autres solanacées	Bourdons	Banda and Paxton 1991
Framboises	Bourdons (plus efficace que l'abeille)	Willmer et al. 1994
Fruits à pépins	Abeilles Osmies ( <i>Osmia</i> spp.)	Kevan 1999
Luzerne et autres légumineuses	Abeilles découpeuses ( <i>Megachile</i> spp.)	Richards 1993
Bleuets	Abeille <i>Habropoda laboriosa</i>	Cane and Payne 1988, 1990
Courges et citrouilles	Abeilles à courge ( <i>Peponapis pruinosa</i> )	Kevan 1999
Fruit de la passion	Abeille charpentière ( <i>Xylocopa</i> spp.)	Mardan et al. 1991
Palmier à huile	Charançon ( <i>Elaeidobius kamerunicus</i> Faust) (Curculionidae)	Kevan 1999
Diverses cultures fruitières annonacées	Coléoptères	Roubik 1995
Cacao	Mouches (Diptera: Ceratopogonidae)	Free 1993, Roubik 1995
Mangue	Mouches et autres insectes	Free 1993, Roubik 1995
Durian	Chauve-souris	Roubik 1995
Noix de cajou	Abeilles à miel domestiques ( <i>Apis mellifera</i> ) et une abeille indigène butineuse de nectar ( <i>Centris tarsata</i> )	Breno et al. 2002

de pollen dans leurs colonies et de leur incapacité à secouer le pollen des fleurs: la pollinisation vibratile (Buchmann, 1983). Certaines plantes qui ont besoin ou bénéficient de pollinisation par les insectes ne produisent pas de nectar et comptent sur les insectes butineurs de pollen. Des exemples sont le kiwi, la tomate et peut-être la grenade. Le lupin produit aussi uniquement du pollen, mais pratique l'auto-pollinisation.

## Les pollinisateurs

### *Les abeilles et l'apiculture*

La diversité des pratiques apicoles dépasse celle représentée par les ruches des races européennes et les abeilles domestiques hybrides (*Apis mellifera* spp. *Ligustica*, *caucasica* et *carnica*, ou les abeilles d'Italie, du Caucase et de Carniole). Néanmoins, ces abeilles sont les mieux connues et les plus faciles à gérer pour la pollinisation et production apicole (voir Graham 1992; Crane 1990).

Partout en Afrique et dans les zones de répartition de *A. mellifera* au Moyen-Orient, les races indigènes sont conservées dans différents types de ruches et grâce à des techniques de gestion différentes. Beaucoup de ces races sont défensives et enclines à se soustraire à leur ruche, qu'elle soit artificielle ou naturelle. Par conséquent, elles sont difficiles à garder. L'abeille tueuse, mieux connue comme l'abeille africanisée (un hybride entre des races européennes et africaines), s'est propagée à partir du Brésil à travers l'Amérique tropicale et subtropicale depuis l'introduction de la souche africaine de *A. m. scutellata* d'Afrique du Sud en 1956. Elle est notoirement défensive et s'attaque facilement aux intrus.

En Asie, les autres espèces d'abeilles sont conservées ou développées pour l'exploitation par l'homme. La plus importante d'entre elles est l'abeille asiatique (*Apis cerana*), qui comprend autant de biodiversité raciale que l'abeille européenne *Apis mellifera* (Kevan, 1995). Bien que l'abeille asiatique de ruche ait été décrite comme une espèce d'élevage, une attention accrue a été récemment portée à son potentiel, et la sagesse de la transplantation de l'abeille européenne au-delà de son aire de répartition naturelle a été sérieusement remise en question. En Asie tropicale et subtropicale, d'autres espèces d'abeilles sont exploitées commercialement. Le miel de *Apis dorsata*, l'abeille géante ou de roche, est récolté en Inde, au Bangladesh, au Sri Lanka, en Malaisie, en Thaïlande, au Vietnam, au Kumpuchea et au Laos. Il en est de même pour le miel de races ou espèces

sœur: *Apis laboriosa* dans les contreforts de l'Himalaya et *A. d. binghami* dans certaines parties de l'archipel d'Asie du Sud-Est. La plus petite abeille, *Apis florea*, est également exploitée commercialement.

En Amérique tropicale et subtropicale, où il n'y a pas des espèces indigènes d'*Apis*, les abeilles sans aiguillon (Meliponinae) ont été gardées depuis l'époque précolombienne. Les abeilles Meliponine produisent sur toute la ceinture tropicale de la planète et présentent un potentiel immense pour la pollinisation contrôlée pour l'agriculture. Cependant, peu d'attention a été accordée à leur étude comme pollinisatrices (Roubik 1995).

### *Les pollinisateurs indigènes*

On connaît mal la signification et l'implication des abeilles indigènes dans la pollinisation des cultures (Kremen et al. 2002). Selon toute vraisemblance, une grande part du mérite accordé aux abeilles pour la pollinisation revient en réalité à d'autres espèces. Castro (2002) a étudié 32 espèces d'arbres fruitiers à Bahia, au Brésil, et a constaté que, bien que n'étant pas aussi abondantes que les autres espèces exotiques, les abeilles indigènes sans aiguillon (Apidae: Meliponinae) étaient importantes pour la pollinisation. Dans les paramètres *agronaturels*, paramètres agricoles situés dans ou conservant une partie du paysage naturel traditionnel, les pollinisateurs indigènes fournissent des « services gratuits » (Kremen et al. 2002). Toutefois, ces services ne sont pas vraiment gratuits, ils dépendent d'un écosystème sain qui fournit un habitat pour les espèces indigènes. Les abeilles non indigènes et d'autres espèces exotiques ont une influence notable sur les systèmes des pollinisateurs indigènes (Kremen et Ricketts, 2000).

### *Autres pollinisateurs contrôlés*

Les autres abeilles qui ne produisent pas de quantités exploitables de miel et qui sont élevées, ou qui pourraient être élevées comme des pollinisatrices, sont les abeilles découpeuses, les abeilles alkali, les abeilles de verger, les abeilles squash, les abeilles de bleuets et les abeilles charpentières. Ces abeilles ont été mentionnées préalablement pour leur rapport à des récoltes particulières. Crane (1990) a répertorié environ 50 espèces d'abeilles qui ont été gérées commercialement (très peu) ou expérimentalement pour la pollinisation. La valeur économique importante de certaines cultures a suscité l'intérêt dans le développement de pratiques de gestion appropriées pour leur bonne pollinisation. Le cas de la pollinisation de l'anacardier au Brésil (encadré 8.1) montre à quel point le processus peut être compliqué.

## La disparition des pollinisateurs

La disparition des pollinisateurs a progressé à cause de quatre activités humaines : l'utilisation de pesticides, destruction de l'habitat, la propagation des agents pathogènes et des parasites et la concurrence des anthophilles introduits.

### *Les pesticides*

Les dangers des pesticides, en particulier des insecticides, pour les pollinisateurs sont bien documentés et compris, en particulier en ce qui concerne l'abeille domestique européenne. Le problème des effets sublétaux qui réduisent la longévité et nuisent à la recherche de nourriture, à la mémoire et aux capacités de navigation de quelques abeilles sont moins compris et souvent négligés (MacKenzie, 1993). À partir de quelques études comparatives disponibles, il est évident que la toxicité des pesticides pour les abeilles est un mauvais indicateur des dangers menaçant d'autres espèces (Kevan, 1999).

La question des pesticides dans les milieux non agricoles et dans l'agroforesterie est plus complexe en raison de l'importance d'une plus grande diversité de pollinisateurs. Dans l'Est du Canada, l'utilisation du fénitrothion au Nouveau-Brunswick pour le contrôle des tordeuses des bourgeons de l'épinette (*Choristoneura fumiferana*) dans les forêts adjacentes aux bleuetières cause une telle réduction de l'abondance et de la diversité des pollinisateurs que la récolte de bleuets est tombée en dessous des niveaux statistiquement attendus (Kevan, 1999). Finnamore et Neary (1978) notent qu'environ 190 espèces d'abeilles indigènes du Canada sont associées au bleuet, qui a besoin de la pollinisation par les insectes. La récupération subséquente semble avoir eu lieu au cours de périodes de un à plus de sept ans, en fonction de la gravité des dommages (Kevan, 1999). Aujourd'hui, le potentiel de diversité et de reproduction des pollinisateurs de bleuets est réduit par l'utilisation d'herbicides qui tuent les espèces de remplacement pour les pollinisateurs lorsque les bleuets ne sont pas en fleur.

La plupart des problèmes liés aux pesticides sont provoqués par des accidents, la négligence dans l'épandage et l'utilisation abusive délibérée en dépit des avertissements et des recommandations des étiquettes (Johansen et Mayer, 1990). Comme les applications de pesticides deviennent plus réglementées et que les applicateurs sont tenus de prendre des cours de sécurité et d'utilisation avant d'avoir la certification, le problème devrait

**Encadré 8.1** Valeur économique de la noix de cajou (*Anacardium occidentale* L.) au Brésil et son besoin de pollinisation

L'anacardier (*Anacardium occidentale* L.) est un arbre andromonoïque originaire du nord-est du Brésil. Il est d'une grande importance économique pour la région en raison de ses noix, de son huile et de ses pommes de cajou. Une valeur de l'estimation économique de noix de cajou au Brésil par an donne les chiffres suivants:

Superficie totale des champs d'acajous à pommes	650,000 ha
Récolte annuelle totale de noix	126,000 tonnes
Valeur des exportations:	
Noix	135 millions \$
Huile de noix	91 millions \$
Valeur des produits (noix, huile et fruits):	
Au Brésil	54 millions \$

Toutefois, les rendements sont décevants dans des vergers commerciaux, et des études suggèrent qu'une pollinisation insuffisante pourrait en être la cause principale. La forme et la présentation des fleurs de cajou suggèrent qu'elles sont politisées par les insectes, en particulier par les abeilles. Bien que de nombreux insectes qui visitent les fleurs de cajou (à savoir les guêpes, les papillons et les mites) ont été cités comme pollinisateurs, ils ne parviennent pas à générer des fruits dans la plupart des cas, montrant clairement que visiteurs de fleurs et pollinisateurs ne sont pas synonymes. Seules les abeilles visitent et mettent en fleurs régulièrement les anacardiens dans le nord du Brésil. Deux espèces d'abeilles sont particulièrement efficaces dans la pollinisation des fleurs de cajou : l'abeille solitaire indigène *Centris tarsata* et les abeilles exotiques (*Apis mellifera*).

Mais, il y a deux côtés à l'insuffisance de la pollinisation adéquate des noix de cajou cultivées commercialement dans le nord du Brésil. D'un côté, il y a peu ou pas de visites aux fleurs de cajou cultivées aux vergers. L'*Apis mellifera* ne visite pas facilement les fleurs de cajou, même lorsqu'il est mis à l'intérieur des vergers en grand nombre en raison des fleurs concurrentes des mauvaises herbes. L'autre pollinisateur approprié, *C. tarsata*, est rare dans les vergers de noix de cajou commerciaux en raison de la perturbation des habitats et de l'absence de techniques d'élevage en grand nombre de ces races. La seconde face de ce déficit est sans doute liée à des pratiques horticoles dans lesquelles une souche partiellement autostérile est cultivée sur de grandes surfaces sans place accordée à la nécessité de sources de pollen compatible. Ce problème est exacerbé puisque de plus en plus de zones cultivées sont plantées ou replantées avec des clones nains. Une solution évidente consiste à intercaler des arbres qui produisent du pollen compatible au sein des rangées principales de culture, comme cela se fait dans les vergers de fruits à pépins. Les expériences de pollinisation manuelle menées en Australie et au Brésil ont identifié des types ou souches de noix de cajou croisées produisant des rendements plus élevés. Toutefois, il sera toujours nécessaire d'envisager l'élevage des abeilles pour les vergers d'acajou à pomme commerciaux, car elles seront nécessaires comme vecteurs de pollen compatible.

On peut en conclure que, pour améliorer les rendements des cultures de noix de cajou dans le nord-est du Brésil, un examen sérieux doit être mené à la fois sur la conservation et la gestion des pollinisateurs reconnus comme efficaces et à la conception de vergers mélangeant des souches d'acajous à pommes compatibles.

Lectures complémentaires sur la pollinisation de cajou au Brésil du Nord

Freitas, B. M. 1994. Beekeeping and cashew in north-eastern Brazil: The balance of honey and nut production. *Bee World* 75(4):160-168.

Freitas, B. M. and R. J. Paxton. 1998. A comparison of two pollinators: The introduced honey bee *Apis mellifera* and an indigenous bee *Centris tarsata* on cashew *Anacardium occidentale* in its native range of ne Brazil. *Journal of Applied Ecology* 35:109-121.

Freitas, B. M., R. J. Paxton, and J. P. Holanda- Neto. 2002. Identifying pollinators among an array of flower visitors, and the case of inadequate cashew pollination in ne Brazil. In P. Kevan and V. L. Imperatriz- Fonseca, eds., *Pollinating Bees: The Conservation Link Between Agriculture and Nature*, 229-244. Brasília, Brazil: Ministry of Environment.

Holanda- Neto, J. P., B. M. Freitas, D. M. Bueno, and Z. B. Araújo. 2002. Low seed/nut productivity in cashew (*Anacardium occidentale*): Effects of self-incompatibility and honey bee (*Apis mellifera*) foraging behaviour. *Journal of Horticultural Science & Biotechnology* 77(2):226-231.

Source: Freitas et al. (2002).

s'atténuer. Des méthodes telles que la non-pulvérisation des plantes en fleurs ou la pulvérisation lorsque les pollinisateurs ne butinent pas sont des approches relevant du bon sens pour réduire les problèmes liés aux applications de pesticides, même lorsque la réglementation est faible.

### *Destruction de l'habitat*

La destruction de l'habitat affecte les populations de pollinisateurs de trois façons, comme les populations de tout organisme : la destruction des sources de nourriture, la destruction des sites de nidification ou de ponte, et la destruction des sites de repos ou de reproduction. Les moyens les plus répandus de destruction des habitats sont la création de monocultures, le surpâturage, le défrichement et l'irrigation.



La destruction des sources de nourriture dans les zones agricoles est bien illustrée par les exemples de suppression de la végétation qui fournit la nourriture des pollinisateurs lorsque les cultures ne sont pas en fleurs (Kevan, 2001). Très souvent, la végétation enlevée est considérée comme indésirable, comme de mauvaises herbes ou des plantes concurrentes pour les plantes cultivées, mais elle est précieuse pour les pollinisateurs et d'autres insectes utiles. Les pulvérisations d'herbicides de passage et au bord des routes peuvent réduire la diversité et l'abondance des approvisionnements alimentaires de remplacement pour les pollinisateurs.

La destruction des sites de nidification et de ponte a été documentée dans les années 1950 au Manitoba pour la disparition des populations d'abeilles découpeuses, qui ont été laissées sans sites de nidification dans les souches et les troncs au moment du développement des champs de luzerne pour la production de semences (Stephen 1955). En Europe, le déclin des bourdons eut lieu alors que les surfaces de haies et d'autres zones non cultivées ont diminué (Corbet et al. 1991). Sous les tropiques, la pollinisation insuffisante du cacao par les moucherons dans les plantations est liée à la perte des substrats de ponte (exemple végétation en décomposition), qui avaient été trop méticuleusement enlevés (Winder, 1977). En Malaisie, du substrat supplémentaire de troncs de palmiers en décomposition est prévu pour augmenter les populations de pollinisateurs (Kevan, 1999).

Les manipulations de l'habitat liées à l'agriculture affectent souvent négativement sur la disponibilité à la fois des sources de nourriture et des sites de nidification, ce qui crée un double problème pour les pollinisateurs indigènes. Cela se remarque particulièrement dans les populations de pollinisateurs qui sont établis à long terme, telles que les colonies de bourdons. Les parties du monde en développement, comme l'Afrique, sont confrontées aux mêmes problèmes de ressources de pollinisation à mesure que les habitats sont manipulés à des fins agricoles. L'industrie horticole du Kenya, décrit dans l'encadré 8.2 est juste un des nombreux exemples de la façon dont les habitats sauvages augmentent la vigueur et la persistance des services des pollinisateurs naturels.

La question générale de la destruction de l'habitat pour les pollinisateurs a suscité l'inquiétude sur une large échelle. L'article « The Deflowering of America » de Daniel Janzen (1974), illustre le problème. Il pointe le cercle vicieux de diminution de la végétation pour les pollinisateurs, de diminution de la pollinisation pour la végétation, de disparition du succès reproductif des plantes et de réduction des semences et des mises à fruit, ce qui entraîne l'échec de la restauration du couvert végétal avec le même niveau de la biodiversité qui existe par ailleurs.

## Encadré 8.2 L'habitat sauvage fournit des services de pollinisation aux cultures horticoles du Kenya

De nombreuses régions du Kenya sont transformées de zones naturelles en fermes et champs produisant des cultures horticoles, en grande partie pour l'exportation. Même les ranchs collectifs des communautés largement pastorales, comme les Masai, commencent à participer à ce marché.

Au ranch collectif Ol Kirimatian, au sud-ouest de Nairobi et au-delà du lac Magadi, de petites rivières descendant de l'escarpement du Nguruman ont été dirigées pour l'irrigation de sillons ouverts, permettant la production de cultures horticoles. Les terres étant converties en terres cultivées sont en grande partie des forêts d'*Acacia tortilis* riveraines. Les cultures horticoles sont cultivées toute l'année pour le marché et sont achetées par des intermédiaires, qui transportent les productions à l'aéroport pour les vendre peu après sur les marchés à Londres et ailleurs en Europe.

Beaucoup de cultures horticoles cultivées à Ol Kirimatian ont besoin ou bénéficient de services de pollinisation, comme l'aubergine, le gombo et la courge amère. Dans le cas de l'aubergine, la récolte peut être entièrement tributaire de pollinisateurs indigènes, en particulier ceux qui pratiquent la pollinisation vibratile, en mordant la fleur et en faisant vibrer les muscles de leurs ailes à une certaine fréquence, de sorte que le pollen s'envole des petits pores de la fleur et peut être porté à une autre fleur pour produire des fruits. Les abeilles domestiques ne pratiquent pas la pollinisation vibratile, mais deux espèces d'abeilles solitaires qui existent à l'état sauvage dans les forêts coupées pour l'exploitation agricole sont des pollinisateurs très efficaces. L'une est l'abeille charpentière, nichant dans le vieux bois ; l'autre est une abeille qui niche au sol appelé *Macronomia rufipes*. Les abeilles ne récoltent que le pollen de l'aubergine, qui ne produit pas de nectar. Par conséquent, elles ne peuvent pas vivre exclusivement sur des terres agricoles et utilisent différentes ressources le long des chemins agricoles et dans les parcelles de forêt qui n'ont pas encore été coupées. Les milieux naturels autour des terres agricoles ont été étudiés pour notifier à quel point les pollinisateurs des cultures utilisent les ressources florales dans ces habitats sauvages. Durant la plupart des mois, les pollinisateurs principaux de l'aubergine utilisaient les ressources florales trouvées dans les fermes, surtout les mauvaises herbes rudérales le long des chemins agricoles. Mais au cours du mois le plus sec, avant l'arrivée des pluies, ces pollinisateurs de l'aubergine sont plus présents qu'à tout autre moment dans les petits restes de forêts riveraines d'*Acacia tortilis* et ont utilisé davantage leurs ressources florales.

On pourrait faire valoir que l'habitat sauvage ne fournit pas la majorité des services de pollinisation. Mais si les pollinisateurs ne disposent pas des ressources florales alternatives de l'habitat sauvage (peut-être uniquement pendant les périodes les plus sèches), ils ne pourraient pas être capables de persister dans cet écosystème par ailleurs aride et marginal. Le coût d'opportunité, de la préservation de cet habitat sauvage au milieu des champs, dépendra sans aucun doute de sa valorisation à plusieurs titres, y compris des semences fourragères

*Encadré 8.2, suite à la page suivante*

*Encadré 8.2, suite*

d'Acacia tortilis pour les chèvres, par rapport aux revenus potentiels de sa conversion à la production agricole. Sa valeur ajoutée en tant qu'habitat pour les pollinisateurs des cultures peut contribuer à faire pencher la balance en faveur de la préservation de certains habitats sauvages dans un paysage en développement agricole.

*Source:* Barbara Gemmill, African Pollination Initiative, Nairobi, and Alfred Ochieng, University of Nairobi Department of Botany.

### *Parasites et agents pathogènes*

Les acariens en tant que parasites des abeilles domestiques ont suscité une inquiétude majeure dans le monde entier alors que la mite trachéenne (*Acarapis woodi*) et le varroa des abeilles (*Varroa jacobsoni*) se sont propagés à un rythme alarmant (Needham et al 1988 ; Connor et al 1993.). Il a été suggéré que de nombreux petits apiculteurs et apiculteurs amateurs ont abandonné leurs activités en raison de la complexité supplémentaire de l'élevage des abeilles causée par la surveillance des acariens et de leur contrôle une fois détectés. Le nombre de colonies sauvages d'abeilles domestiques a diminué de manière significative lorsque les infestations d'acariens sont devenues monnaie courante à travers les États-Unis. Les effets combinés des pertes des apiculteurs amateurs et des colonies sauvages nuisent déjà à la pollinisation dans les milieux ruraux et urbains, comme prévu il y a quelques années (Kevan, 1999). En outre, la lutte chimique contre les acariens n'est pas envisageable pour les producteurs de miel pur en raison de la contamination potentielle de l'alimentation humaine et des autres produits de la ruche.

Les maladies peuvent provoquer des pertes graves si elles ne sont pas bien régulées par la surveillance et le traitement. Pour l'apiculture de l'abeille européenne, la loque américaine, une maladie bactérienne des larves, est la plus grave. Les autres maladies du couvain, comme la loque européenne (bactérienne), le chalkbrood (fongique) et le couvain sacciforme (viral), sont moins problématiques. La seule maladie des abeilles européennes adultes qui soit préoccupante est la dysenterie (protozoaire *Nosema*). Pour l'abeille asiatique de ruche, la maladie virale du couvain sacciforme thaï a causé des pertes généralisées à mesure que les épidémies

ont balayé certaines régions d'Asie et a été suivie par la résistance et le rétablissement des populations (Kevan, 1995).

Les abeilles découpeuse souffrent aussi de maladies. La plus importante est la maladie fongique chalkbrood (causée par *Ascosphaera aggregata*) de l'abeille découpeuse de luzerne (*Megachile rotundata*) (Vandenberg et Stephen, 1982). Des installations de diagnostic ont été établies dans certaines régions (par exemple, l'ouest du Canada) puisque ces abeilles sont les pollinisateurs les plus importants de la luzerne. Le contrôle de cette maladie demande une gestion prudente et la fumigation des matériaux de nidification infestés par l'agent pathogène (Goettel et al. 1993).

### *Interactions compétitives*

Les interactions concurrentielles entre les pollinisateurs les plus étudiées, puisqu'ils concernent la pollinisation, sont les effets de l'abeille africanisée sur les pollinisateurs indigènes et sur les races européennes d'abeilles en Amérique centrale et Amérique du Sud (Roubik 1978) souligne d'abord la réduction apparente des populations d'abeilles indigènes en Amérique centrale après l'invasion par l'abeille africanisée. Par la suite, il a placé le phénomène dans un contexte plus large (Roubik 1989), mais la question des interactions concurrentielles des abeilles africanisées avec pollinisateurs indigènes en Amérique centrale et Amérique du Sud reste complexe. Il semble qu'aucune des espèces indigènes n'a disparu à cause des interactions compétitives avec les abeilles exotiques.

En Australie, il y a récemment eu un débat sur les effets des races d'abeilles européennes introduites au sein de la flore et de la faune indigènes de pollinisateurs. Paton (1993) a conclu qu'il existe une justification à cette inquiétude puisque les abeilles européennes ont réduit la pollinisation de certaines plantes indigènes, particulièrement celles qui sont pollinisées par des oiseaux, en supprimant le nectar recherché par ces derniers et entraînant ainsi des changements dans leurs populations et habitudes alimentaires. Sugden et Pyke (1991) ont conclu que la concurrence avec les abeilles domestiques a fait baisser les populations d'abeilles indigènes (par exemple l'*Exoneura asimillima*). La question des effets des abeilles européennes sur les insectes pollinisateurs indigènes n'est pas si claire du côté botanique, mais les mêmes tendances sont manifestes en ce qui concerne les abeilles indigènes. La séquence des événements est la suivante:

1. Les abeilles domestiques repoussent les pollinisateurs indigènes en supprimant les ressources florales.

2. Les abeilles domestiques ne sont pas en mesure de polliniser les fleurs auxquelles elles prennent les ressources.
3. Les plantes ne parviennent ensuite pas à se reproduire sexuellement ou totalement et leurs populations diminuent.
4. Les populations réduites restantes de pollinisateurs indigènes diminuent encore.

Les bourdons élevés commercialement sont une composante importante de la production de tomates de serres (Kevan, 1999). Au moins trois espèces indigènes régionales sont utilisées: *Bombus terrestris* L. en Europe, *B. impatiens* Cresson dans l'est de l'Amérique du Nord et *B. occidentalis* Greene dans l'ouest de l'Amérique du Nord. Les introductions planifiées d'espèces d'abeilles non indigènes doivent être traitées avec grand soin, en portant une attention particulière à la quarantaine et, plus important encore, aux conséquences écologiques de fuites, qui sont inévitables. Déjà, les bourdons européens ont été introduits en Nouvelle-Zélande, Chili, Tasmanie, Japon et peut-être en Argentine (en 1993 ou 1994), le plus souvent sans examen approprié. Dafni et Shmida (1996) expriment également des doutes au sujet de l'impact de *Bombus terrestris* sur la faune anthophile et sur la pollinisation de la flore du mont Carmel en Israël. En Indonésie, l'introduction de l'abeille asiatique (*Apis cerana*) à l'ouest des lignes de Wallace et de Wegener en Irian Jaya a entraîné la propagation de cette abeille à la Papouasie Nouvelle-Guinée voisine, d'où elle menace maintenant de s'étendre à l'Australie. Les conséquences de telles introductions sur la diversité naturelle et sur l'abondance des pollinisateurs indigènes, et par conséquent sur la flore indigène, n'ont pas été évaluées.

### *Protection et promotion*

La protection des pollinisateurs indigènes est essentielle pour une productivité globale durable. La destruction des habitats, des sites de nidification aux sources d'alimentation (Janzen 1974), est un enjeu majeur. Les maladies exotiques menacent la santé des races d'abeilles indigènes et leur activité pollinisatrice en Afrique. Bien que l'impact des pesticides soit en baisse en importance en Amérique du Nord et que l'utilisation d'insecticides diminue dans l'agriculture européenne, elle reste très importante ailleurs. L'interaction compétitive des visiteurs de fleurs semble importante en Amérique tropicale et subtropicale et en Australie.

## Autres anthophiles

De nombreux anthophiles ne sont pas importants comme pollinisateurs, mais les ressources florales sont importantes dans leur vie. D'autres insectes visiteurs de fleurs sont également précieux, en particulier les prédateurs et les parasitoïdes, qui sont importants pour le contrôle des populations d'insectes nuisibles dans tous les environnements. Les agents de lutte biologique représentent un groupe particulièrement précieux d'insectes dans les écosystèmes agricoles. Leius (1967) a montré que l'incidence du parasitisme ichneumonoïde du carpocapse dans les vergers de pommiers était plus grande si les ressources florales, telles que les mauvaises herbes, sont disponibles dans les vergers. Syme (1975) a également noté l'importance des ressources florales pour les agents de lutte biologique dans les forêts. En fait, il y a longtemps, il a été suggéré que l'échec dans l'établissement d'agents de lutte biologique potentiellement utiles contre les scarabées japonais a été causé au moins partiellement par le manque de ressources florales (King et Holloway 1930). Il est certain que les quelques succès remportés en termes d'effet des agents de lutte biologique naturelle des insectes sur les pestiférés des systèmes agricoles à faibles intrants devraient être attribués à la disponibilité des ressources florales (voir Kevan, 1999).

### *Systèmes de culture, durabilité et biodiversité*

L'agriculture est en pleine mutation dans le monde entier. En Amérique du Nord et en Europe, certaines terres ne sont plus utilisées pour l'agriculture (Corbet 1995), tandis que d'autres terres sont cultivées de manière plus intensive. Dans d'autres cas, plus respectueux de l'environnement, des pratiques utilisant peu d'intrants, tels que l'agriculture biologique et la culture sans labour, sont utilisées (Johnston et al 1971 ; Gess et Gess 1993). Ces tendances, couplées à une réduction de l'utilisation des pesticides, sont globalement bonnes pour les pollinisateurs et la pollinisation. Cependant, aucune planification écologiquement appropriée de ces changements dans l'usage des terres n'est mise en œuvre, et la place cruciale des pollinisateurs est largement ignorée.

Dans le monde en développement, l'expansion de l'agriculture, l'augmentation de la monoculture, l'intensification des systèmes de culture, l'utilisation croissante de produits chimiques et une rapide détérioration des espaces naturels sont autant de problèmes graves. Le cas des vallées de pommiers de la région himalayenne de l'Hindu Kush est un exemple frappant de la nécessité de prêter attention à des systèmes de pollinisation

pour l'obtention d'une industrie et d'un écosystème sains (encadré 8.3). Le manque d'informations adéquates sur les rôles et la biodiversité des pollinisateurs et leur déclin dans les systèmes naturels et agricoles sont alarmants. Bien que la situation dans ces pays soit désastreuse et que les efforts de l'Institut international de recherches apicoles, à travers leur série continue de conférences sur l'apiculture tropicale, aient un certain impact (Kevan 2001), la pollinisation continue d'être un domaine négligé. Une compréhension de l'écologie de la pollinisation conduit à une meilleure économie agricole grâce à des rendements meilleurs et plus durables, ce qui conduit à de meilleures conditions de vie pour les personnes concernées (figure 8.2).

## Bioindicateurs

Les bioindicateurs sont des organismes qui indiquent, par leur présence (abondance) ou leur absence, les activités en cours dans l'écosystème. Les espèces de bioindicateurs sont habituellement utilisées pour diagnostiquer des problèmes. Il y a des indicateurs d'eaux anaérobiques, d'eutrophisation rapide, de pollution et de pesticides. Ils peuvent également indiquer l'amélioration d'une situation ou même suggérer que les activités dans un écosystème sont en ligne avec les attentes, dans des limites normales. Dans ce dernier cas, les espèces utilisées peuvent être des indicateurs de certains aspects de la santé écosystémique.

### *Les produits agrochimiques*

Les pollinisateurs, en particulier les abeilles, sont souvent tués en grand nombre par les insecticides. Ils peuvent également accumuler d'autres pesticides dans leur corps et leurs nids. Les techniques analytiques, pour la détection de résidus de pesticides, sont bien développées de sorte que les abeilles et les produits de la ruche peuvent être utilisés pour mesurer les pesticides dans l'environnement. Le plus souvent, les résidus toxiques sont analysés afin de déterminer la cause probable de la mortalité des abeilles et les risques des pesticides pour les pollinisateurs plutôt qu'à des fins de surveillance de l'environnement.

### *Les polluants*

Les abeilles ont été très souvent étudiées en tant que moyen pour surveiller les polluants. Le miel et le pollen peuvent être contaminés par divers

### Encadré 8.3 Signaux d'alerte des vallées de pommiers de la région himalayenne de Hindu Kush

Les pommes sont devenues la principale culture commerciale dans plusieurs zones de la région himalayenne de Hindu Kush (HKH), aidant ainsi grandement de nombreux agriculteurs à sortir de la pauvreté. Elles peuvent représenter entre 60 et 80% du revenu total d'un ménage. De plus, des études indiquent que dans les zones où les pommes sont cultivées, il y a maintenant de la sécurité alimentaire et un bien-être économique. La production totale annuelle estimée de l'HKH de 2,2 millions de tonnes de pommes a contribué à générer un revenu de plus de 500 millions de dollars par an, pour ceux qui sont impliqués dans l'agriculture et la commercialisation des pommes.

Cependant, le potentiel d'amélioration est tout aussi important : le rendement moyen des pommes dans la région HKH (2.5 à 12.9 tonnes/ha) est faible et en déclin. Des problèmes de pollinisation et de fertilisation insuffisants causés par le manque d'insectes pollinisateurs et les intempéries ont été identifiés comme la cause la plus importante de la baisse de la productivité dans les enquêtes de terrain réalisées par le Centre international pour le développement intégré des montagnes.

Deux principaux facteurs contribuent au manque de pollinisation. La plupart des variétés commerciales de pommes plantées par les agriculteurs de la région HKH sont auto-incompatibles et ont besoin d'une pollinisation croisée avec une variété pollinisatrice compatible. De nombreux agriculteurs ne comprennent pas cela ou ne sont pas disposés à consacrer des terres à des variétés de pollinisateurs qui ont une faible valeur marchande. Au total, plus de la moitié des agriculteurs dans les zones de l'étude ont moins du minimum de 20% de variétés de pollinisateurs nécessaires dans leurs vergers, la plupart n'en ayant que 7% à 12%.

Ces dernières années, la diversité et l'abondance des insectes pollinisateurs naturels sont à la baisse pour plusieurs raisons, dont la perte de nourriture et d'habitats de nidification causée par le défrichage des forêts et des prairies à des fins agricoles et l'utilisation sans discernement de pesticides. La majorité des agriculteurs identifient l'utilisation des pesticides comme la principale cause de perte d'insectes pollinisateurs naturels. Il est également envisagé que l'augmentation de la superficie des vergers a joué un rôle, avec des populations naturelles d'insectes trop faibles pour polliniser les grandes zones nouvellement mises en culture.

Dans deux des zones étudiées au HKH (Himachal Pradesh en Inde et la vallée Maoxian en Chine), la productivité a chuté si sévèrement que les agriculteurs et les institutions ont été contraints de rechercher une solution. C'est dans ces régions que le problème de la pollinisation insuffisante a été d'abord reconnu. C'est aussi là que les agriculteurs et les institutions ont commencé à étudier et à tester des options de gestion de la pollinisation.

Grâce aux efforts des institutions gouvernementales, la majorité des producteurs de pommes dans l'Himachal Pradesh sont maintenant bien informés du problème de pollinisation des pommes et des facteurs responsables. Ils essaient

*Encadré 8.3, suite à la page suivante*



Encadré 8.3, suite

différentes façons d'améliorer la pollinisation. Les efforts de gestion consistent en la plantation de différentes variétés de pollinisateurs, l'accroissement de la proportion d'arbres pollinisateurs et l'augmentation du nombre d'insectes pollinisateurs dans les vergers, y compris une plus grande utilisation des colonies d'abeilles domestiques.

Une approche différente est mise en place dans le comté de Maoxian en Chine, où la pollinisation manuelle des pommes est devenue une pratique courante. Comme les vergers sont petits, les familles tentent de les féconder elles-mêmes en formant tous les membres de la famille, ce qui en fait un effort communautaire. Les agriculteurs peuvent également s'entre-aider ou recruter des ouvriers pour polliniser leurs vergers de pommiers. Ces travailleurs ont été appelés «abeilles humaines», parce qu'ils font le travail qui serait autrement fait par les abeilles. L'avantage est que moins d'arbres pollinisateurs doivent être plantés, utilisant ainsi les rares terres pour produire un maximum de variétés commerciales de fruits.

Source: Uma Partap, International Centre for Integrated Mountain Development.

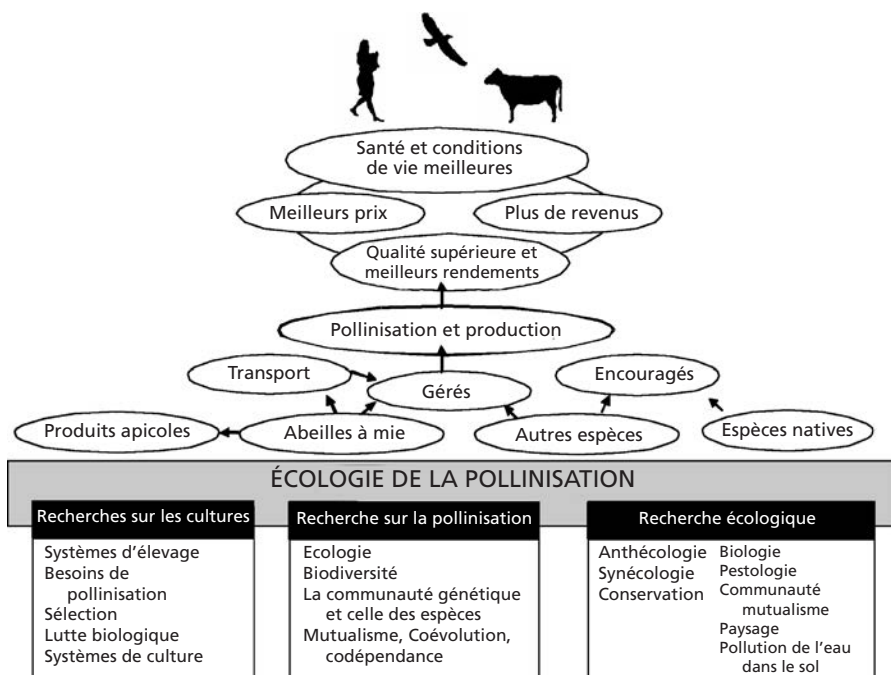


FIGURE 8.2. Une bonne compréhension de l'écologie de la pollinisation est la base des décisions conscientes et appropriées dans les systèmes de production. Par association, cette compréhension conduit à une meilleure santé et une meilleure vie pour toutes les parties impliquées.

polluants industriels. La libération d'arsenic et de cadmium peut provoquer une hécatombe parmi les abeilles et contaminer le pollen, mais pas le nectar (Krunic et al. 1989). L'accumulation de radio-isotopes dans le miel et le pollen, après la catastrophe de Tchernobyl en avril 1986, illustre l'utilité des colonies d'abeilles comme les échantillonneurs de qualité de l'environnement local, régional, et mondial (Bunzl et al 1988 ; Ford et al 1988.). Les abeilles permettent également d'échantillonner les fluorures (Dewey 1973), les métaux lourds (Stein et Umland 1987) et les composés organiques (Anderson et Wojtas 1986; Morse et al, 1987) à travers le nectar, le pollen et leurs propres corps. Les abeilles ont été préconisées comme bioindicateurs dans les milieux naturels, agricoles, industriels et urbains. Mais, en dépit de leur utilité reconnue, des programmes pour leur utilisation comme biomoniteurs ne semblent pas avoir été mis en place (Kevan 1999, 2001).

Bromenshenk et al. (1991) ont abordé le problème des dynamiques de population chez les abeilles à l'égard de la pollution et ont ainsi élargi les préoccupations pour la santé des pollinisateurs, au-delà des dangers des pesticides. Peu d'informations sont disponibles sur les effets des polluants sur les autres pollinisateurs. Les données de Dewey (1973) montrent que les plus hauts niveaux de fluorure, associée à une usine de production d'aluminium par électrolyse, ont été trouvés chez les insectes visiteurs de fleurs (des bourdons aux papillons et syrphes). Le dioxyde de soufre réduit l'activité des pollinisateurs, notamment des abeilles et des abeilles de la sueur mâles (*Lasioglossum zephyrum*), mais ne peut pas les tuer (Ginevan et al. 1980).

### *Stress et santé de l'écosystème*

L'idée que les concepts de santé peuvent être appliqués aux écosystèmes n'est pas nouvelle, mais elle a du mal à se faire accepter, parce qu'il y a des problèmes quant à la façon dont une telle forme de santé devrait être mesurée (voir chapitre 18). Un des concepts unificateurs en écologie est celui de l'exclusion compétitive et les hiérarchies de niche, comme convenu par les niveaux de chevauchement. Sugihara (1980) a fait valoir que dans les communautés complexes d'organismes, les espèces occupent une hiérarchie de niches avec des chevauchements partiels. Le résultat théorique d'une telle disposition, compte tenu également des contraintes physiques d'un environnement, est la relation log-normale bien connue entre la diversité des espèces et leur abondance. Nous acceptons de Sugihara (1980) l'argument de la signification biologique derrière la relation log-

normale. Les interactions animales et végétales dans la pollinisation ont permis d'avancer certaines généralisations sur la structure et la dynamique des communautés écologiques. Par conséquent, il a été incorporé dans une mesure de la santé écosystémique qui implique les pollinisateurs.

Kevan et al. (1997) ont avancé l'hypothèse que dans les environnements perturbés par les insecticides des bleuetières du sud et du centre du Nouveau-Brunswick de 1970 à 1975, la relation log-normale de la diversité des espèces et de l'abondance des abeilles pollinisatrices serait perturbée. Nous avons testé cette hypothèse avec les données de l'est, du centre et du sud-ouest du Nouveau-Brunswick durant deux périodes : les années où l'insecticide fenitrothion était appliqué dans la partie centrale de la zone et les années après la fin de son application dans le voisinage des champs de bleuets. Presque tous nos recueils de données ont été log-normaux. Les exceptions étaient les données du centre du Nouveau-Brunswick prises au cours des années d'utilisation de fenitrothion. Nous avons supposé que le manque de log-normalité dans cette zone indiquait sa mauvaise santé.

## Conclusion

La conservation des abeilles à miel, ainsi que d'autres abeilles domestiques, abeilles sauvages et autres pollinisateurs est une question importante dans le contexte global de la productivité agricole durable et naturelle. Il est curieux que, bien que les pollinisateurs majeurs pour de nombreuses cultures des zones tempérées du monde soient connus, les relations quantitatives entre populations de pollinisateurs, activités et densité de plantes et de fleurs et les semences ainsi obtenues soient largement inconnues. Les pollinisateurs de nombreuses cultures tropicales sont mal identifiés, inconnus ou supposés être les abeilles. En outre, les systèmes de reproduction de nombreuses plantes cultivées tropicales sont inconnus ou mal compris. Il est important que les apiculteurs élargissent leur horizon pour adopter l'élevage d'abeilles non productrices de miel et saisissent l'importance des autres pollinisateurs dans l'agriculture. Dans une ère de préoccupations accrues sur la durabilité de l'environnement mondial et la conservation de la biodiversité, l'importance de la pollinisation et les processus qui l'affectent englobent un large éventail de questions interdépendantes. Le besoin de conservation, d'approches novatrices de gestion et de recherches biologiques fondamentales doit être pleinement reconnu par les biologistes, les écologistes, les agriculteurs et le grand public dans

le nouvel esprit de durabilité environnementale mondiale et de conservation de la biodiversité.

## Remerciements

Nous remercions tous nos collègues pour leur générosité dans le partage des idées. Nous sommes reconnaissants pour tout le travail réalisé qui a nécessité la collecte et le rassemblement des connaissances qui existent sur les pollinisateurs et leur conservation. Nous remercions également la Convention sur la diversité biologique pour son soutien.

## Références

- Anderson, J. and M. A. Wojtas. 1986. Honey bees (Hymenoptera: Apidae) contaminated with pesticides and polychlorinated biphenyls. *Journal of Economic Entomology* 79:1200-1205.
- Banda, H. J. and R. J. Paxton. 1991. Pollination of green house tomatoes by bees. *Acta Horticultura* 288:194-198.
- Breno, M. F., R. J. Paxton, and J. P. de Holanda- Neto. 2002. Identifying pollinators among an array of flower visitors, and the case of inadequate cashew pollination in NE Brazil. In P. G. Kevan and V. L. Imeratriz- Fonseca, eds., *Pollinating Bees: The Conservation Link Between Agriculture and Nature*, 229-244. Brasilia- DF, Brazil: Ministry of the Environment.
- Bromenshenk, J. J., J. L. Gudatis, S. R. Carlson, J. M. Thomas, and M. A. Simmons. 1991. Population dynamics of honey bee nucleus colonies exposed to industrial pollutants. *Apidologie* 22:359-369.
- Buchmann, S. E. 1983. Buzz pollination in angiosperms. In C. E. Jones and R. J. Little, eds., *Handbook of Experimental Pollination Biology*, 73-113. New York: Van Nostrand Reinhold.
- Buchmann, S. E. and G. P. Nabhan. 1996. *The Forgotten Pollinators*. Washington, DC: Island Press.
- Bunzl, K., W. Kracke, and G. Vorwohl. 1988. Transfer of Chernobyl- derived <sup>134</sup>Cs, <sup>137</sup>Cs, <sup>131</sup>I, and <sup>103</sup>Ru from flowers to honey and pollen. *Journal of Environmental Radioactivity* 6:261-269.
- Cane, J. H. and J. A. Payne. 1988. Foraging ecology of *Habropoda laboriosa* (Hymenoptera: Anthophoridae), and oligolege of blueberries (Ericaceae: *Vaccinium*) in south- eastern United States. *Annals of Entomology* 81:419-427.

- Cane, J. H. and J. A. Payne. 1990. Native bee pollinates rabbiteye blueberry. *Highlights in Agricultural Research, Alabama Agricultural Research Station* 37(4):4.
- Castro, M. S. 2002. Bee fauna of some tropical and exotic fruits: Potential pollinators and their conservation. In P. G. Kevan and V. L. Imperatriz- Fonseca, eds., *Pollinating Bees: The Conservation Link Between Agriculture and Nature*, 275–288. Brasilia- DF, Brazil : Ministry of the Environment.
- Connor, L. J., T. Rinderer, H. A. Sylvester, and S. Wongsiri, eds. 1993. Asian apiculture. In *Proceedings of the First International Conference on the Asian Honey Bees and Bee Mites*, 8. Cheshire, ct: Wicwas Press.
- Corbet, S. A. 1995. Insects, plants and succession: Advantages of long- term set- aside. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 53:201–217.
- Corbet, S. A., I. H. Williams, and J. L. Osborne. 1991. Bees and the pollination of crops and wild flowers in the European Community. *Bee World* 72:47–59.
- Crane, E. 1990. *Bees and Beekeeping: Science, Practice and World Resources*. Oxford, UK: Heinemann Newnes.
- Dafni, A. and A. Shmida. 1996. The possible ecological implications of the invasion of *Bombus terrestris* (L.) (Apidae) at Mt Carmel, Israel. In A. S. L. Matheson, C. Buchmann, P. O'Toole, P. Westrich, and I. H. Williams, eds., *The Conservation of Bees*, 183–200. Linnean Society Symposium Series Number 18. London : Academic Press.
- Dewey, J. E. 1973. Accumulation of fluorides by insects near an emission source in western Montana. *Environmental Entomology* 2:179–182.
- Finnamore, B. and M. A. Neary. 1978. Blueberry pollinators of Nova Scotia, with a check list of the blueberry pollinators of eastern Canada and northeastern United States. *Annales de la Société Entomologique de Québec* 23:161–181.
- Ford, B. C., W. A. Jester, S. M. Griffith, R. A. Morse, R. R. Zall, D. M. Burgett, F. W. Bodyfelt, and D. J. Lisk. 1988. Cesium- 134 and cesium- 137 in honey bees and cheese samples collected in the US after the Chernobyl accident. *Chemosphere* 17:1153–1157.
- Free, J. B. 1993. *Insect Pollination of Crops*, 2nd ed. London: Academic Press.
- Freitas, B. M., R. J. Paxton, and J. P. Holanda- Neto. 2002. Identifying pollinators among an array of flower visitors, and the case of inadequate cashew pollination in NE Brazil. In P. Kevan and V. L. Imperatriz- Fonseca, eds., *Pollinating Bees: The Conservation Link Between Agriculture and Nature*, 229–244. Brasília, Brazil: Ministry of Environment.
- Gess, F. W. and S. K. Gess. 1993. Effects of increasing land utilization on species representation and diversity of aculeate wasps and bees in the semi- arid areas of southern Africa. In J. Lasalle and I. D. Gauld, eds., *Hymenoptera and Biodiversity*, 83–114. Wallingford, UK: CAB International.

- Ginevan, M. E., D. D. Lane, and L. Greenberg. 1980. Ambient air concentration of sulfur dioxide affects flight activity in bees. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA* 77:5631-5633.
- Goettel, M. S., K. W. Richards, and D. W. Goerzen. 1993. Decontamination of *Ascosphaera aggregata* spores from alfalfa leafcutting bee (*Megachile rotundata*) nesting material by fumigation with paraformaldehyde. *Bee Science* 3(1):22-25.
- Graham, J. M. 1992. *The Hive and the Honey Bee*. Hamilton, IL: Dadant & Sons.
- Inouye, D. W. 1980. The terminology of floral larceny. *Ecology* 61:1251-1253.
- Janzen, D. H. 1974. The deflowering of America. *Natural History* 83:48-53.
- Johansen, C. A. and D. F. Mayer. 1990. *Pollinator Protection. A Bee and Pesticide Handbook*. Cheshire, CT: Wicwas Press.
- Johnston, A., J. F. Dormaar, and S. S. Smoliak. 1971. Long-term grazing effects on fescue grassland soils. *Journal of Range Management* 24:185-188.
- Kevan, P. G., ed. 1995. *The Asiatic Hive Bee: Apiculture, Biology, and Role in Sustainable Development in Tropical and Subtropical Asia*. Cambridge, ON, Canada: Enviroquest Limited.
- Kevan, P. G. 1999. Pollinators as bioindicators of the state of the environment: Species, activity and diversity. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 74:373-393.
- Kevan, P. G. 2001. Pollination: A plinth, pedestal and pillar for terrestrial productivity. The why, how and where of pollination protection, conservation and promotion. In C. S. Stubbs and F. A. Drummond, eds., *Bees and Crop Pollination: Crisis, Crossroads, Conservation*, 7-68. Lanham, MD: Entomological Society of America.
- Kevan, P. G., C. F. Greco, and S. Belaoussoff. 1997. Log-normality of biodiversity and abundance in diagnosis and measuring of ecosystemic health: Pesticide stress on pollinators on blueberry heaths. *Journal of Applied Ecology* 34:1122-1136.
- King, J. L. and J. K. Holloway. 1930. *Tiphia popillivora* Rohwer, a Parasite of the Japanese Beetle. U.S. Department of Agriculture Circular No. 145. Washington, DC: U.S. Government Printing Office.
- Kremen, C. and T. Ricketts. 2000. Global perspective on pollination disruptions. *Conservation Biology* 14:1226-1228.
- Kremen, C., N. M. Williams, and R. W. Throp. 2002. Crop pollination from native bees at risk from agricultural intensification. *PNAS* 99:16812-16816.
- Krunic, M. D., L. R. Terzic, and J. M. Kulinčević. 1989. Honey resistance to air contamination with arsenic from a copper processing plant. *Apidologie* 20:251-255.
- Leius, K. 1967. Influence of wild flowers on parasitism of tent caterpillar and codling moth. *Canadian Entomologist* 99:444-446.
- MacKenzie, K. E. 1993. Honey bees and pesticides: A complex problem. *Vector Control Bulletin of the North Central States* 1(2):123-136.

- Mardan, M., I. M. Yatim, and M. R. Khalid. 1991. Nesting biology and foraging activity of carpenter bee on passion fruit. *Acta Horticultura* 288:127-132.
- Maues, M. M. 2002. Reproductive phenology and pollination of the Brazil nut tree (*Bertholletia excelsa* Humb. & Bonl. Lecythidaceae) in eastern Amazonia. In P. G. Kevan and V. L. Imeratriz- Fonseca, eds., *Pollinating Bees: The Conservation Link Between Agriculture and Nature*, 245-254. Brasilia- DF, Brazil : Ministry of the Environment.
- Morse, R. A., T. W. Culliney, W. H. Gutenmann, C. B. Littman, and D. J. Lisk. 1987. Polychlorinated biphenyls in honey bees. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* 38:271-276.
- Needham, G. R., R. E. Page, M. Delfi nado- Baker, and C. E. Bowman, eds. 1988. *Africanized Honey Bees and Bee Mites*. Chichester, England : Ellis Harwood, Ltd.
- Paton, D. C. 1993. Honeybees in the Australian environment. *BioScience* 43:95-103.
- Richards, K. W. 1993. Non-*Apis* bees as crop pollinators. *Revue Suisse de Zoologie* 100:807-822.
- Roubik, D. W. 1978. Competitive interactions between neotropical pollinators and Africanized honeybees. *Science (Washington)* 201:1030-1032.
- Roubik, D. W. 1989. *Ecology and Natural History of Tropical Bees*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Roubik, D. W., ed. 1995. *Pollination of Cultivated Plants in the Tropics*. FAO Agricultural Services Bulletin No. 118. Rome : FAO.
- Ruppert, V. 1993. Einfluss blütenreicher Feldrandstrukturen auf die Dichte blütenbesuchender Nutzinsekten insbesondere der Syrphinae (Diptera: Syrphidae). *Agrarökologie* 8:1-149.
- Stein, K. and F. Umland. 1987. Mobile und immobile Probensammlung mit Hilfe von Bienen und Birken. *Fresenius Zeitschrift für Analytische Chemie* 327:132-141.
- Stephen, W. P. 1955. Alfalfa pollination in Manitoba. *Journal of Economic Entomology* 48:543-548.
- Sugden, E. A. and G. H. Pyke. 1991. Effects of honey bees on colonies of *Exoneura asimillima*, an Australian native bee. *Australian Journal of Ecology* 16:171-181.
- Sugihara, G. 1980. Minimal community structure: An explanation of species abundance patterns. *American Naturalist* 116:770-787.
- Syme, P. D. 1975. The effects of flowers on the longevity and fecundity of two native parasites of the European pine shoot moth in Ontario. *Environmental Entomology* 4:337-346.
- Vandenberg, J. D. and W. P. Stephen. 1982. Etiology and symptomology of chalkbrood in the alfalfa leafcutting bee, *Megachile rotundata*. *Journal of Invertebrate Pathology* 39:133-137.

- Willmer, P. G., A. A. M. Bataw, and J. P. Hughes. 1994. The superiority of bumblebees to honeybees as pollinators: Insect visits to raspberry flowers. *Ecological Entomology* 19:271-284.
- Winder, J. A. 1977. Some organic substrates which serve as insect breeding sites in Bahian cocoa plantations. *Revista Brasileira de Biologia* 37:351-356.



## 9 Gestion de la biodiversité des sols dans les écosystèmes agricoles

---

G. G. BROWN, M. J. SWIFT, D. E. BENNACK, S. BUNNING, A. MONTÁÑEZ et L. BRUSSAARD

### Les Dimensions de la biodiversité des sols

Le sol n'est pas une simple agglomération de matières organiques, de particules minérales et d'ions qui peuvent être utilisés par les plantes. Il est une entité vivante qui comporte d'innombrables organismes dont la diversité peut même dépasser celle des organismes vivants au dessus ou hors du sol.

Les systèmes des sols contiennent les assemblages les plus divers et disparates des organismes sur la Terre (Brussaard et al 1997; Giller et al 1997; Wall et Moore, 1999). Ces organismes présentent une large variété de tailles, des stratégies d'alimentation et des habitudes de vie, allant du strictement aquatique à l'obligatoirement terrestre (Bater 1996). Leurs variations en termes de taille vont de la plus petite des bactéries unicellulaires, des algues, des champignons, des protozoaires et des nématodes aux plus complexes microarthropodes, les vers de terre visibles, les insectes, les petits vertébrés et les plantes. Cette communauté d'organismes compose le réseau trophique du sol qui comprend les interactions et les conversions d'énergie et de nutriments entre les producteurs primaires (plantes, lichens, mousses, les bactéries photosynthétiques et les algues), les organismes du sol qui consomment des composés organiques dérivés de plantes, d'autres organismes et sous-produits des déchets, et quelques bactéries qui tirent leur énergie de minéraux composés.

La diversité de la vie dans le sol (diversité biologique des sols) existe et interagit au niveau génétique, écologique et entre les espèces. Il serait pratique de la considérer comme étant la somme de tous les organismes qui passent une partie de leur cycle de vie dans le sol ou sur sa surface

immédiate, y compris la surface litière et la matière organique (M.O) en décomposition. Un bon nombre d'espèces d'insectes qui vivent hors du sol, y ont déjà vécu durant une certaine phase de leur cycle de vie (Bater 1996). Le biote du sol comprend non seulement des organismes connus tels que les termites, les vers de terre, et les fourmis, mais aussi une multitude d'invertébrés moins connus, ainsi que des micro-organismes.

Dans la nature, il n'existe nulle part une telle densité d'espèces que celles des communautés du sol (Hågvar 1998). Par exemple, un seul gramme de sol peut contenir plusieurs milliers d'espèces de bactéries et des millions d'individus (Torsvik et al. 1994). Un sol sain type peut contenir plusieurs espèces d'animaux vertébrés, des vers de terre, 20 à 30 espèces d'acariens, 50 à 100 espèces d'insectes, des dizaines d'espèces de nématodes, des centaines d'espèces de champignons, et probablement des milliers d'espèces de bactéries et d'actinomycètes (Ingham, 1999). La biodiversité des sols a tendance à être meilleure dans les forêts et dans les terres partiellement exploitées ou non exploitées (par exemple, les prairies) que dans les pâturages et les champs cultivés. Cependant, la variété, le nombre et les types d'organismes diffèrent d'un système d'utilisation des terres à un autre et d'un environnement écologique à un autre. Ceci étant en relation avec de nombreux facteurs dont l'aération, la température, l'acidité, l'humidité, les éléments nutritifs, la qualité et la quantité de la MO ; ces derniers peuvent varier en fonction des activités humaines.

Également, le sol est un milieu physique très complexe. Grâce à son immense réseau de micropores, macro-pores, et des tunnels, la matrice du sol offre un habitat pour différents organismes et contribue au processus biologique de leurs vies. La grande variabilité spatiale et temporelle de la disponibilité en MO, eau, et autres nutriments favorise une niche de structure complexe dans le sol. La structure du sol et de ses ressources alimentaires fournissent des conditions favorables à l'évolution et la maintenance d'interactions trophiques complexes, interconnectées et parfois même fonctionnellement redondantes entre les organismes du sol.

Étant donné cette complexité écologique, d'innombrables communautés de plantes, d'animaux et de microbes sont capables de coexister et de fournir une gamme de services et de fonctions. Cependant, cet écosystème souterrain, vital et dynamique est souvent méconnu et mal compris ; et par conséquent mal géré.

S'ajoutant à cette considérable diversité, les difficultés techniques associées à l'étude de l'écosystème des sols et le manque de taxonomistes pour les décrire ont largement contribué à une connaissance effroyablement maigre de la biodiversité des sols dans le monde. Les quelques inventaires

**Tableau 9.1.** Nombre total d'espèces décrites des membres importants du biote du sol

Catégories des organismes selon la taille	Nombre d'espèces décrites
<b>Microorganismes</b>	
Les bactéries et les archées	3,200
Champignons	60,000
<b>Microfaune</b>	
Protozoaires (protistes)	36,000
Les nématodes	15,000
Les rotifères	2,000
Tardigrades	750
<b>Mésafaune</b>	
Acariens (Acari)	ca.45,000
Collemboles (Collemboles)	7,500
Les pseudo-scorpions	3,235
Diplura	659
Symphyla	200
Paupoda	700
Enchytréides	800
<b>Macrofaune</b>	
Insectes herbivores mangeurs de racines	>40,000
Les coléoptères (Coleoptera)	350,000
Les mille-pattes (Diplopoda)	10,000
Mille-pattes (Chilopodes)	2,500
Scorpions	1,259
Araignées	38,884
Les escargots (Gastropoda)	30,000
Cloportes (Isopoda)	4,250
Les termites (Isoptères)	2,800
Les fourmis (Formicidae)	11,826
Opilions (Opiliones)	5,500
Les vers de terre (Oligochaeta)	3,800
Les vers à soie (Onchophora)	90

*Sources:* Hawksworth et Mound (1991); Brussaard et al. (1997); Mur et Moore (1999); Moreira et al. (2006); Lewinsohn et Prado (2005, 2006).

taxonomiques actuellement disponibles faillent à donner une idée précise du nombre d'espèces vivant dans des systèmes du sol. Malgré leurs riches diversités, les communautés du sol sont mal connues et mal décrites, ce qui leur a valu d'être appelées l'«autre dernière frontière biotique» (André et al. 1994), ou «forêt tropicale des pauvres » (Usher et al. 1979).

Le tableau 9.1 expose les estimations disponibles du nombre d'espèces décrites pour le biote d'un sol sélectionné. Néanmoins, il serait impératif de souligner que ces estimations sont préliminaires et bien en dessous de l'estimation totale du nombre d'espèces pour chaque groupe. A titre d'exemple, le nombre d'espèces de champignons du sol connues varie entre 18.000 à 35.000, mais leur nombre peut être supérieur à 100.000 (Hawksworth, 1991). La richesse en espèces chez les nématodes et les archées prévoit d'être bien plus importante que respectivement 3% et 5 % de leur nombre total décrits ci-dessus. Les estimations se rapportant aux bactéries et aux archées sont particulièrement problématiques (Hawksworth et Kalin-Arroyo 1995), vue que l'opinion scientifique reste partagée sur la définition des critères d'une espèce chez ces groupes. En outre, la difficulté à isoler et à cultiver des souches pures de ces organismes complique d'autant plus leur identification. Cependant, le développement de méthodes moléculaires pour l'extraction et la description de la composition génétique de la microflore du sol, a initié une nouvelle ère de l'étude des bactéries et d'autres microbes dans le sol. Ceci laisse également prévoir une révolution fondamentale de l'écologie microbienne. (Voir Amman et Ludwig 2000; Torsvik et Ovreas 2002).

### *Les fonctions des écosystèmes, des effets d'échelle, et des hiérarchies de régulation*

L'importance de l'étude des organismes du sol consiste non seulement en leur grande diversité et leurs multiples interrelations, mais encore parce qu'ils exercent des fonctions clés dans les écosystèmes naturels et les agro-écosystèmes (tableau 9.2). Le sol est le site de nombreux processus globaux coexistant avec la vie du sol, notamment le cycle des nutriments, la séquestration du carbone, et la fixation d'azote.

Plus précisément, le biote est responsable du changement de l'environnement du sol, affectant ses propriétés et ses processus physiques, chimiques et biologiques. Par exemple, la plupart des agents responsables de la bioturbation (qui activent le sol et qui s'y nourrissent), tels que les animaux, les racines des plantes, et certaines microbes agissent sur la création de la structure du sol, ce qui influence ainsi les processus hydrologiques des sols

**Tableau 9.2.** Les fonctions des écosystèmes réalisées par les différents membres du biote du sol

Fonctions	Organismes Impliqués
Maintien de la structure du sol	Les invertébrés bioturbés (bougeant et se nourrissant dans le sol) et les racines des végétaux, mycorhizes, et quelques autres micro-organismes.
Régulation des processus hydrauliques du sol	La plupart des invertébrés bioturbés et les racines des végétaux.
Les échanges de gaz et la séquestration de carbone	Généralement les microorganismes et les racines des végétaux, un peu de carbone protégé dans les grands agrégats biogéniques et compacts des invertébrés.
Détoxification des sols	Généralement des microorganismes.
Cycles des éléments nutritifs	Généralement les microorganismes et les racines des végétaux, certains invertébrés qui s'alimentent de la terre et de la litière.
Décompositions des matières organiques	Saprophytes divers et les invertébrés qui s'alimentent de la litière (détritivores), les champignons, les bactéries, les actinomycètes et autres micro-organismes.
Suppression d'insectes ravageurs, parasites et maladies	Les végétaux, les mycorhizes et autres champignons, les nématodes, des bactéries et divers autres micro-organismes, les collemboles, vers de terre et prédateurs divers.
Sources de nourriture et de médicaments	Les racines des végétaux, des insectes divers (grillons, larves de coléoptères, fourmis et termites), les vers de terre, les vertébrés, des microorganismes, et leurs sous-produits.
Relations symbiotiques et asymbiotiques avec les plantes et les racines	Les rhizobiums, mycorhizes, actinomycètes, bactéries diazotrophes et divers autres microorganismes de la rhizosphère, fourmis.
Contrôle de la croissance/l'évolution de la plante (positif et négatif)	Les effets directs: les racines des végétaux, les rhizobiums, mycorhizes, actinomycètes, pathogènes, nématodes phytoparasites, rhizophagous, insectes, microorganismes de la rhizosphère qui participent à la croissance des plantes, agents de lutte biologique Les effets indirects: la plupart des éléments du biote du sol.

et des régimes de l'eau (par exemple, l'infiltration, le drainage, la capacité de rétention d'eau). De nombreux microorganismes sont intimement impliqués dans des relations symbiotiques ou parasitaires des plantes ainsi que dans la protection de ces dernières contre les insectes ravageurs, les parasites microbiens, et les maladies. Certains microorganismes qui vivent principalement dans la rhizosphère, constituent des agents favorisant la croissance asymbiotique des végétaux. D'autres microbes sont actifs dans la minimisation de polluants comme les pesticides et produits dérivés du pétrole, dans la décomposition des MO, dans le cycle des éléments nutritifs et dans la séquestration des gaz à effet de serre, notamment le méthane, l'oxyde nitreux et de dioxyde de carbone. Enfin, de nombreux organismes sont des sources directes ou indirectes de la nourriture et des médicaments.

Par conséquent, les actions de certains organismes sur le sol ainsi que leurs contributions aux fonctions des écosystèmes sont très variables. Leur importance peut dépendre de la taille du corps, des comportements, de la densité et de la dynamique de population, les stratégies de l'histoire de vie, les exigences de vie et de nutrition et les interactions avec d'autres organismes (à la fois synergiques et antagonistes). Les échelles spatiales et temporelles sont particulièrement décisives dans la détermination de l'effet fonctionnel d'ensemble d'une espèce donnée dans un environnement d'un sol particulier (Anderson, 2000).

#### Encadré 9.1 Qu'est ce qu'un ingénieur de l'écosystème?

Les ingénieurs de l'écosystème (sensu Jones et al. 1994) sont des espèces qui régulent directement ou indirectement la disponibilité des ressources à d'autres espèces (et parfois à eux-mêmes) en provoquant des changements physiques de matériaux biotiques ou abiotiques (par exemple, le sol). Grâce à leurs activités, ils modifient, maintiennent ou créent des habitats.

Les ingénieurs allogéniques modifient l'environnement en transformant des matières (vivantes ou mortes) d'un état physique à un autre, et cela par différents moyens comme les moyens mécaniques. Des exemples d'ingénieries allogéniques des sols des écosystèmes sont le creusage, le moulage, et l'alimentation des vers de terre, qui modifient la structure physique du sol ainsi que la disponibilité en matière organique morte et en ressources pour d'autres organismes du sol dont les racines de la plante (Lavelle et al. 1997).

Les ingénieurs autogènes modifient l'environnement par leur propre biomasse, vivante ou morte. Les arbres sont un exemple d'ingénierie autogène car ils agissent sur l'hydrologie, les cycles des nutriments, la stabilité du sol, la température, l'humidité, la vitesse du vent, les niveaux d'éclairage, la disponibilité de nourriture et d'autres ressources pour les organismes.

Opérant sur différentes échelles de temps et d'espace, certains organismes et espèces peuvent agir sur un même processus spécifique. D'autres peuvent contribuer dans divers processus distincts.

Par exemple, les nématodes qui se nourrissent de bactéries et de champignons à l'échelle du micromètre ont le pouvoir d'influencer la minéralisation de l'azote (Ingham et al. 1985), et les acariens et collemboles qui s'alimentent de nématodes et de champignons à l'échelle de quelques millimètres peuvent affecter les processus de la communauté microbienne sur plusieurs centimètres (Anderson, 1995). D'autre part, les tunnels et les

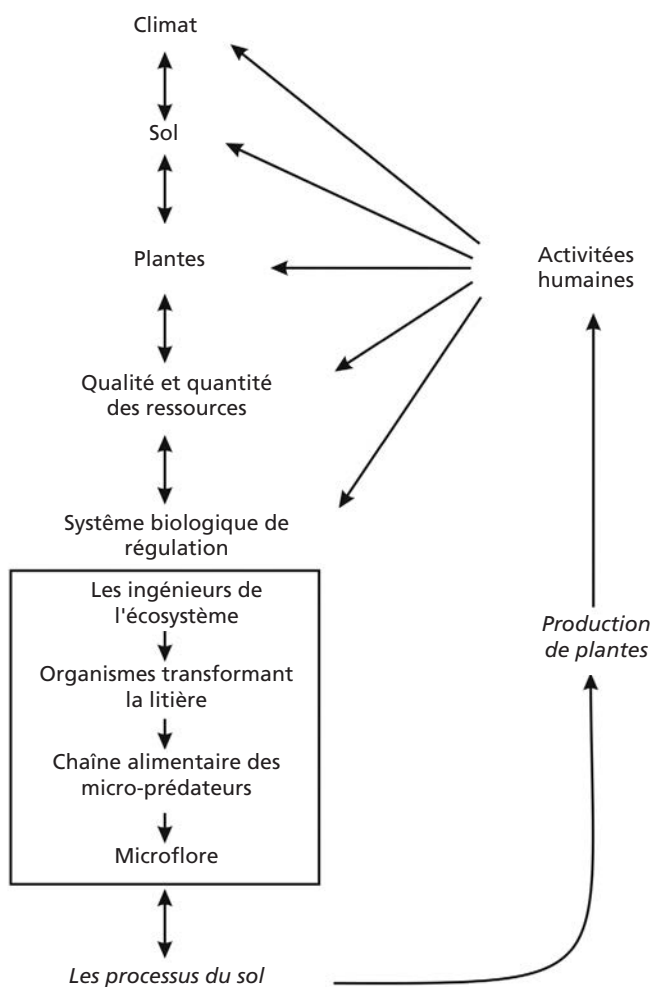


FIGURE 9.1. Organisation hiérarchique des fonctions du sol (d'après lavelle 1996).

terriers de quelques millimètres et de centimètres de longueur résultant des activités des vers de terre, affectent la structure du sol ainsi que les processus hydrologiques sur une échelle de plusieurs mètres. Enfin, les diverses activités qui sont associées aux colonies de termites et de fourmis peuvent affecter les processus physiques et chimiques du sol sur plusieurs hectares (Swift et al. 1996). Souvent, ces structures résistent longtemps (jusqu'à plusieurs décennies), allant même jusqu'à largement dépasser la durée de vie des organismes qui les ont créées. Ainsi, ces activités d'ingénieries des sols (encadré 9.1) réalisées par les fourmis, les termites et les vers de terre peuvent modifier le sol en un habitat pour d'autres organismes comme les plantes, les invertébrés ou les microbes.

Ainsi, les activités des plus petits organismes se déclenchent suite aux activités des plus grands organismes et cela institue un système hiérarchique de contrôle du sommet vers la base ('top-down') (Lavelle et al. 1997). Dans un tel système les effets des activités biologiques à plus grandes échelles spatio-temporelles contrôlent la performance des activités à plus petites échelles (voir encadré figure 9.1). De plus, toutes les actions des organismes des sols sont gérées par la qualité et la quantité des ressources; elles même contrôlées par les conditions climatiques.

Lorsqu' un organisme particulier (ou groupe d'organismes) est susceptible d'affecter d'autres organismes à des niveaux plus élevés de la hiérarchie, on parle de contrôle base –sommet (voir figure 9.1). Par exemple, les vers de terre peuvent non seulement agir sur la sélection de nouveaux individus végétaux mais également sur la composition des communautés des plantes par la consommation et la synthèse d'une importante quantité des germes stockés dans le sol. Aussi, ils sélectionnent et consomment les germes et les plantes ce qui fait que la germination soit préférentielle. Ils synthétisent ou endommagent les germes de certaines espèces à différents degrés car cela dépendrait de l'enveloppe protectrice du germe et du processus digestif du vers de terre. Ils dispersent certains germes à travers ou sur le sol. Par les changements psychochimiques et biologiques du sol résultant de leurs action, ils encouragent la croissance de certaines espèces de plantes. (Willems et Huijsmans 1994; Pearce et al. 1994; Decaens et al. 2001; Brown et al. 2004).

### *Les classifications fonctionnelles du biote du sol*

La diversité du biote du sol et ses multiples processus interconnectés ont poussé les biologistes du sol à proposer diverses classifications fonctionnelles aux organismes du sol. Dans ce genre de classifications, les orga-



nismes sont divisés en groupes (pas nécessairement taxonomiquement apparentés) qui effectuent des fonctions redondantes ou similaires. Ces groupements aident à illustrer, d'une façon simple, les fonctions exercées dans le sol, les organismes qui les effectuent, et quelles fonctions et biotes pourraient s'avérer plus importantes dans certains écosystèmes. Parmi les différentes classifications fonctionnelles disponibles, il est probable que les plus utiles soient celles qui s'appuient sur les catégorisations selon la dimension du corps, le comportement alimentaire (ou niveaux trophiques), les structures physiques produites, et une combinaison de l'un des trois paramètres cités.

#### LA TAILLE DE L'ORGANISME

Même si la dimension du corps d'un organisme n'est pas toujours liée à sa fonction, elle peut être présentée comme un système de substitution pour une fonction écologique dans le biote du sol. Par exemple, la capacité de transporter, d'ingérer, ou de modifier considérablement la structure physique du sol est généralement positivement attribuée à la taille du corps de l'organisme. En effet, les plus grands organismes (vers de terre, termites et fourmis) sont plus en mesure de modifier les sols que les plus petits (à l'exception notable des champignons mycorrhiziens). D'autre part, bien que certains grands organismes vivants (les broyeurs litière) puissent être particulièrement importants dans la préparation des matériaux et l'amélioration des rôles du biote, la décomposition de la litière et les réactions chimiques du sol sont effectuées principalement par les plus petits organismes vivants (acariens, collemboles, et en particulier micro-organismes). Ainsi, une classification basée sur le diamètre du corps souligne une corrélation entre la taxonomie et les fonctions de ces organismes.

Le *macrobiote* et *mégabiote* (les organismes qui sont généralement supérieures à 2,0 mm de diamètre sont visibles à l'œil nu) comprennent deux grands groupes: les vertébrés connus (comme les serpents, lézards, souris, lapins, renards, blaireaux, taupes), qui essentiellement creusent le sol pour se nourrir ou s'abriter (mégafaune) et les invertébrés (comme les fourmis, termites, mille-pattes, vers de terre, cloportes et autres crustacés, chenilles, cigales, fourmis-lions, larves de coléoptères et adultes, larves de mouches, perce-oreilles, espadon, lépismes argentés, escargots, araignées, opilions, scorpions, grillons et blattes) qui vivent et s'alimentent du sol ou de la litière et de leurs composantes (macrofaune). Il arrive parfois que de gros insectes comme les abeilles et les guêpes s'enfoncent dans le sol. Même si leur influence peut être importante, ils ne sont généralement pas

considérés comme des organismes du sol. Enfin, les racines des plantes font partie du biote du sol car elles affectent vastement et longuement les populations animales et végétales qui vivent au- au-dessous du sol.

Le mesabiota (les organismes ayant généralement une dimension allant de 0,1 à 2,0 mm de diamètre) comprend principalement les microarthropodes, tels que pseudo-scorpions, protura, piplura, collemboles, acariens, petits myriapodes (pauropoda et Symphyla), et les enchytréides géantes. Ce groupe d'organismes creuse peu le sol, vit généralement dans ses pores, et se nourrit des MO, du microbiote, et d'autres invertébrés.

Le microbiote constitué par les plus petits organismes (moins de 0,1 mm de diamètre), est composé de la microflore et de la microfaune connus par leur extrême abondance, omniprésence et grande diversité. Les organismes de la microflore (algues, bactéries, archéobactéries, cyanobactéries, champignons, levures, myxomycètes et actinomycètes), qu'ils soient pathogènes ou favorisant la croissance des plantes, sont capables de décomposer presque toutes les matières naturelles existantes. Quant aux organismes de la microfaune (nématodes, protozoaires, turbellariés, tardigrades et rotifères), ils vivent généralement dans les nappes d'eau du sol et s'alimentent de la microflore, des racines de plantes, d'autres organismes de la microfaune, et même d'organismes plus grands.

#### LE COMPORTEMENT ALIMENTAIRE

Le comportement alimentaire peut également représenter un système de substitution pour une fonction écologique du biote vu que les organismes du sol utilisent les ressources alimentaires de façon à ce que ça entraîne des effets en cascade dans la chaîne trophique, et par conséquent, affecte la fonction du sol. Ces interactions entre les organismes et les niveaux trophiques apparaissent généralement aux niveaux des réseaux alimentaires complexes du sol, où certains organismes subsistent en s'alimentant des plantes et des animaux vivants, tandis que d'autres des débris végétaux, des champignons ou des bactéries, et d'autres encore d'un organisme hôte dont ils ne s'en séparent pas, interagissant dans une relation parasitaire qui l'affaiblit mais ne le tue pas, ou alors symbiotique qui l'aide en sa croissance.

#### LES STRUCTURES PHYSIQUES PRODUITES ET LES DOMAINES FONCTIONNELS

Un système supplémentaire de classification (Lavelle 2000) catalogue les organismes en fonction des structures biogènes produites (comme les

pores, les agrégats, et les tissus), qui servent de points d'accès (sites hautement actif) pour les fonctions et les processus du sol (voir tableau 9.2). Les domaines fonctionnels représentent des sphères d'influence ou les emplacements physiques où un processus de base qui compose une partie d'une fonction du sol opère à des échelles spatiales et temporelles (Lavelle, 2002). Ces sites et structures peuvent généralement être physiquement séparés de la matrice du sol. Quelques exemples de domaines biologiques (sphères) sont : la drilosphère (vers de terre), la termitosphère (Termites), la myrmécosphère (fourmis), la rhizosphère (racines), et la detritosphère (débris végétaux).

Chaque structure du sol fait partie d'un domaine fonctionnel, et bien que certaines structures puissent être incorporées dans plus d'un domaine, les limites entre ces domaines ne sont pas toujours claires, et il peut y avoir une interaction entre les domaines (Brown et al. 2000). Qu'ils soient positifs ou négatifs, Les domaines fonctionnels peuvent avoir d'importants effets sur la production végétale.

### *Les avantages économiques de la biodiversité des sols*

Il est traditionnellement considéré que le rôle le plus crucial du sol soit dans le fait qu'il soit le substrat des plantes. Cependant, il est aussi le site d'innombrables interactions qui contrôlent un grand nombre de services d'une nécessité directe et indirecte à l'humanité et à l'environnement tel que le recyclage naturel des déchets organiques, la formation des sols, la fixation de l'azote, la biorestauration de la pollution chimique et la lutte antiparasitaire biologique. De plus, le sol est la source de nourriture et de produits biotechnologiques.

Il a été estimé que la valeur des services écosystémiques fournis par le biote du sol à travers le monde chaque année pourrait dépasser 1,5 milliards de dollars (Pimentel et al. 1997; voir chapitre 18), et le recyclage des déchets organiques est estimé à lui seul fournir environ 50% du total des prestations de l'activité biotique des sols à travers le monde.

Il est à noter qu'une grande partie de la surface de la terre serait recouverte de déchets organiques en l'absence des activités de la décomposition et du recyclage effectuées par les organismes du sol.

Il n'est pas courant d'attribuer une valeur lucrative aux avantages de la biodiversité des sols et des bienfaits environnementaux. Et afin de garantir leur efficace conservation, il faudrait évaluer adéquatement cette valeur et payer pour les services écosystémiques issus de la biodiversité du sol tout

en reconnaissant que de nombreux organismes sont également préjudiciables à la production végétale et aux sociétés humaines.

## Les tendances de l'utilisation des terres et les menaces mondiales sur la biodiversité des sols

Les activités humaines, responsables de la perte définitive de certaines espèces et des habitats, menacent considérablement la biodiversité des sols à l'échelle mondiale. À la différence des crises passées, la crise de la biodiversité actuelle (Wilson 1985) est ancrée dans les modes d'organisation sociale de l'homme, le commerce mondial et la consommation des ressources naturelles, la croissance des populations humaines, l'adoption généralisée de systèmes économiques et politiques qui ne parviennent pas à valoriser de l'environnement et ses ressources, les inégalités en matière/terme de propriété, de gestion, et du flux des avantages découlant de l'utilisation et la conservation des ressources biologiques (McNeely et al. 1995).

### *Intensification de l'agriculture et la biodiversité*

Le déséquilibre entre la perspective humaine à court terme (socio-économique) et à long terme (écologique) sur la gestion du paysage agricole (p.e., pour la production agricole) peut provoquer des conséquences désastreuses compte tenu de l'immense échelle à laquelle les activités agricoles sont entreprises à travers le monde : 11% de la surface totale des terres est utilisée pour la production agricole dans les pays en développement, 25% pour le pâturage du bétail, et 30% pour la foresterie (FAO 2002). En général, l'intensification agricole tend vers une spécialisation croissante envers des produits commercialisés (comme la culture du soja dans les pays en développement) par une technologie avancée et une croissante utilisation des intrants. L'utilisation accrue de pesticides et d'herbicides avec l'intensification agricole tend à être associée à une agriculture à hauts intrants, qui garantit de bonnes récoltes et des gains rapides. Cependant, par négligence ou ignorance (au niveau politique, technique et des agriculteurs) des risques pour l'environnement et le fonctionnement des écosystèmes sont bien présents. Ainsi, l'homogénéisation des systèmes de culture qu'il en résulte affecte négativement la biodiversité agricole, provoquant des pertes aux niveaux génétique, des espèces, et des paysages naturels.

L'évaluation de ces pertes dans les pays en développement est fortement limitée par le manque de données sur l'évolution quantitative et qualitative de l'utilisation des pesticides, les densités d'élevage et les populations fauniques et l'utilisation et la gestion des terres. La connaissance de la biodiversité des sols est particulièrement limitée en raison de sa complexité et du fait qu'elle est en grande partie invisible. Il est prévu que ces risques persistent parce que, dans de nombreux cas, les conditions socio-économiques et les lois du marché ne vont pas favoriser l'adaptation par les agriculteurs –(de petites ou grande échelle) des divers systèmes et approches agro-écologiques qui conservent la diversité biologique, protègent les ressources en terres et en eau, et assurent une utilisation adéquate et équilibrée des engrais organiques et minéraux pour compenser la perte de la fertilité des sols causée par les cultures et le pâturage.

Les événements catastrophiques, passés et présents, lancent un avertissement sévère contre les abus et la mauvaise utilisation de notre terre. Des anciennes civilisations entières ont disparues en raison de la dégradation des sols suite à d'intenses et insoutenables utilisations agricoles (Lowdermilk 1978; Hillel, 1991). Améliorer l'utilisation des terres et les pratiques de gestion se révèlent être d'une urgente nécessité, et ceci afin d'enrayer la dégradation des sols, de restaurer les terres qui sont déjà endommagées et d'améliorer la fertilité et la productivité agricole.

### *Les pratiques agricoles et le biote du sol*

Il est vrai que ces dernières années les efforts visant à enrayer la perte de biodiversité se sont intensifiés, mais ils restent toutefois modestes et en déphasage avec le rythme des changements réalisés par l'homme. En outre, leur application a été axée principalement sur la préservation d'un petit nombre d'espèces, notamment les grandes plantes et les animaux pour des raisons d'esthétiques et de tourisme; ainsi que les espèces cultivées pour la nourriture, les fibres et autres produits. Les petits organismes, notamment le biote du sol qui domine la structure des réseaux trophiques et les fonctions de base des écosystèmes naturels, ont été négligés d'une manière générale. Certaines stratégies et moyens par lesquels la biodiversité du sol peut être conservée et gérée dans les agroécosystèmes ont été discutés dans un récent atelier, et ceci dans le cadre des activités entreprises par l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) et les organisations partenaires dans l'Initiative internationale pour la conservation et l'utilisation durable de la biodiversité des sols de la convention sur la diversité biologique (encadré 9.2).

## Encadré 9.2 L'Initiative internationale pour la conservation et l'utilisation durable de la biodiversité des sols et la convention sur la diversité biologique

Dans la décision VI/5 (CDB 2002:78), la Conférence des parties à la convention sur la diversité biologique (CDB) a entrepris « d'établir l'Initiative internationale pour la conservation et l'utilisation durable de la biodiversité des sols en tant qu'initiative transversale au sein du Programme de travail sur la diversité biologique agricole » et a invité la FAO et d'autres organisations compétentes, pour faciliter et coordonner cette initiative" (pour plus d'informations sur les activités de la FAO et ses partenaires voir : [www.fao.org/ag/AGL/agll/soilbiold/](http://www.fao.org/ag/AGL/agll/soilbiold/)).

Comme une première activité de collaboration, un atelier technique international sur la gestion biologique des écosystèmes des sols pour l'agriculture durable a été conjointement organisé par la FAO et l'Embrapa-soja à Londrina, Brésil, en Juin 2002 ; ce afin de débattre sur les concepts et pratiques de gestion intégrée des sols, partager des expériences réussies de gestion biologique des sols, et identifier les priorités d'action en vertu de l'Initiative de la biodiversité des sols. Le rapport complet de cet atelier (2003) a été publié par la FAO ([www.fao.org/ag/AGL/agll/soilbiold/docs.stm](http://www.fao.org/ag/AGL/agll/soilbiold/docs.stm)). Des documents supplémentaires se trouvent dans Brown et al. (2002a). A la 8ème Conférence des parties à la CDB à Curitiba en Mars 2006, le cadre proposé pour l'action et la mise en œuvre de l'initiative, comme présenté à la FAO (2003), a été approuvé par les partis membres de la convention, et d'autres gouvernements, organisations internationales, organisations non gouvernementales, et les parties intéressées ont été invitées à soutenir et mettre en œuvre l'initiative, ainsi qu'à fournir des études de cas sur la biodiversité des sols en vue à renforcer le sens de l'initiative.

Dans le cadre, trois domaines d'action stratégiques ont été identifiés:

- la reconnaissance croissante des services essentiels fournis par la biodiversité des sols dans tous les systèmes de production ainsi que de sa relation avec la gestion durable de la terre.
- Renforcement des capacités pour promouvoir des approches intégrées et la coordination des activités pour l'utilisation durable de la biodiversité des sols et l'amélioration des fonctions de l'agroécosystème, y compris l'évaluation et le suivi, la gestion adaptative, la recherche et le développement ciblés.
- Développer des partenariats et des processus de coopération à travers l'intégration et des actions coordonnées entre les partenaires afin de promouvoir activement la conservation, la restauration et l'utilisation durable de la biodiversité des sols et renforcer la contribution des organismes du sol bénéfiques pour la productivité durable des agroécosystèmes.

Les progrès de cette initiative dépendront de la mobilisation du soutien politique et d'investissement dans la gestion biologique des sols et des approches

*Encadré 9.2, suite à la page suivante*

*Encadré 9.2, suite*

écosystémiques, ce qui entraînera une évaluation économique de la perte de la biodiversité du sol, de ses effets bénéfiques et des services écosystémiques fournis en vertu de systèmes agricoles spécifiques.

Néanmoins, il existe des tendances positives: l'expansion de la conservation des principes et des pratiques agricoles (semis directe sans labour ou léger labour du sol) en particulier dans les Amériques, mais de plus en plus dans d'autres régions, et le soutien croissant des consommateurs pour l'agriculture biologique. Ces deux systèmes reconnaissent l'importance de la protection des sols, la santé des sols et l'activité biologique, la rotation des cultures, ainsi que les risques et les coûts des produits agrochimiques.

## La conservation et la gestion de la biodiversité des sols

### *Les principes de la gestion biologique de la fertilité des sols*

La révolution verte, qui tire son nom des fortes augmentations dans la production végétale obtenues grâce à ses techniques, a surmonté les contraintes du sol par l'application d'intrants externes tels que des fertilisants non organique et autres améliorations afin de répondre aux besoins des cultures (Sanchez 1994, 1997). Cependant, la plupart des agriculteurs à travers le monde n'ont pas accès ou sont incapables de payer les intrants externes (produits agrochimiques, variétés améliorées, semences hybrides, accès facile aux liquidités et aux crédits) nécessaires pour appliquer les principes et pratiques de l'agriculture à hauts intrants (Vandermeer et al. 1998).

Les nouvelles orientations vers l'utilisation des techniques de gestion biologique des sols va probablement s'appliquer dans les systèmes avec des perturbations intermédiaires, et ceux à faible ou à utilisation intermédiaire de ressources externes et du travail humain (figure 9.2). Ainsi, la gestion biologique des sols jouie d'un potentiel plus riche dans les agroécosystèmes de complexité intermédiaire (agroforesterie et les systèmes de rotation), sur des terres marginales afin de prévenir leur dégradation, sur des terres dégradées nécessitant une bioreclamation, et dans les régions où la disponibilité, l'accès, ou l'utilisation d'intrants extérieurs est limitée.

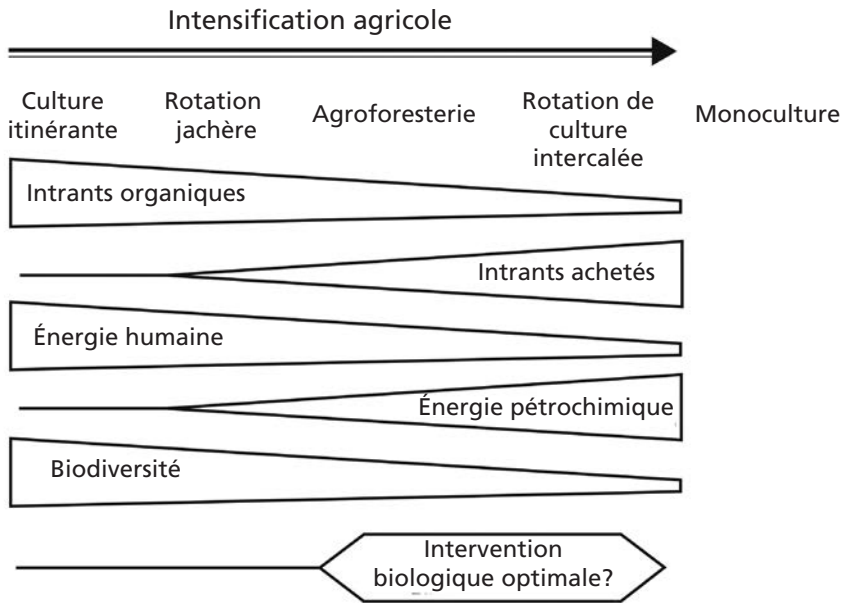


FIGURE 9.2. Les relations entre l'intensification agricole et les quantités des diverses intrants (organiques, achetés, et des intrants pétrochimiques) et l'agrosystème, la biodiversité et l'énergie humaine dépensée. L'ouverture optimale proposée pour une gestion biologique des sols (intervention) est établie par un équilibre de chacun de ces différents facteurs et dépendra de facteurs humains, socio-économiques et environnementaux présents dans chaque lieu (Dessin de MJ Swift).

Ainsi, grâce au pouvoir des processus biologiques la fertilité des sols est maintenue (Anderson, 1994; Mando et al. 1997; Sanchez 1997; Senapati et al. 1999; Swift ; 1999).

Le principe de la gestion biologique intégrée des sols sous-entend la reconnaissance que:

- Les organismes du sol et les processus biologiques jouent un rôle majeur dans la création et la régulation de la fertilité des sols.
- La diversité des organismes crée et modifie la diversité des fonctions et des processus des sols.
- La diversité des fonctions et des processus est essentielle pour maintenir la fertilité et la productivité des sols (p.e., la durabilité de l'agroécosystème).
- Les organismes du sol peuvent être manipulés dans les écosystèmes agricoles par deux interventions : directes et indirectes.



## *Les interventions directes et indirectes de la gestion biologique des sols*

Relatant aux différentes possibilités de gestion biologique des sols, Swift (1999) a proposé une série de points d'entrée possibles par lesquels des pratiques managériales pourraient être mis en œuvre. Il s'agit d'interventions directes et indirectes (encadré 9.3) telles que :

- La conception et la gestion du système agricole: le choix des plantes et de leurs pratiques de gestion spatio-temporelle ou stratégies de gestion de l'élevage (indirecte).
- Le contrôle génétique de la fonction des sols par la manipulation de la résistance des plantes aux maladies, manipulation de résidus, ainsi que de la qualité de la rhizosphère (les exsudats racinaires) (indirect).
- L'inoculation d'antigènes des maladies, de microsymbiotes, de rhizobactéries, et de vers de terre pour lutter contre les maladies et améliorer la fertilité du sol (direct).
- La manipulation du biote du sol par la modification de la quantité et de la qualité des MO (indirect).
- Le contrôle biologique des ravageurs et des maladies (direct).

Certaines de ces interventions, les directes en particulier, telles que la sélection d'espèces et variétés de plantes fixatrices d'azote, l'inoculation de rhizobium dans les légumineuses à grains, l'inoculation mycorhizienne pour le développement des arbres et agents de lutte biologique contre les maladies et les parasites, sont déjà des techniques très bien développées et adoptées par de nombreux agriculteurs et par les gérants des terres des pays développés et de ceux en voie de développement. Mais ce n'est pas encore le cas dans de nombreux pays moins développés, particulièrement en ce qui concerne les agriculteurs à ressources limitées. L'utilisation de ces techniques directes est d'une grande importance et elle devrait être encouragée par les institutions et les gouvernements responsables du développement agricole.

D'autre part, les interventions indirectes telles que le choix de cultures et de leurs distribution spatio-temporelle, l'amélioration de leur capacité naturelle à résister à la maladie, l'amélioration de la qualité des résidus qu'ils produisent, et la gestion des OM et d'autres intrants extérieurs tels que les engrais en le système (TSBF 1999) sont susceptibles de générer de très grands avantages, sur le long terme en particulier. Dans un contexte agricole plus vaste, la gestion de la culture mixte, l'élevage, et les systèmes agroforestiers ont démontré l'amélioration de l'efficacité d'utilisation des

### Encadré 9.3. Les interventions directes contre les interventions indirectes

Les méthodes directes d'intervention dans le système de production tendent à modifier l'abondance ou l'activité de certains groupes d'organismes (Hendrix et al. 1990).

Des exemples d'interventions directes comprennent l'inoculation des graines ou des racines avec des rhizobiums, mycorhizes, champignons et rhizobactéries pour un renforcement de la croissance végétale et l'inoculation du sol ou de l'environnement avec des agents de lutte biologique (pour le contrôle des insectes ravageurs et des maladies), ou avec de la faune utile (comme les vers de terre).

Les interventions indirectes sont des moyens de gestion des processus biologiques des sols par la manipulation des facteurs qui contrôlent l'activité biotique (structure de l'habitat, microclimat, nutriments, et ressources énergétiques), plutôt que les organismes eux-mêmes (Hendrix et al. 1990).

Des exemples d'interventions indirectes comprennent la plupart des pratiques agricoles (p.e., l'application de matières organiques dans le sol, le labourage, la fertilisation, l'irrigation, la fumure verte, et le chaulage), la conception de systèmes de culture, et la gestion. Certaines interventions modernes incluent le contrôle génétique de la fonction des sols par la manipulation des résidus végétaux et de la qualité de la rhizosphère (les exsudats racinaires) et la résistance aux maladies et aux ravageurs.

ressources et de la gestion des dimensions spatiales (p.e., des considérations pour les associations et les paysages) et temporelles (p.e., culture pérenne et rotation) (Voir également les chapitres 13 et 14). En outre, ces interventions ont des conséquences considérables pour l'activité biologique et la biodiversité des sols.

Au cours des quinze dernières années, les scientifiques ont particulièrement porté leurs attentions sur la manipulation de la décomposition des MO; le but étant d'atteindre une synchronie optimale entre ses processus de décomposition, immobilisation, et minéralisation et les exigences en nutriments des plantes en croissance (Myers et al 1994; Palm et al. 2000, 2001). Il a été démontré qu'il y avait une plus grande différenciation spatiale et temporelle des chaînes alimentaires et des processus souterrains par rapport aux sols cultivés de manière classique lorsque l'agriculture est limitée et les résidus de récolte sont retenus sur la surface du sol (p.e., en semis direct ou dans des systèmes de travail minimum), (Chambers et Parmelee 1985; Brown et al. 2002b). Par un labour conventionnel, on retrouve des réseaux alimentaires à base de bactéries jouant un rôle important, particulièrement dans la couche labourée. Par conséquent, les bouffées de minéralisation suite au labourage peuvent entraîner une perte supérieure des MO

et une diminution de la rétention des éléments nutritifs. D'autre part, dans les systèmes de semis directs où les réseaux alimentaires sont à base de champignons; celles-ci influencent la disponibilité des éléments nutritifs et la stabilité des agrégats du sol et tendent à augmenter la rétention d'azote et à réduire le lessivage (Hendrix et al. 1986).

### *La mise en pratique de la gestion biologique intégrée du sol*

#### LA RECONNAISSANCE DE L'IMPORTANCE DU BIOTE DU SOL

La gestion intégrée du biote du sol, la biodiversité et les écosystèmes agricoles forment un processus holistique qui repose en grande partie sur les ressources locales, le climat, les conditions socio-économiques, et surtout sur la participation directe des agriculteurs et des autres parties prenantes dans l'identification et l'adaptation des pratiques de gestion à leur contexte spécifique. La figure 9.3 (Adapté de Chambers 1991; Swift et al 1994; Swift, 1997) schématise un processus en sept étapes dans lequel toutes les parties prenantes sont impliquées dans un processus qui passe du diagnostic des problèmes à travers des tests d'adaptation à l'adoption des technologies.

Reconnaître que le biote du sol joue un rôle clé dans le maintien de la production agricole constitue la première étape vers une gestion saine et une solide préservation (étape 1). Traditionnels ou modernes, les agriculteurs et les exploitants des différentes cultures agricoles ne sont toujours pas assez au courant de l'importance des rôles du biote du sol sur la production (Kevan, 1985; Puentes Swift et 2000). De nombreuses sociétés continuent à craindre les insectes et à mépriser les vers de terre. Ceci peut expliquer les pratiques agressives contre le biote qui ont été si répandue jusqu'à tout récemment (Lavelle, 2000). Par exemple, dans une enquête de 163 agriculteurs de l'état de Veracruz, au Mexique, 55% ignorent le rôle des vers de terre dans la fertilité des sols, et 11% les considèrent nuisibles, principalement parce qu'ils les confondaient avec les parasites intestinaux (Ortiz et al. 1999). Le manque de connaissances peut induire à des abus de l'écosystème du sol (p.e., la contamination des eaux de surface et des eaux souterraines, l'érosion, la perte de la biodiversité) ainsi qu'à la sous utilisation des avantages découlant de la gestion biologique des sols.

Lorsque des connaissances limitées et une nécessité d'une gestion alternative sont détectées, la sensibilisation et le renforcement des capacités devrait non seulement cibler les agriculteurs, mais aussi les agents de vul-

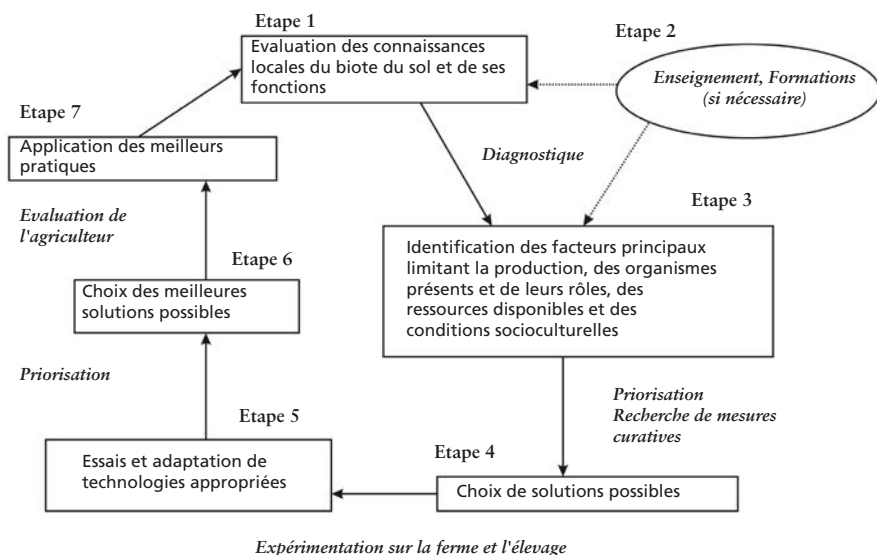


FIGURE 9.3. Les sept étapes pour une gestion et une conservation biologique optimale du sol (Modifiée d'après Swift 1997).

garisation, collectivités indigènes, fournisseurs de service, politiciens et industries responsables de la promotion de l'utilisation des terres en particulier et de la gestion pratiques ignorant l'importance du biote du sol et de ses fonctions (Étape 2). Dans le commerce agricole, la connaissance du rôle de certains organismes du sol peut être moins large que dans les des systèmes de subsistance de petits exploitants, car les pratiques intensives de gestion axées sur les produits contournent souvent les interactions des mécanismes biologiques par l'utilisation d'intrants extérieurs (notamment l'utilisation de pesticides ou d'herbicides plutôt que la lutte biologique contre les ravageurs et les mauvaises herbes, et utilisation d'engrais chimiques plutôt que la restauration des MO). De plus, les connaissances traditionnelles comme les techniques de maintien et de restauration d'un sol sain, de cultures durables, de l'élevage, ou d'un système agroforestier, sont de plus en plus perdues. Fournir des solutions de rechanges applicables aux systèmes intensifs est impératif car cela garantie un meilleur usage des processus écologiques favorables, la réduction des risques à moyen et à long terme et les potentiels dégâts advenant des pratiques traditionnelles comme les monocultures, le labour profond et fréquent et l'utilisation élevée les intrants chimiques.

L'identification des conditions locales et des ressources disponibles, qu'elles soient biotiques (l'homme, les plantes, les matériaux organiques le biote) ou abiotiques (les tractions mécaniques ou pas, les crédits ou fonds de roulement, les apports extérieurs, les nutriments du sol) sont essentielles pour déterminer les pratiques biologiques de gestion du sol applicables. Ce processus de diagnostique (étape 3, figure 9.3) renseigne sur les potentielles contraintes, les opportunités et les besoins à différents niveaux.

L'intérêt grandissant pour les principes écologiques et les égards portés sur la gestion ont fait que de nombreux ensembles de données ont été proposés, et ce afin de pouvoir évaluer les ressources environnementales et leur qualités respectives (Doran et Jones, 1996). Ces facteurs comprennent généralement la caractérisation des systèmes d'exploitation et des pratiques actuels des différents groupes d'agriculteurs, comme les ressources humaines disponibles, les ressources biologiques et les indicateurs biologiques de la qualité et rôle du sol (encadré 9.4). La particularité singulière des bio-indicateurs est qu'ils sont généralement capables de détecter les changements (positifs ou négatifs) dans l'agroécosystème, plus rapidement que les indicateurs traditionnels chimiques ou physiques de la qualité des sols.

Pour déterminer la qualité du sol, il existe jusqu'ici peu d'indicateurs biologiques (physiques et chimiques) qui ne sont souvent pas des entités indépendantes (p.e., la biomasse microbienne, la minéralisation potentielle de l'azote, la respiration du sol et le taux de respiration par rapport à la biomasse microbienne proposés par Doran et Parkin, 1994). Réduire les indicateurs redondants à un seul indicateur ou à un petit nombre d'indicateurs intégrés tel que le potentiel de minéralisation de l'azote (Keeney et Nelson 1982) simplifie bien le problème. Cependant, il ne résout pas le problème essentiel que ces indicateurs sont directement concernées par la transformation des éléments, et non à la structure du sol ou aux propriétés hydrologiques et biologiques de la couche arable. Par conséquent, il faudrait identifier un ensemble minimal de bio-indicateurs qui soient en relation avec les éléments nutritifs, les contaminants, la structure du sol ainsi que les propriétés hydrologiques de la couche arable (Brussaard et al. 2004) et qui ont pour fonction supplémentaire de :

- Signaler les modifications de la qualité du sol de façon plus rapide ou plus précise que les indicateurs chimiques et physiques. Un exemple est montré dans la figure 9.4, où le carbone de la biomasse microbienne

#### Encadré 9.4. Les indicateurs de la qualité des sols: que sont-ils et pourquoi les utiliser?

Les indicateurs de la qualité des sols sont des propriétés biologiques, physiques et chimiques et des processus responsable de surveiller l'évolution des fonctions du sol (Muckel et Mausbach 1996). Ils sont des outils quantitatifs qui évaluent la santé du sol et fournissent un avertissement précoce de la dégradation du système, permettant ainsi aux exploitants des terres de réagir avant l'avènement de dommages irréversibles (Pankhurst et al. 1997). Les indicateurs doivent être réactifs, résistants et sensibles (détectable par le bruit de fond), significatifs et prédictifs (bonne interaction entre l'indicateur et la fonction), et facile à mesurer et à interpréter. Quelques exemples d'indicateurs associés avec une activité biologique dans les sols sont les suivants (d'après Brown, 1991; Stork et Eggleton 1992; Doran et al. 1994; Oades et Walters, 1994; Doran et Jones, 1996; Pankhurst et al. 1997; Straalen van 1998; Paoletti 1999):

- La biodiversité à l'échelle moléculaire, génétique, taxonomique et fonctionnelle.
- Les organismes et leurs propriétés (présence-absence, la biomasse et la densité en espèces, genres, communauté, ou les classes de groupe fonctionnel), tels que certaines bactéries et champignons, les nématodes, les protozoaires, les vers de terre, les termites, les fourmis, certains coléoptères, les isopodes, les mille-pattes, les araignées, les mouches, les collemboles, les acariens, les racines, nombres des graines de mauvaises herbes, les agents pathogènes des plantes et de l'alimentation des racines, carbone et azote de la biomasse microbienne.
- Les processus du sol qui sont influencés par les activités biologiques, comme le compactage, l'agrégation et la stabilité des agrégats, l'érosion, l'infiltration d'eau, le carbone et l'azote potentiellement minéralisable, la fixation de l'azote, la nitrification et la dénitrification, la respiration du sol, les taux de décomposition, les activités enzymatiques, et l'ergostérol.
- La capacité du sol à supporter et soutenir la croissance des plantes reste l'indicateur ultime de la qualité et de la santé des sols dans les agroécosystèmes (Pankhurst 1994)

indique à un stade précoce des changements advenant précisément dans les MO du sol.

- Donner une évaluation intégrée des changements physiques, chimiques et des propriétés biologiques. En écotoxicologie, par exemple, les organismes de l'eau ou du sol sont utilisés pour l'évaluation intégrée des multiples effets des contaminants sur la croissance, de la reproduction, de la longévité des organismes et des processus biologiques associés. De

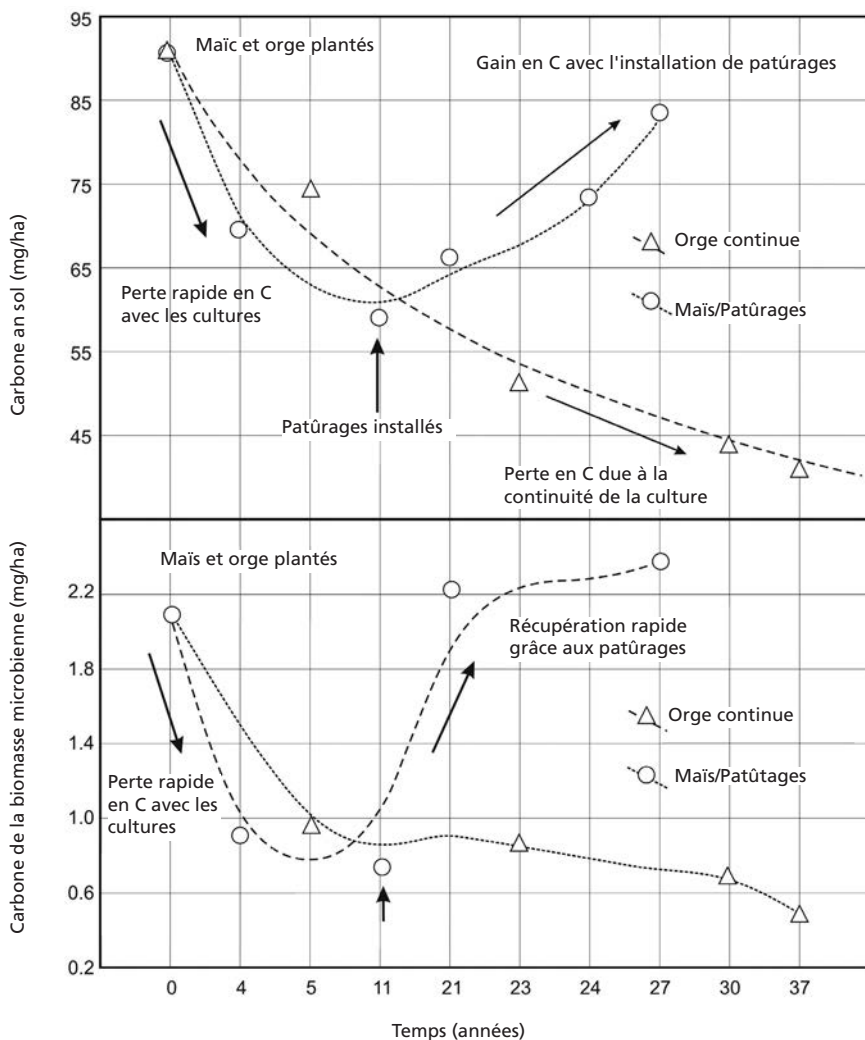


FIGURE 9.4. Motifs sur un axe de temps en année de la perte ou du gain total de carbone dans le sol et du carbone de la biomasse microbienne dans la couche arable (0-20cm) dans des cultures de maïs et d'orge continue et avec un pâturage installé après 11 années de maïs. À noter la récupération plus rapide de la biomasse de carbone (par rapport au carbone total du sol), après les installations des pâturages (TG Shepherd, pers. Comm., 2002).

même, les vers de terre peuvent indiquer la disponibilité des MO, et par conséquent celle des nutriments du sol et de la capacité de rétention d'eau, la porosité, l'agrégation et l'activité microbiologique aérobie.

Les agriculteurs individuels ont absolument besoin d'une utilisation réelle de ces indicateurs. Par conséquent, l'évaluation visuelle peut être un bon point de départ, comme décrit une méthode développée par Shepherd (2000) en Nouvelle-Zélande. Cette méthode est très simple et ne nécessite qu'une inspection visuelle de l'agriculteur d'une pelletée du sol en termes de structure, porosité, couleur, marbrures, et nombre de vers de terre. Par la suite, les valeurs évaluées sont enregistrées sur une carte de pointage du sol, et classées sur une échelle allant de mauvaise à bonne. Les stipulations visuelles des agriculteurs peuvent être accordées et appuyées par des analyses de laboratoire spécifiques à la qualité chimique, physique et biologique du sol. Plus de 90% des agriculteurs et des scientifiques ayant adopté ce système le considèrent à la fois pratique et scientifiquement implacable.

La FAO est en cours d'élaborer un kit d'évaluation visuelle du sol et qui comprend les lignes directrices de la gestion des sols, nécessaires à l'amélioration des sols et à la prévention de leur dégradation et à l'adoption d'une stratégie de gestion durable des exploitations agricoles (Benites, comm pers, 2005). En Asie, Le programme de la FAO de la Gestion Intégrée des Communautés d'insectes Ravageurs a également publié une brochure très utile comprenant des séries d'exercices d'apprentissage de la gestion intégrée des sols (Settle, 2000). La FAO publiera sous peu un manuel d'évaluation de la qualité biologique du sol et de sa faune. Cependant, les outils d'évaluation (comme les entretiens avec les agriculteurs, les enquêtes et les kits pour un sol sain) doivent encore être adaptés aux conditions spécifiques des petites exploitations agricoles dans les régions tropicales humides et semi-arides, et ce afin que les agriculteurs et les vulgarisateurs puissent les adopter. Plus les mesures et les méthodes sont simples, telles que celles décrites antérieurement, plus elles sont profitables et susceptibles d'être largement adoptées.

#### LA COMPENSATION DES LIMITATIONS INHÉRENTES

Une fois les principales contraintes biotiques et abiotiques identifiées, elles doivent être classées hiérarchiquement et donner suite à une sélection d'alternatives possibles adaptées à l'homme, au climat, au sol et aux conditions de l'agroécosystème. Ces contraintes peuvent se placer sur un ou plusieurs plans: social, culturel, économique, politique, agronomique, biologique, environnemental, édaphique et génétique. Ainsi, contourner les limitations posées à la production agricole par une utilisation de ressources locales ou importées, par l'information et l'aptitude, et connaître comment les pra-



tiques agricoles et le biote interagissent, permet d'anticiper des options de gestion et différentes solutions.

Malheureusement, l'information sur les impacts des différentes pratiques agricoles sur le biote n'englobe pas tous les types d'organismes au sol. Il est éventuellement possible qu'il existe des différences considérables dans les résultats des différentes pratiques appliqués sur un même organisme ; ou alors d'une même pratique sur les différents organismes. Alors que certains organismes sont vulnérables à certaines stratégies de gestion du sol et deviennent localement éteintes, d'autres y réagissent positivement et en profitent pour accroître leur abondance, la biomasse, et les actions au sol.

Pour assurer une bonne évaluation de l'effet d'une espèce particulière sur une fonction donnée du sol et l'effet des pratiques de gestion sur les populations et leurs activités, les mesures des échantillons doivent être entamées selon des échelles spatio-temporelles appropriées à cette espèce

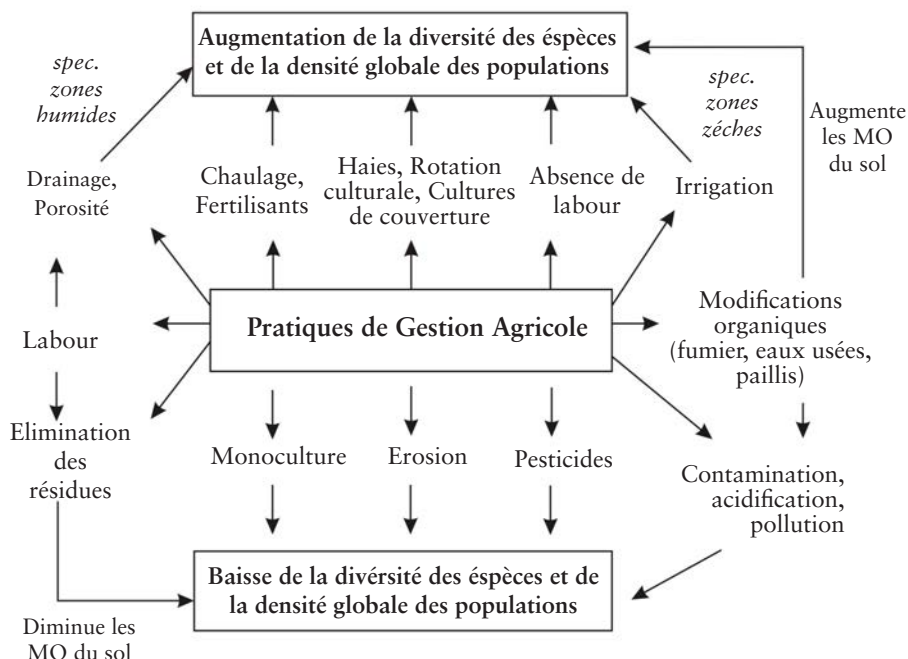


FIGURE 9.5. L'effet de différentes pratiques de gestion agricole sur le biote du sol (modification d'Hendrix et al. 1990).

**Tableau 9.3.** Contraintes posées par les différentes pratiques de gestion agricole et leurs effets sur le biote et les fonctions du sol.

Pratique de gestion	Contraintes	Fonction et effet sur le biote
<b>Labour</b>	Travail, outils et machines, coût, les maladies du sol, terres en pente	Décomposition plus rapide de la MO, taux élevé de bactéries champignons, baisse des populations de la macrofaune et de la mésofaune, augmentation à court terme de la disponibilité des éléments nutritifs, mais augmentation de leur pertes sur le long terme, croissance des racines dans la couche labourée, risques d'érosion élevés.
<b>Sans labou /semis directe /pas de travail sur la terre</b>	Machines, coût, compactage du sol et textures lourdes, lutte antiparasitaire	Un nombre plus élevé des populations de la macrofaune, de la mésofaune, et de la microfaune; un ratio plus grand de bactéries champignons; accumulation de matière organique sur la surface du sol, conservation des éléments nutritifs; baisse du ruissellement et de l'érosion; augmentation en terme de présence et d'incidence de ravageurs et de maladies associés à litière.
<b>Apport des matières organiques (MO)</b>	Disponibilité, travail, présence d'élevage, coût	Des variations des taux de décomposition et des populations d'organismes (certains augmentent, d'autres diminuent selon le type de la matière); augmentation de la disponibilité des éléments nutritifs, le stockage et les échanges; amélioration de la structure physique du sol et de la circulation de l'eau; diminution de l'acidité et de la toxicité aluminique; action plus importante des microbes et de la faune, en particulier celle des détritivores.
<b>Fertilisation</b>	Coût, disponibilité	Souvent une réduction de la fixation des mycorhizes et du N <sub>2</sub> (Avec P et N, respectivement), changements dans l'équilibre de la relation minéralisation-immobilisation, augmentation de la production végétale et des apports de matières organiques, l'augmentation des populations de certains organismes par augmentation des denrées alimentaires.
<b>Pesticides</b>	Coût, impacts environnementaux et sur la santé	Réduction de l'incidence des maladies, des ravageurs, des parasites et des organismes pathogènes, mais aussi des effets négatifs sur des éléments non ciblés du biote tels que les insectes bénéfiques et les vers de terre; amélioration de la production végétale, mais souvent création de dépendance; déstabilisation des cycles nutritifs, la perte de la structure du sol; une résistance du biote cible sur le long terme.

*Tableau 9.3, suite à la page suivante*

Tableau 9.3, suite

Pratique de gestion	Contraintes	Fonction et effet sur le biote
Irrigation ou inondations	Coût, pente, travail, les outils, disponibilité de l'eau	Disponibilité de l'eau, la neutralisation du pH, des changements dans la disponibilité et le recyclage des éléments nutritifs (souvent des processus anaérobie plus élevés), Fixation asymbiotique de N <sub>2</sub> plus élevée, augmentation des populations vulnérables à la sécheresse, baisse du nombre de biotes sensibles, baisse les taux de décomposition des matières organiques, la dépression des maladies transmises par le sol et des mauvaises herbes.
La rotation des cultures	Admission sociale, les coûts potentiels, compatibilité des agroécosystèmes, le climat, les conditions du sol	Effet de rotation, et amélioration de la productivité et gestion des ravageurs et des maladies; une utilisation plus efficace des éléments nutritifs du sol, une plus grande diversité à la surface et dans le sol; plus de populations, de biomasse, et d'activité de la plupart des organismes (notamment les légumineuses); amélioration de l'agrégation et de l'infiltration du sol; densité apparente réduite; plus de matières organiques.
L'inoculation de certains éléments du biote du sol (par exemple, les rhizobiums, mycorrhizes, les vers de terre, rhizobactéries, antagonistes, agents de lutte biologique)	Coût, disponibilité, adaptabilité de l'environnement, concurrence ou remplacement du biote naturel, conditions appropriées du sol	Augmentation de la fixation de l'azote, de la disponibilité des nutriments dans le sol, de l'absorption d'eau, et de l'efficacité de l'absorption de nutriments par les végétaux; des récoltes plus élevées; une meilleure tolérance au métaux lourds, une meilleure résistance aux maladies végétales, insectes ravageurs, parasites ; augmentation de la porosité du sol, de l'aération, de la stabilité des agrégats, de l'infiltration de l'eau, et de la capacité de rétention; des taux plus rapides de décomposition et de recyclage des éléments nutritifs.

Source: Ampliado a partir de Swift (1997)

particulière. Autrement dit, elles doivent être entreprises dans le domaine fonctionnel de cette espèce, ce qui peut souvent s'avérer un défi méthodologique de taille.

Cependant, malgré la complexité de cette tâche, il existe certaines règles générales qui peuvent localement être utilisées avec les agriculteurs pour prédire les impacts de la gestion et intervenir dans le choix d'éventuelles solutions. Quelques unes sont présentées dans la figure 9.5 et le tableau 9.3 qui détaillent les contraintes majeures sur les différentes pratiques de gestion et leurs effets sur la fonction du sol.

L'environnement du sol, le nombre et les types de ses organismes en particulier, sont complètement bouleversés par le labourage agricole. En général, quand une terre forestière ou le pâturage est converti en une culture, la quantité et la qualité des résidus végétaux, ainsi que le nombre d'espèces de plantes plus hautes sont considérablement réduits, ce qui limite la disponibilité en habitats et en sources de nourriture pour les organismes du sol. Ainsi, Le taux des différents organismes et de leurs interactions est également sensiblement modifié. D'une manière générale, le labourage, les monocultures, l'usage des pesticides, l'érosion, ainsi que la contamination et la pollution des sols ont des effets négatifs sur la plupart des organismes. Leurs effets doivent être observés et les pratiques adaptées, évitées, ou minimisées dans la mesure du possible. D'autre part, des pratiques telles que l'épandage de déchets organiques, l'utilisation modérée d'engrais, la rotation des cultures, l'irrigation des terres arides et le drainage dans les zones humides ont généralement des effets positifs sur les densités les organismes du sol, la diversité et l'activité. Dans la plupart des cas, ces pratiques peuvent également être améliorées pour une utilisation plus efficace des ressources.

Cependant, les décisions des agriculteurs ne sont pas seulement sujettes à des facteurs biophysiques mais aussi à des considérations socio-économiques (Étape 4, figure 3). En effet, les contraintes les plus communes à l'utilisation des différentes stratégies de gestion biologique comprennent le coût monétaire des intrants achetés, la main d'œuvre et le temps, la disponibilité des ressources et des outils qui assurent leur application (tableau 9.3).

#### GESTION ADAPTATIVE: CHOISIR LES MEILLEURES SOLUTIONS

Après qu'un certain nombre de différentes solutions possibles a été sélectionné parmi les meilleures pratiques, innovations et nouvelles technologies, celles-ci devraient être testées en utilisant un processus de sélection

tion interactive et participative de l'expérimentation adaptative (Étape 5 dans la figure 9.3). L'Institut de biologie et de fertilité des sols tropicaux issue du Centre international d'agriculture tropicale a mis au point une approche de gestion adaptative des processus biologiques du sol, mettant l'accent sur un processus itératif, l'interaction coopérative entre les agriculteurs, les vulgarisateurs, les animateurs des communautés indigènes, et les scientifiques (TSBF 2000). Dans ce processus d'adaptation, différents traitements et techniques sont testés simultanément et répétés sur plusieurs cycles de cultures, et ce afin d'identifier les stratégies économiques les plus adaptable au contexte social.

L'approche école paysanne (Farmer Field School) est utilisée par la FAO en collaboration avec des partenaires en Afrique Orientale et en Asie. L'objectif de cette approche est de promouvoir, chez des groupes d'agriculteurs, cet apprentissage expérimental dans la gestion des sols et des eaux par le développement de modules de formation d'un processus dynamique axé sur les agriculteurs et une boîte à outils d'exercices pratiques. De plus, la FAO a produit des supports de formation pratiques sur l'agriculture de conservation tel que le « Land and Water Digital Media Series » (Voir CD N° 27 et 22 à [www.fao.org/landandwater/lwdms.stm](http://www.fao.org/landandwater/lwdms.stm)).

Ce sont les agriculteurs et autres parties prenantes dans le processus décisionnel qui, finalement, sélectionnent les technologies voulues ou appropriées pour la mise en œuvre à différents niveaux (étape 6, figure 9.3). La décision finale des parties prenantes sur les stratégies à adopter peut considérablement varier d'un petit agriculteur à un autre plus grand et selon les ressources naturelles dont ils disposent.

#### LA MISE EN APPLICATION DE LA GESTION BIOLOGIQUE INTÉGRÉE

L'adoption de la gestion biologique intégrée des sols (étape 7, figure 9,3) est un processus d'apprentissage participatif à long terme découlant du diagnostique, de l'analyse des options, des priorités, du choix, de l'essai, de l'adaptation, de la discussion, d'un accord, et du choix de la meilleure gestion biologique des sols. La dernière étape dans le cycle est l'évaluation par les agriculteurs des meilleures options dans le domaine et sur la décision de mettre en pratiques ces choix sur des échelles plus grandes et à long terme ou à revenir à leurs stratégies traditionnelles de gestion. C'est une étape critique dans laquelle tout le dur travail des étapes précédentes est souvent en cause. Certains services de soutien peuvent être nécessaires, comme par exemple la fourniture de semences d'espèces ou de variétés de cultures sélectionnées, la fourniture d'engrais à des prix et quantités voulus, la for-

mation des artisans pour la fabrication d'outils adaptés, la spécialisation d'autres agriculteurs dans la gestion du bétail et l'application des engrais et de la M.O.

## Gestion biologique de la fertilité des sols : quelques exemples

### *Importance de la gestion des matières organiques (M.O)*

Les stratégies de gestion les plus intéressantes pour conserver le biote du sol et maintenir à long terme la productivité globale ont été associées à la stimulation ou à l'entretien de nappes actives de MO dans les sols. Les Mo peuvent, en effet, augmenter grâce à la manipulation de l'ensemble du système de culture, à des combinaisons appropriées des cultures dans l'espace et le temps et des pratiques appropriées de gestion des sols. Elle est active dans la genèse d'un effet en cascade sur toute la vie au sol et ses fonctions physico-chimiques. Ce phénomène est souvent observé lorsque les écosystèmes altérés observent un processus de réhabilitation. Une fois que les plants sont établis, les racines commencent à pénétrer dans le sol et une couche de litière protectrice se forme sur la surface du sol, un effet synergique de la disponibilité accrue du carbone, des changements microclimatiques dans l'environnement du sol et des activités biologiques contribuent à accélérer le rétablissement de l'écosystème. Dans des milieux plus secs, l'humidité du sol est essentielle à ce processus de restauration et à l'accumulation de matières organiques. La rétention de l'humidité du sol peut être améliorée grâce à un couvercle de protection des cultures ou du paillis et à travers un travail minimum et une absence de labour qui conservent la biomasse des racines des plantes et de la M.O. du sol.

### *Gestion biologique indirecte des sols*

Un archétype de gestion de la récupération biologique des sols et de l'approche par écosystème est le cas des agriculteurs du Grupo Vicente Guerrero (GVG) à Tlaxcala, au Mexique (Ramos, 1998). Les sols dans l'État de Tlaxcala ont été cultivés depuis des milliers d'années en utilisant les méthodes traditionnelles (Gliessman 1990). Cependant, une exploitation intensive des sols fragiles et facilement érodable a fait que toutes les terres de l'Etat se fragilisèrent et s'envasèrent et eurent des problèmes de captage d'eau. Devant ces problèmes, il y a plus de 20 ans, des paysans du petit village de Vicente Guerrero ont lancé un programme pour générer, échanger

### Encadré 9.5. Les Méthodes de gestion adaptative et de conservation adoptées par la GVG, Tlaxcala, Mexique

Le GVG considère les résultats suivants comme certains de ses principaux succès:

- Une réduction significative de l'utilisation de produits agrochimiques par de nombreux agriculteurs qui, initialement rejetaient les engrais organiques, et l'élimination totale des produits agrochimiques dans certains champs d'agriculteurs.
- Augmentation de l'adoption de mesures de conservation des sols et de l'eau et la restauration des efforts des agriculteurs indigènes pour la maintenance de la fertilité des sols.
- Une plus grande incorporation de résidus de chaumes et de cultures dans le sol.
- Augmentation de la productivité agricole. Un des agriculteurs du groupe a remporté le premier prix dans un concours national pour la meilleure récolte de maïs séché avec un rendement en grains de 5,5- Mg / ha (beaucoup plus élevé que les rendements moyens de l'Etat).
- La reconnaissance formelle de leurs efforts par le gouvernement de l'Etat de Tlaxcala.
- Augmentation de la capacité du groupe à organiser et à attirer des financements extérieurs, grâce à l'expérience collective et un prestige bien mérité.

Les méthodes de gestion et de conservation adoptées sont les suivantes:

- Production de graines par des techniques qui améliorent la biodiversité des sols et ses fonctions biologiques.
- La rotation des cultures, avec les légumineuses comme principales cultures, l'amélioration des variétés indigènes de semences, et la diversification des associations de cultures afin d'élargir et d'améliorer la résilience des agroécosystèmes ainsi que les récoltes.
- Les méthodes de travail du sol à faible impact pour réduire les perturbations de sa structure et du biote.
- La production d'engrais organiques à l'aide de chaume, résidus de récolte, fumier de bétail, et d'engrais verts.
- Des mesures pour couvrir les sols afin de maintenir sa structure et sa teneur en humidité.
- Gestion des terres qui favorise la diversité végétale et animale et son association avec les activités biologiques du sol.
- Mosaïque de différentes cultures et des utilisations de la terre.
- Captage et conservation de l'eau de pluie pour les plantes, les animaux et les humains.
- Incorporation d'animaux de basse-cour (races de poulets, dindes et lapins), dont les excréments sont utilisés dans les jardins familiaux.
- Restauration de la biodiversité agricole par la plantation de cultures indigènes, de plantes médicinales et de différentes espèces d'arbres.

*Encadré 9.5, suite*

Les méthodes participatives et les différents outils sont les suivants:

- Visites aux champs des agriculteurs.
- Démonstrations sur le terrain des techniques de gestion des cultures et des sols.
- L'expérimentation directe à la ferme.
- Des diagnostics participatifs rapides.
- Ateliers, conférences, cours, jeux didactiques et spectacles de théâtre de la communauté.

De plus amples informations sur le GVG et cette étude de cas peuvent être trouvées dans Ramos (1998) et à [www.fao.org/ag/AGL/agll/soilbiod/cases/caseD1.pdf](http://www.fao.org/ag/AGL/agll/soilbiod/cases/caseD1.pdf).

et promouvoir les expériences qui pourraient améliorer leur qualité de vie et celle de leurs voisins.

Le succès de GVG repose sur un profond respect de l'environnement illustré par la gestion évolutive et intégrée des ressources naturelles locales et sur la ferme conviction que le partage des innovations est d'une indéniable obligation morale. Ceci a permis au groupe d'instaurer avec patience et succès un exemple d'échange agriculteur-agriculteur de leurs connaissances acquises auprès des animateurs de développement rural et des experts techniques.

Au cours des deux dernières décennies, Les membres de GVG ont formé plus de 2.000 paysans au Mexique et ailleurs en Amérique Latine. Quelques-uns des succès pratiques de la gestion adoptée sont indiqués dans l'encadré 9.5. Le succès de cette étude de cas met en évidence l'importance d'une approche intégrée et multilatérale pour le développement de systèmes d'exploitation agricole afin de garantir des résultats durables.

Dans l'Etat de Paraná au Brésil, au cours des 20 dernières années, un processus similaire en faveur du développement coopératif de la technologie, l'adaptation, et l'extension ont pris place, avec l'adoption généralisée résultant de l'agriculture de conservation pratique, en particulier l'agriculture sans labour.

Dans les années 70 et la plupart des années 80, après l'abandon de cultures de café et l'adoption de cultures annuelles par labour conventionnel (notamment le soja et le blé), une grande partie de l'état connut des problèmes similaires à ceux de la GVG au Mexique. Des ravines généra-



lisées, des rivières envasées, des inondations, des problèmes de qualité de l'eau, et des cultures gravement endommagées, forcent les agriculteurs à chercher des alternatives aux pratiques traditionnelles de préparation du sol (charrues à disques et à socs). Poussé par l'expérience des agriculteurs, l'adaptation et la demande, un partenariat entre le secteur industriel et les coopératives agricoles a été formé. Subventionné par l'état, il a pour but de promouvoir l'utilisation de planteuses sans labour qui pourraient être utilisées manuellement, avec une traction animale ou motorisée. Simultanément, des pratiques de gestion ont été élaborées reposant sur les rotations, couverture des cultures pour une gestion des mauvaises herbes et une protection des sols, et une circulation réduite pour minimiser le compactage du sol. Par conséquent, les cultures sans labour s'étendent maintenant sur près de 20 millions d'hectares au Brésil, dont 5,5 millions dans l'Etat de Paraná (25 % de la superficie de l'État). Leurs techniques sont particulièrement intéressantes du point de vue biologique, car elles évitent la perturbation des sols, mettent en place des MO (surtout à la surface; Sá 1993), et permettent la reprise de l'activité biologique des sols et l'amélioration de leur rôle dans la fertilisation des sols (House et Parmelee 1985; Hendrix et al 1990; Brown et al, 2002b.).

### *Les technologies de la gestion biologique complémentaire directe*

Bien que les interventions de haut niveau touchant les écosystèmes agricoles ont tendance à réussir et à influencer le système par le biais des effets en cascade à des niveaux bas et au pied de la chaîne alimentaire du sol, les technologies spécifiques qui manipulent directement le biote du sol sont également utiles et peuvent compléter les interventions indirectes à travers les MO et la gestion de l'écosystème agricole. Néanmoins, ces technologies sont généralement appliquées d'une manière plus limitée et ne doivent être adoptées qu'en cas de conditions particulières, en fonction des caractéristiques relatives à l'écosystème agricole. Les sections suivantes comprennent quelques exemples de techniques de gestion biologique du sol ayant recours aux micro-organismes et à la macrofaune, aux perspectives et avantages de leur usage ainsi qu'à quelques problèmes devant être résolus afin de généraliser leur adoption.

#### LES MICRO-ORGANISMES BÉNÉFIQUES DU SOL

Les micro-organismes bénéfiques comprennent ceux qui créent des associations symbiotiques avec les racines des plantes, qui promeuvent la

minéralisation des éléments nutritifs et leur disponibilité, qui produisent les hormones de croissance des végétaux et qui luttent contre les ravageurs de ces derniers, les parasites et les maladies. Une grande partie de ces organismes est naturellement présente dans le sol, bien que, dans certaines situations, il serait utile d'augmenter leur population, soit par inoculation, soit par l'application des diverses techniques de gestion agricole permettant d'améliorer leur abondance et leur activité.

Le rôle de la famille des bactéries des Rhizobiacées fixant le  $N_2$  dans la production agricole est probablement la forme la plus réussie et la plus commune de la gestion biologique directe (encadré 9.6). Les rhizobiums infectent les racines des végétaux, en créant des nodules où le  $N_2$  est fixé, fournissant aux végétaux l'apport le plus important en azote nécessaire à son développement. Les végétaux bien nodulés dotés d'une symbiose efficace sont capables de fixer plusieurs centaines de kilogrammes d'azote par hectare chaque année.

Une partie de cet azote est ajoutée au sol au cours de la croissance de la plante par les racines qui manquent d'étanchéité, bien que la plus grande partie de l'azote est transférée aux graines (légumineuses à grains) ou demeure au niveau des tissus végétaux afin d'être évacuée lors de la décomposition des résidus, au profit des cultures ultérieures ou intercalaires.

La colonisation antérieure des racines des légumineuses par les mycorhizes peut renforcer considérablement la nodulation par les rhizobiums pour finalement augmenter les avantages potentiels de croissance. L'augmentation du rendement avec inoculation a été bien documentée. Les limitations majeures sont discutées par Giller (2001) et Montañez (2002).

Néanmoins, malgré les avantages évidents de l'inoculation ou la gestion des rhizobiums, l'usage répandu de cette technique permettant de renforcer le rendement des légumineuses demeure limité par la promotion extensive des engrais azotés, par le marché qui n'encourage pas la culture des légumineuses, par une compréhension limitée de l'importance de la fixation du  $N_2$  ou l'adoption des inoculants de la part des agriculteurs, ainsi que par les contraintes environnementales (p.e., manque en phosphore du sol, sécheresse), par la mauvaise qualité des inoculants et leur disponibilité limitée, par la compatibilité génétique limitée des bactéries avec les légumineuses qui les accueillent, et finalement par le manque d'incitation politique et économique et l'absence d'infrastructure (Giller et al. 1994; Hungria et al. 1999).

Les mycorhizes sont des connections mutualistes très évolués entre les champignons du sol et les racines des plantes. La plante donne du carbone aux mycorhizes en échange d'une plus grande capacité à utiliser les

### Encadré 9.6. Inoculation: Avantages et Contraintes

La fixation biologique de l'azote (FBA) est cruciale pour la durabilité agricole, mais elle est souvent entravée par le manque de micro-organismes fixateurs d'azote efficaces et compétitifs dans le sol. Il existe un besoin évident d'améliorer la disponibilité, la qualité et la livraison de tels micro-organismes en raison de leur importance pour la production des cultures.

Les recherches portant sur la FBA se sont considérablement élargies au cours des dernières décennies, permettant ainsi une meilleure connaissance relative au processus.

Néanmoins, la mise en place des technologies liées à la FBA et son impact sur les systèmes agricoles ont été peu souhaités. Les inoculants ne jouent pas un rôle majeur dans la production de certaines légumineuses alimentaires importantes, et une grande partie des inoculants produits dans le monde reste de mauvaise qualité (FAO 1991). L'adoption spontanée ne peut être assurée qu'une fois que les agriculteurs ont vu et reconnu les avantages de la FBA et sont capables de surmonter les contraintes tout en collaborant avec les chercheurs, le secteur privé et les décideurs. Les possibilités d'améliorer les apports en FBA sont disponibles au niveau des différents écosystèmes agricoles ainsi qu'au niveau des conditions socio-économiques à travers les moyens suivants :

- Modification du nombre d'organismes efficaces, qu'ils soient symbiotiques ou associés dans le système (inoculation).
- Le renforcement des méthodes et des technologies d'inoculation.
- Le dépistage et la sélection des cultures et des souches microbiennes les plus appropriées.
- Les pratiques de gestion permettant d'améliorer la fixation du N<sub>2</sub> et recyclage des apports du filet N au sein du système de culture (exp. Rotation, application d'engrais verts, culture sans labour, usage stratégique des légumineuses ; Montañez 2002).

Plus d'informations traitant ce sujet sont disponibles dans : Giller (2001) et sur [www.fao.org/ag/AGL/agll/soilbiod/cases/caseB1.pdf](http://www.fao.org/ag/AGL/agll/soilbiod/cases/caseB1.pdf).

ressources issues du sol. Plus de 90% des plantes dans le monde sont des mycorhizes dont les degrés de dépendance et les avantages de ces échanges varient selon des conditions données. Bien que plusieurs autres types de symbiose mycorhiziennes existent, les plus connues et probablement les plus courantes impliquent les mycorhizes à arbuscules ou les endomycorhizes arbusculaires (compatibles avec de nombreuses espèces) et les ectomycorhizes (compatibles seulement avec les espèces ligneuses, surtout des arbres et arbustes) (Allen et al. 1995). Le rôle positif des mycorhizes dans la production végétale est bien documenté présentant de nombreuses

études de cas, particulièrement les plantes fragiles et très dépendantes, pour assurer la croissance et l'amélioration des rendements. Les réponses des végétaux peuvent provenir de différents facteurs, même si dans la plupart des cas, elles proviennent de l'augmentation au niveau des racines (assurant l'extraction d'eau et d'éléments nutritifs) car le réseau mycorhizien d'hyphes fonctionne comme une extension naturelle du système racinaire des plantes. D'autres avantages résultant de l'alliance mycorhizienne comprennent la protection renforcée contre les agents pathogènes, une meilleure tolérance aux polluants et une plus grande résistance au stress hydrique, à la température élevée du sol, au PH défavorable, et au choc de transplantation. Cependant, l'utilisation généralisée des inoculants mycorhiziens dans les agroécosystèmes a été entravée par la difficulté de cultiver les mycorhizes à arbuscules et de produire suffisamment d'inoculum à des prix abordables. En outre, l'efficacité de la symbiose diminue avec l'augmentation de la fertilité des sols (teneur en phosphore en particulier) ou avec l'application d'engrais en phosphore. Il semble que les utilisations pratiques actuelles des mycorhizes se concentrent sur la restauration des terres et des efforts de remise en état des sols, et sur l'inoculation d'éctomycorhizes à des plants d'arbres et de cultures en pépinières. Néanmoins, l'amélioration des populations naturelles de mycorhizes dans les champs agricoles (et leurs avantages potentiels pour la culture) est possible, et d'important avantages peuvent en découler si les diverses pratiques de gestion qui améliorent les populations mycorhiziennes et leur l'activité sont adoptées, notamment le labour réduit, la rotation des cultures, la baisse de l'utilisation d'engrais (en particulier l'azote et le phosphore), et le choix des hôtes appropriés pour accroître l'infection du sol avant le semis de la récolte principale (Abbott et Robson 1994). Ainsi, améliorer les possibilités d'actions des symbioses mycorhiziennes s'avère d'une utilité particulière dans les agroécosystèmes qui limitent l'utilisation des intrants extérieurs et dans l'agriculture biologique.

#### LA MACROFAUNE BÉNÉFIQUE AU SOL

Les pratiques de gestion biologique directe contribuent également à l'inoculation ou l'amélioration de l'activité des ingénieurs de l'écosystème du sol. Une expérimentation réussie de cette technique a été développée en Inde, en utilisant les vers de terre et des engrais organiques dans les jardins de thé du Tamil Nadu (Giri 1995; Lavelle et al. 1998; Senapati et al. 1999, 2002). La plantation de thé est une culture très importante en Inde où elle y est cultivée depuis bien plus de 100 ans. Ces dernières années,

et malgré l'utilisation accrue d'intrants externes tels que les engrais et les pesticides, la production de thé vert s'est stabilisée. L'exploitation à long terme des sols exclusivement pour les jardins de thé a provoqué le changement considérable des conditions physiques, chimiques et biologiques du sol, la baisse du contenu des MO, l'échange de cations, de la capacité de rétention d'eau, des populations de la macrofaune du sol (réduction jusqu'à 70%), du PH et l'augmentation des concentrations toxiques en aluminium.

En réponse à ces limitations sur la production de thé, une technologie brevetée appelée « fertilisation bio-organique dans les plantations arborées (FBO) » a été développée par Parry Agro Industries Ltd, en association avec l'Institut français de recherche pour le développement (IRD) et l'Université de Sambalpur (l'Orissa, Inde). Cette technologie vise à améliorer les conditions physiques, chimiques et biologiques du sol par inoculation d'un mélange de matières organiques de basse et de haute qualité (résidus d'élagage de thé et des engrais) et de vers de terre dans les tranchées creusées entre les rangs de théiers. Les mesures effectuées sur deux sites depuis 1994 ont montré que cette technique est beaucoup plus efficace que le 100% bio ou 100% de la fertilisation minérale seule. L'augmentation des rendements est en moyenne de près de 276% et les bénéfices pour un pourcentage égal (à partir de US \$ 2,000 / ha en utilisant des techniques classiques pour environ US \$ 7,600 / ha en utilisant FBO) dans la première année d'application. La technique a été étendue à d'autres pays, et les principes de son application peuvent être utiles à d'autres plantations. Les détails de la méthode sont donnés dans le document de brevet (réf. pct/fr 97/01363; voir également [www.fao.org/ag/AGL/agll/soilbiod/cases/caseA1.pdf](http://www.fao.org/ag/AGL/agll/soilbiod/cases/caseA1.pdf)).

Pourtant indirecte, une manipulation similaire des populations ingénieurs par l'application de MO sur la croûte des sols a augmenté l'activité des termites, a restauré la structure du sol et a largement amélioré la production végétale (Mando et al. 1997, 2002; voir également : [www.fao.org/ag/AGL/agll/soilbiod/cases/caseA2.pdf](http://www.fao.org/ag/AGL/agll/soilbiod/cases/caseA2.pdf)). Dans les dernières décades au Sahel, l'expansion des terres en jachère avec des croûtes sur la surface a sérieusement dégradé et réduit la production agricole les paysages. Toutefois, lorsque les agriculteurs Burkinabais ont placé du paillis sur ce type de sol, les termites migrant des zones voisines ont envahi le substrat organique et la couche arable et modifié considérablement l'évolution de sa structure physique. De nombreuses galeries ont été ouvertes à la surface du sol, ce qui a réduit la surface d'étanchéité. De plus, les macropores de formes et de tailles irrégulières créés tout au long de la couche arable, ont réduit le

compactage du sol, augmenté l'infiltration et le drainage de l'eau. De cette manière, l'implantation des cultures est à nouveau possible. Par ailleurs, les termites ont augmenté la décomposition et la minéralisation du paillis libérant des nutriments végétaux. Dans les parcelles paillées où les termites sont artificiellement exclues, les rendements de niébé ont été de moins 1% que dans les parcelles où les termites étaient présentes et actives. Ce travail a démontré à nouveau que les termites, loin d'être ravageuses dans les écosystèmes agricoles, peuvent être capitales dans la production de plants et les fonctions de l'écosystème et qu'il est possible de gérer leurs activités au bénéfice de l'homme dans certains cas.

Dans une grande partie de l'Afrique, les agriculteurs nettoient leurs champs de toute MO en raison de la peur des organismes nuisibles et des maladies, en particulier des termites, qui en absence de source de nourriture, s'alimentent directement des cultures, bien qu'elles préfèrent des matériaux secs. Il s'agit de convaincre ces agriculteurs à changer leur comportement, en ayant recours, par exemple, à des études des parcelles, de la valeur du paillis dans le renforcement de l'activité biologique et l'infiltration de l'eau, à la réduction de l'évaporation et en apportant l'humidité et les nutriments essentiels aux végétaux.

### *Accidents de la biodiversité des sols*

Les exemples ci-dessus font référence à des interventions planifiées visant l'amélioration des pratiques de gestion agricole par des moyens biologiques. Cependant, il arrive parfois que des accidents se produisent (Lavelle, 2000) et offrent l'occasion de tester les principes de la gestion biologique. Par exemple, la perte de groupes fonctionnels clés du biote dans un site particulier, et qui est généralement causée par une intervention humaine, peut avoir des impacts dramatiques (généralement négatifs) sur le fonctionnement des écosystèmes. Un tel exemple implique la destruction de la structure du sol et la dégradation des pâturages dans les sols de kaolin du bassin de l'Amazonie (Chauvel et al 1997, 1999; Barros et al 2004.). En Amazonie brésilienne, 95% de la superficie déboisée est convertie en pâturages, et environ 50% de ces terres peuvent être considérées comme dégradées en raison de la mauvaise gestion, des problèmes phytosanitaires, de la pauvre fertilité des sols, et des modifications structurelles du sol (liées à l'activité faunique). Les sols de kaolin qui prédominent dans la région amazonienne ont une favorable mais fragile structure des micro-agrégats, en raison de sa faible teneur en métaux oxyhydroxydes. Quand une forêt est convertie en pâturages, le piétinement des machines puis celui du bétail

peut causer un grave compactage du sol, en particulier des 5 aux 10 premiers centimètres de sa couche supérieure (Chauvel et al. 1997).

Plus important encore est que la communauté de la macrofaune de base du sol forestier s'est radicalement altérée, avec la disparition de la plupart des taxons indigènes. Par son invasion opportuniste, le lombric de l'espèce *Pontoscolex corethrurus* occupe les niches vides, atteignant une biomasse de plus de 450 kg / ha (Près de 90% de la biomasse totale de la faune du sol). Cette espèce produit annuellement plus de 100Mg/ha de sécrétions coulantes, entraînant une baisse spectaculaire de la macroporosité du sol jusqu'à un niveau équivalent à celui produit par l'action de lourdes machines sur le sol (2.7 cm<sup>3</sup>/100 g). Au cours de la saison des pluies ces moulages remontent à la surface du sol, le saturent et produisent une couche boueuse épaisse où des conditions anaérobies prévalent (elles entraînent simultanément des émissions de méthane et la dénitrification). Durant la saison sèche, la dessiccation de la surface engendre des fentes qui bloquent la croissance des racines et entravent leur capacité à extraire l'eau du sol. Par conséquent, les plantes flétrissent et meurent, laissant des territoires dénudés dans le pâturage (Chauvel et al. 1997).

Une expérience réalisée au Brésil à proximité de Manaus a démontré le rôle de *P. corethrurus* et d'un ensemble d'organismes (par exemple, d'autres espèces de lombric, les termites, les mille-pattes, les isopodes, les fourmis) dans la destruction et la recréation la structure du sol (Barros et al. 2004). Des monolithes de sol carrés (25 par 25cm) ont été retirés du pâturage et placés dans la forêt; parallèlement, de similaires blocs ont également été enlevés de la forêt et placés dans le pâturage. Après un an, la structure compactée du sol des pâturages a été entièrement restaurée en une composition typique des sols forestiers ; et ce grâce à l'action des diverses communautés d'invertébrés vivant au sol forestier. Au même moment, la structure riche en macroagrégats du sol de la forêt a été complètement détruite par *P. corethrurus*, atteignant des niveaux de compactage et de porosité similaires à ceux des pâturages dégradés.

Cette recherche met le point sur l'importance d'une diversification des ensembles de macroinvertébrés dans le maintien de la structure du sol (en particulier dans les sols de kaolin), mais aussi les problèmes de gestion des sols résultant du manque de considérations environnementales (vaste pâturages sur les sols à problèmes après le déboisement) et le rôle des espèces envahissantes dans les propriétés et les processus des écosystèmes. Il est important que les résultats de ces recherches soient mis à disposition de la formation des agriculteurs et des vulgarisateurs, étant donné que le partage d'expériences entre les agriculteurs et les chercheurs catalyse

l'innovation et la gestion adaptative et rétroagit sur les contraintes qui doivent être résolues.

## Conclusion

Nous avons d'abord constaté que le biote du sol englobe une proportion importante de la diversité biologique terrestre. Grâce à son rôle polyvalent dans la production de biens et de services, ses éléments contribuent de manière significative au bien-être de l'homme. Leurs impacts bénéfiques touchent aux produits agricoles à la régulation du climat et la qualité des eaux souterraines.

Pourtant, ce groupe d'organismes demeure largement méconnu du grand public, largement ignoré dans les évaluations scientifiques de la biodiversité, et négligé dans le développement des systèmes agricoles. Ceci est une grave omission compte tenu des connections très étroites et très complexes entre organismes au sol et ceux en dehors du sol, notamment les plantes. Bien que l'application d'une gestion fondée sur la connaissance de ces organismes reste limitée, des progrès significatifs ont été réalisés dans l'élaboration des principes et des méthodes. Le développement et l'exploitation de ces approches méritent d'être considérés parmi les plus sérieux défis du siècle à venir.

Il est nécessaire de clarifier les impacts des changements de gestion sur le fonctionnement des écosystèmes sur le long et le court terme, pour des systèmes agricoles durables et plus productifs. Cela implique la nécessité de développer des indicateurs appropriés qui fassent mieux connaître l'utilisation des terres et les interactions de la biodiversité du sol ; et qui facilitent encore plus le suivi et l'évaluation des tendances, des impacts et des progrès dans la promotion de la conservation et l'utilisation durable des agroécosystèmes et de leurs composants. Ces indicateurs devraient faciliter le suivi à différentes échelles spatiales, contribuer à une gestion adéquate des ressources et de la biodiversité au niveau local national, et proposer une vue d'ensemble régionale et mondiale de la biodiversité et de l'état, ainsi que des tendances des ressources naturelles.

Le sol, les cultures et les pratiques de lutte antiparasitaire sont souvent développés en tant que technologies distinctes et leurs impacts sur le fonctionnement d'autres parties de l'écosystème sont ignorés. Le développement de stratégies de gestion orientées vers les écosystèmes sous-entend un système d'approche intégré, plutôt que des composants et des études réductrices. Des stratégies et des recommandations qui répondent



plus efficacement aux objectifs des agriculteurs et des éleveurs peuvent être développées, si les processus du sol sont traités simultanément par une approche systémique, en tenant compte de la gestion des interactions sol-eau-agriculture-élevage-homme. De nombreux cas démontrent des effets positifs ou négatifs des pratiques de gestion des sols biologiques conçues pour améliorer la productivité agricole et la durabilité des agroécosystèmes. Les conséquences des pratiques et des technologies de gestion peuvent être particulièrement désastreuses lorsque les stratégies de gestion ne sont pas appropriées au contexte de l'écosystème, ou lorsque le manque de connaissances fausse l'évaluation adéquate des risques potentiels ou des contraintes. D'autre part, lorsqu'on considère les caractéristiques des écosystèmes, les opportunités spécifiques et les contraintes potentielles du système d'exploitation, il est plus probable, bien que pas garanti, que les interventions réussissent. La gestion biologique intégrée des sols et des agroécosystèmes requière une connaissance des organismes du sol, de leurs interactions et besoins, de l'effet de diverses pratiques sur leurs populations et fonctions, ainsi que des connaissances sur les environnements du sol, des végétaux, des animaux, des agroécosystèmes et du climat, sans oublier les contextes socio-économiques et humains.

## Remerciements

Les auteurs tiennent à remercier la FAO, à travers le programme de partenariat des Pays-Bas, et le programme Profix du Conseil national de développement scientifique et technologique du Brésil pour leur soutien lors de l'élaboration de ce chapitre. Nous remercions également J. Benites, D. Cooper, J.J. Jiménez, et un relecteur anonyme pour leurs commentaires et surtout D. Jarvis et L. Seers pour leur dur travail d'édition, sans lequel le présent chapitre n'aurait pas été publié. Pour de plus amples renseignements sur ce sujet, voir le portail de la FAO sur la biodiversité du sol ([www.fao.org/ag/AGL/agll/soilbiod/](http://www.fao.org/ag/AGL/agll/soilbiod/)).

## Références

- Abbott, L. K. and A. D. Robson. 1994. The impact of agricultural practices on mycorrhizal fungi. In C. E. Pankhurst, B. M. Doube, V. V. S. R. Gupta, and P. R. Grace, eds., *Soil Biota: Management in Sustainable Farming Systems*, 88–95. East Melbourne, Australia: CSIRO.

- Allen, E. B., M. F. Allen, D. J. Helm, J. M. Trappe, R. Molina, and E. Rincon. 1995. Patterns and regulation of mycorrhizal plant and fungal diversity. *Plant Soil* 170:47–62.
- Amman, R. and W. Ludwig. 2000. RNA ribosomal- targeted nucleic acid probes for studies in microbial ecology, *Federation of European Microbiological Societies Microbiology Reviews* 24:555–565.
- Anderson, J. M. 1994. Functional attributes of biodiversity in land use systems. In D. J. Greenland and I. Szabolcs, eds., *Soil Resilience and Sustainable Land Use*, 267–290. Wallingford, UK: CAB International.
- Anderson, J. M. 1995. Soil organisms as engineers: Microsite modulation of macroscale processes. In C. G. Jones and J. H. Lawton, eds., *Linking Species and Ecosystems*, 94–106. New York: Chapman and Hall.
- Anderson, J. M. 2000. Foodweb functioning and ecosystem processes: Problems and perceptions of scaling. In D. C. Coleman and P. F. Hendrix, eds., *Invertebrates as Webmasters in Ecosystems*, 3–24. Wallingford, UK: CAB International.
- André, H. M., M.- I. Noti, and P. Lebrun. 1994. The soil fauna: The other last biotic frontier. *Biodiversity and Conservation* 3:45–56.
- Barros, M. E., M. Grimaldi, M. Sarrazin, A. Chauvel, D. Mitja, T. Desjardins, and P. Lavelle. 2004. Soil physical degradation and changes in macrofaunal communities in Central Amazon. *Applied Soil Ecology* 26:157–168.
- Bater, J. E. 1996. Micro- and macro- arthropods. In G. S. Hall, ed., *Methods for the Examination of Organismal Diversity in Soils and Sediments*, 163–174. Wallingford, UK: CAB International.
- Brown, G. G., I. Barois, and P. Lavelle. 2000. Regulation of soil organic matter dynamics and microbial activity in the drilosphere and the role of interactions with other edaphic functional domains. *European Journal of Soil Biology* 36:177–198.
- Brown, G. G., C. A. Edwards, and L. Brussaard. 2004. How earthworms affect plant growth: Burrowing into the mechanisms. In C. A. Edwards, ed., *Earthworm Ecology*, 13–49. Boca Raton, fl: CRC Press.
- Brown, G. G., M. Hungria, L. J. Oliveira, S. Bunning, and A. Montañez. 2002a. *Programme, Abstracts and Related Documents of the International Technical Workshop on Biological Management of Soil Ecosystems for Sustainable Agriculture*. Série Documentos Vol. 182. Londrina, Brazil: Embrapa Soja.
- Brown, G. G., A. Pasini, N. P. Benito, A. M. de Aquino, and M. E. F. Correia. 2002b. Diversity and functional role of soil macrofauna communities in Brazilian no-tillage agroecosystems. In *Proceedings of the International Symposium on Managing Biodiversity in Agricultural Ecosystems*, November 8–10, 2001, cd- rom, 1–20. Montreal: UNU/CBD.

- Brown, K. S. Jr. 1991. Conservation of neotropical environments: Insects as indicators. In N. M. Collins and J. A. Thomas, eds., *The Conservation of Insects and Their Habitats*, 349–403. London: Academic Press.
- Brussaard, L., V. M. Behan- Pelletier, D. E. Bignell, V. K. Brown, W. Didden, P. Folgarait, C. Fragoso, D. Wall- Freckman, V. V. S. R. Gupta, T. Hattori, D. L. Hawksworth, C. Klopatek, P. Lavelle, D. W. Malloch, J. Rusek, B. Söderström, J. M. Tiedje, and R. A. Virginia. 1997. Biodiversity and ecosystem functioning in soil. *Ambio* 26:563–570.
- Brussaard, L., T. W. Kuyper, W. A. M. Didden, R. G. M. de Goede, and J. Bloem. 2004. Biological soil quality from biomass to biodiversity: Importance and resilience to management stress and disturbance. In P. Schjønning, S. Emholt, and B. T. Christensen, eds., *Managing Soil Quality: Challenges in Modern Agriculture*, 139–161. Wallingford, UK: CAB International.
- CBD (Convention on Biological Diversity). 2002. *Action for a Sustainable Future: Decisions from the Sixth Meeting of the Conference of the Parties to the Convention on Biological Diversity*. Montreal, Canada: Secretariat of the Convention on Biological Diversity.
- Chambers, R. 1991. Farmer first: A practical paradigm for the third agriculture. In M. Altieri and S. B. Hecht, eds., *Agroecology and Small Farm Development*, 237–244. Boca Raton, fl: CRC Press.
- Chauvel, A., E. M. Barbosa, E. Blanchart, M. Grimaldi, J. Ferraz, P. D. Martins, O. Topall, E. Barros, T. Desjardins, N. F. Filho, I. P. A. Miranda, M. Sarrazin, and D. Mitja. 1997. Mise en valeur de la forêt et modifications écologiques. In H. Théry, ed., *Environnement et développement en Amazonie Brésilienne*, 42–75. Paris: Editions Berlin.
- Chauvel, A., M. Grimaldi, E. Barros, E. Blanchart, M. Sarrazin, and P. Lavelle. 1999. Pasture degradation by an Amazonian earthworm. *Nature* 389:32–33.
- Decaëns, T., L. Mariani, N. Betancourt, and J. J. Jiménez. 2001. Earthworm effects on permanent soil seed banks in Colombian grasslands. In J. J. Jiménez and R. J. Thomas, eds., *Nature's Plow: Soil Macroinvertebrate Communities in the Neotropical Savannas of Colombia*, 274–293. Cali, Colombia: CIAT.
- Doran, J. W., D. C. Coleman, D. F. Bezdick, and B. A. Stewart. 1994. *Defining Soil Quality for a Sustainable Environment*. SSSA Special Publication 35. Madison, WI: ASA.
- Doran, J. W. and A. J. Jones. 1996. *Methods for Assessing Soil Quality*. SSSA Special Publication 49. Madison, wi: asa. Doran, J. W. and T. B. Parkin. 1994. Defining and assessing soil quality. In J. W. Doran, D. C. Coleman, D. F. Bezdick, and B. A. Stewart, eds., *Defining Soil Quality for a Sustainable Environment*, 3–21. Madison, WI: ASA.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 1991. *Expert Consultation on Legume Inoculant Production and Quality Control*. Rome: FAO.

- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2002. *World Agriculture: Towards 2015/2030, Summary Report*. Rome: FAO.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2003. *Biological Management of Soil Ecosystems for Sustainable Agriculture*. World Resources Soil Reports 101. Rome: FAO.
- Giller, K. E. 2001. *Nitrogen Fixation in Tropical Cropping Systems*, 2nd ed. Wallingford, UK: CAB International.
- Giller, K. E., M. H. Beare, P. Lavelle, A.- M. N. Izac, and M. J. Swift. 1997. Agricultural intensification, soil biodiversity and agroecosystem function. *Applied Soil Ecology* 6:3-16.
- Giller, K. E., J. F. McDonagh, and G. Cadish. 1994. Can biological nitrogen fixation sustain agriculture in the tropics? In J. K. Syers and D. L. Rimmer, eds., *Soil Science and Sustainable Land Management in the Tropics*, 173-191. Wallingford, UK: CAB International.
- Giri, S. 1995. *Short Term Input Operational Experiment in Tea Garden with Application of Organic Matter and Earthworm*. M.Phil. thesis, Sambalpur University, Jyoti Vihar, India.
- Gliessman, S. R. 1990. Understanding the basis of sustainability for agriculture in the tropics: Experiences in Latin America. In C. A. Edwards, R. Lal, P. Madden, R. H. Miller, and G. House, eds., *Sustainable Agricultural Systems*, 378-390. Ankeny, IA: SWCS.
- Hågvar, S. 1998. The relevance of the Rio Convention on Biodiversity to conserving the biodiversity of soils. *Applied Soil Ecology* 9:1-7.
- Hawksworth, D. L. 1991. The fungal dimension of biodiversity: Magnitude, significance, and conservation. *Mycological Research* 95:641-655.
- Hawksworth, D. L. and M. T. Kalin- Arroyo. 1995. Magnitude and distribution of biodiversity. In V. H. Heywood, ed., *Global Biodiversity Assessment*, 107-191. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Hawksworth, D. L. and L. A. Mound. 1991. Biodiversity databases: The crucial significance of collections. In D. L. Hawksworth, ed., *The Biodiversity of Microorganisms and Invertebrates: Its Role in Sustainable Agriculture*, 17-29. Wallingford, UK: CAB International.
- Hendrix, P. F., D. A. Crossley Jr., J. M. Blair, and D. C. Coleman. 1990. Soil biota as components of sustainable agroecosystems. In C. A. Edwards, R. Lal, P. Madden, R. H. Miller, and G. House, eds., *Sustainable Agricultural Systems*, 637-654. Ankeny, IA: SWCS.
- Hendrix, P. F., R. W. Parmelee, D. A. Crossley Jr., D. C. Coleman, E. P. Odum, and P. M. Groffman. 1986. Detritus food webs in conventional and non- tillage agroecosystems. *BioScience* 36:374-380.

- Hillel, D. 1991. *Out of the Earth: Civilization and the Life of the Soil*. Berkeley: University of California Press.
- House, G. J. and R. W. Parmelee. 1985. Comparison of soil arthropods and earthworms from conventional and no-tillage agroecosystems. *Soil Tillage Research* 5:351-360.
- Hungria, M., M. A. T. Vargas, D. de S. Andrade, R. J. Campo, L. M. de O. Chueire, M. C. Ferreira, and I. C. Mendes. 1999. Fixação biológica do nitrogênio em leguminosas de grãos. In J. O. Siqueira, F. M. S. Moreira, A. S. Lopes, L. R. G. Guilherme, V. Faquin, A. E. Furtani Neto, and J. G. Carvalho, eds., *Inter-relação fertilidade, biologia do solo e nutrição de plantas*, 597-620. Lavras, Brazil: ufla.
- Ingham, E. R. 1999. The food web and soil health. In A. J. Tugel and A. M. Lewandowski, eds., *Soil Biology Primer*, B1-B10. Ames, IA: NRCS Soil Quality Institute.
- Ingham, R. E., J. A. Trofymow, E. R. Ingham, and D. C. Coleman. 1985. Interactions of bacteria, fungi, and their nematode grazers: Effects on nutrient cycling and plant growth. *Ecological Monographs* 55:119-140.
- Jones, C. G., J. H. Lawton, and M. Shachak. 1994. Organisms as ecosystem engineers. *Oikos* 69:373-386.
- Keeney, D. R. and D. W. Nelson. 1982. Nitrogen: Inorganic forms. In C. A. Black, D. D. Evans, L. E. Ensminger, J. L. White, and F. E. Clark, eds., *Methods of Soil Analysis*, Part 2, 682-687. Madison, WI: ASA.
- Kevan, D. K. M. 1985. Soil zoology, then and now—mostly then. *Quaestiones Entomologicae* 21:371.7-472.
- Lavelle, P. 1996. Diversity of soil fauna and ecosystem function. *Biology International* 33:3-16.
- Lavelle, P. 2000. Ecological challenges for soil science. *Soil Science* 165:73-86.
- Lavelle, P. 2002. Functional domains in soils. *Ecological Research* 17:441-450.
- Lavelle, P., I. Barois, E. Blanchart, G. G. Brown, L. Brussaard, T. Decaëns, C. Fragoso, J. J. Jimenez, K. Ka Kajondo, M. A. Martínez, A. G. Moreno, B. Pashanasi, B. K. Senapati, and C. Villenave. 1998. Earthworms as a resource in tropical agroecosystems. *Nature and Resources* 34:28-44.
- Lavelle, P., D. Bignell, M. Lepage, V. Wolters, P. Roger, P. Ineson, O. W. Heal, and S. Ghillion. 1997. Soil function in a changing world: The role of invertebrate ecosystem engineers. *European Journal of Soil Biology* 33:159-193.
- Lewinsohn, T. M. and P. I. Prado. 2005. How many species are there in Brazil? *Conservation Biology* 19:619-624.
- Lewinsohn, T. M. and P. I. Prado. 2006. *Síntese do conhecimento da biodiversidade brasileira*, Vol. I. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, Secretaria do Biodiversidade e Florestas, 21-109.
- Lowdermilk, W. C. 1978. *Conquest of the Land Through 7,000 Years*. Agriculture Information Bulletin 99. Washington, DC: USDA.

- Mando, A., L. Brussaard, and L. Stroosnijder. 1997. Termite- and mulch- mediated rehabilitation of vegetation on crusted soil in West Africa. *Restoration Ecology* 7:33-41.
- Mando, A., L. Brussaard, L. Stroosnijder, and G. G. Brown. 2002. Managing termites and organic resources to improve soil productivity in the Sahel. In G. G. Brown, M. Hungria, L. J. Oliveira, S. Bunning, and A. Montañez, eds., *Program, Abstracts and Related Documents of the International Technical Workshop on Biological Management of Soil Ecosystems for Sustainable Agriculture*, Série Documentos Vol. 182, 191-203 (also available at [www.fao.org/ag/AGL/agll/soilbiod/cases.stm](http://www.fao.org/ag/AGL/agll/soilbiod/cases.stm)). Londrina, Brazil: EMBRAPA Soja.
- McNeely, J. A., M. Gadgil, C. Levèque, C. Padoch, and K. Redford. 1995. Human influences on biodiversity. In V. H. Heywood, ed., *Global Biodiversity Assessment*, 711-821. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Montañez, A. 2002. Overview and case studies on biological nitrogen fixation: Perspectives and limitations. In G. G. Brown, M. Hungria, L. J. Oliveira, S. Bunning, and A. Montañez, eds., *Program, Abstracts and Related Documents of the International Technical Workshop on Biological Management of Soil Ecosystems for Sustainable Agriculture*, Série Documentos Vol. 182, 204-224. Londrina, Brazil: Embrapa Soja. Available at [www.fao.org/ag/AGL/agll/soilbiod/cases.stm](http://www.fao.org/ag/AGL/agll/soilbiod/cases.stm).
- Moreira, F. M. S., J. O. Siqueira, and L. Brussaard. 2006. Soil organisms in tropical ecosystems: A key role for Brazil in the global quest for the conservation and sustainable use of biodiversity. In F. M. S. Moreira, J. O. Siqueira, and L. Brussaard, eds., *Soil Biodiversity in Amazonian and Other Brazilian Ecosystems*, 1-12. Wallingford, UK: CABI.
- Muckel, G. B. and M. J. Mausbach. 1996. Soil quality information sheets. In J. W. Doran and A. J. Jones, eds., *Methods for Assessing Soil Quality*. SSSA Special Publication 49, 393-400. Madison, WI: ASA.
- Myers, R. J. K., C. A. Palm, E. Cuevas, I. U. N. Gunatilleke, and M. Brossard. 1994. The synchronisation of nutrient mineralisation and plant nutrient demand. In P. L. Woomer and M. J. Swift, eds., *The Biological Management of Tropical Soil Fertility*, 81-116. Chichester, UK: Wiley.
- Oades, J. M. and L. J. Walters. 1994. Indicators for sustainable agriculture: Policies to paddock. In C. E. Pankhurst, B. M. Doube, V. V. S. R. Gupta, and P. R. Grace, eds., *Soil Biota: Management in Sustainable Farming Systems*, 219-223. East Melbourne, Australia: CSIRO.
- Ortiz, B., C. Fragoso, I. Mboukou, B. Pashanasi, B. K. Senapati, and A. Contreras. 1999. Perception and use of earthworms in tropical farming systems. In P. Lavelle, L. Brussaard, and P. F. Hendrix, eds., *Earthworm Management in Tropical Agroecosystems*, 239-252. Wallingford, UK: CAB International.

- Palm, C. A., K. E. Giller, P. L. Mafongoya, and M. J. Swift. 2001. Management of organic matter in the tropics: Translating theory into practice. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 61:63–75.
- Palm, C. A., K. E. Giller, and M. J. Swift. 2000. Synchrony: An overview. In *The Biology and Fertility of Tropical Soils. Tropical Soil Biology and Fertility Programme Report 1997–1998*, 18–20. Nairobi, Kenya: tsbf.
- Pankhurst, C. E. 1994. Biological indicators of soil health and sustainable productivity. In D. J. Greenland and I. Szabolcs, eds., *Soil Resilience and Sustainable Land Use*, 331–351. Wallingford, UK: CAB International.
- Pankhurst, C. E., B. M. Doube, and V. V. S. R. Gupta. 1997. *Biological Indicators of Soil Health*. Wallingford, UK: CAB International.
- Paoletti, M. G. 1999. *Invertebrate Biodiversity as Bioindicators of Sustainable Landscapes: Practical Use of Invertebrates to Assess Sustainable Land Use*. Amsterdam: Elsevier.
- Pearce, T. G., N. Roggero, and R. Tipping. 1994. Earthworms and seeds. *Journal of Biological Education* 28:195–202.
- Pimentel, D., C. Wilson, C. McCullum, R. Huang, P. Dwen, J. Flack, Q. Tran, T. Saltman, and B. Cliff. 1997. Economic and environmental benefits of biodiversity. *BioScience* 47:747–757.
- Puentes, R. and M. J. Swift. 2000. Tropical soil ecology: Matching research opportunities with farmers' needs. In M. J. Swift, ed., *Managing the Soil Biota for Sustainable Agriculture: Opportunities and Challenges*. Nairobi, Kenya: tsbf.
- Ramos, S. F. J. 1998. *Grupo Vicente Guerrero de Española, Tlaxcala. Dos décadas de promoción de campesino a campesino*. México City, Mexico: Red de Gestión de Recursos Naturales and Rockefeller Foundation.
- Sá, J. C. M. 1993. *Manejo da fertilidade do solo no plantio direto*. Ponta Grossa, Brazil: Fundação abc.
- Sanchez, P. A. 1994. Tropical soil fertility research: Towards the second paradigm. In *Transactions of the 15th World Congress of Soil Science*, Vol. 1, 65–88. Acapulco, Mexico: ISSS.
- Sanchez, P. A. 1997. Changing tropical soil fertility paradigms: From Brazil to Africa and back. In A. C. Moniz, ed., *Plant–Soil Interactions at Low pH*, 19–28. Lavras, Brazil: Brazilian Soil Science Society.
- Senapati, B. K., P. Lavelle, S. Giri, B. Pashanasi, J. Alegre, T. Decaëns, J. J. Jiménez, A. Albrecht, E. Blanchart, M. Mahieux, L. Rousseaux, R. Thomas, P. K. Panigrahi, and M. Venkatachalan. 1999. In-soil technologies for tropical ecosystems. In P. Lavelle, L. Brussaard, and P. F. Hendrix, eds., *Earthworm Management in Tropical Agroecosystems*, 199–237. Wallingford, UK: CAB International.
- Senapati, B. K., P. Lavelle, P. K. Panigrahi, S. Giri, and G. G. Brown. 2002. Restoring soil fertility and enhancing productivity in Indian tea plantations with earthworms



- and organic fertilizers. In G. G. Brown, M. Hungria, L. J. Oliveira, S. Bunning, and A. Montañez, eds., *Program, Abstracts and Related Documents of the International Technical Workshop on Biological Management of Soil Ecosystems for Sustainable Agriculture*, Série Documentos Vol. 182, 172–190. Londrina, Brazil: EMBRAPA Soja. Available at [www.fao.org/ag/AGL/agll/soilbiod/cases.stm](http://www.fao.org/ag/AGL/agll/soilbiod/cases.stm).
- Settle, W. 2000. *Living Soils: Training Exercises for Integrated Soils Management*. Jakarta, Indonesia: fao Programme for Community ipm in Asia.
- Shepherd, T. G. 2000. *Visual Soil Assessment*, Vol. 1, *Field Guide for Cropping and Pastoral Grazing on Flat to Rolling Country*, 84. Palmerston North, New Zealand: Horizon.mw & Landcare Research.
- Stork, N. E. and P. Eggleton. 1992. Invertebrates as determinants and indicators of soil quality. *American Journal of Alternative Agriculture* 7:38–47.
- Swift, M. J. 1997. Biological management of soil fertility as a component of sustainable agriculture: Perspectives and prospects with particular reference to tropical regions. In L. Brussaard and R. Ferrera-Cerrato, eds., *Soil Ecology in Sustainable Agricultural Systems*, 137–159. Boca Raton, fl: Lewis Publishers.
- Swift, M. J. 1999. Towards the second paradigm: Integrated biological management of soil. In J. O. Siqueira, F. M. S. Moreira, A. S. Lopes, L. R. G. Guilherme, V. Faquin, A. E. Furtani Neto, and J. G. Carvalho, eds., *Inter-relação fertilidade, biologia do solo e nutrição de plantas*, 11–24. Lavras, Brasil: ufla.
- Swift, M. J., L. Bohren, S. E. Carter, A. M. Izac, and P. L. Woomer. 1994. Biological management of tropical soils: Integrating process research and farm practice. In P. L. Woomer and M. J. Swift, eds., *The Biological Management of Tropical Soil Fertility*, 209–227. New York: Wiley.
- Swift, M. J., J. Vandermeer, P. S. Ramakrishnan, J. M. Anderson, C. K. Ong, and B. A. Hawkins. 1996. Biodiversity and agroecosystem function. In H. A. Mooney, J. H. Cushman, E. Medina, O. E. Sala, and E.-D. Schulze, eds., *Functional Roles of Biodiversity: A Global Perspective*, 261–298. New York: Wiley.
- Torsvik, V., J. Goksøyr, F. L. Daae, R. Sørheim, J. Michalsen, and K. Salte. 1994. Use of DNA analysis to determine the diversity of microbial communities. In K. Ritz, J. Dighton, and K. E. Giller, eds., *Beyond the Biomass: Composition and Functional Analysis of Soil Microbial Communities*, 39–48. Chichester, UK: Wiley.
- Torsvik, T. and L. Ovreas. 2002. Microbial diversity and function in soil: From genes to ecosystems. *Current Opinion in Microbiology* 5:240–245.
- TSBF (Tropical Soil Biology and Fertility Institute). 1999. *Managing the Soil Biota for Sustainable Agricultural Development in Africa: A Collaborative Initiative. A Proposal to the Rockefeller Foundation*. Nairobi, Kenya: tsbf.
- TSBF (Tropical Soil Biology and Fertility Institute). 2000. *The Biology and Fertility of Tropical Soils. Tropical Soil Biology and Fertility Programme Report 1997–1998*. Nairobi, Kenya: TSBF.



- Usher, M. B., P. Davis, J. Harris, and B. Longstaff. 1979. A profusion of species? Approaches towards understanding the dynamics of the populations of microarthropods in decomposer communities. In R. M. Anderson, B. D. Turner, and L. R. Taylor, eds., *Population Dynamics*, 359–384. Oxford: Oxford University Press.
- Vandermeer, J., M. van Noordwijk, J. M. Anderson, C. Ong, and I. Perfecto. 1998. Global change and multi-species agroecosystems: Concepts and issues. *Agriculture, Ecosystems Environment* 67:1–22.
- van Straalen, N. M. 1998. Evaluation of bioindicator systems derived from soil arthropod communities. *Applied Soil Ecology* 9:429–437.
- Wall, D. H. and J. C. Moore. 1999. Interactions underground: Soil biodiversity, mutualism, and ecosystem processes. *BioScience* 49:109–117.
- Willems, J. H. and K. G. A. Huijsmans. 1994. Vertical seed dispersal by earthworms: A quantitative approach. *Ecography* 17:124–130.
- Wilson, E. O. 1985. The biological diversity crisis: A challenge to science. *BioScience* 35:700–706

## 10 La diversité et la lutte antiparasitaire dans les agroécosystèmes

---

### Quelques perspectives de l'écologie

A. WILBY et M. B. THOMAS

À une époque où la diversité biologique s'appauvrit à un rythme sans précédent en raison de l'activité humaine, l'effort de recherche a été axé sur l'évaluation de l'importance de la biodiversité pour le fonctionnement et la stabilité des écosystèmes et pour la fourniture de services écosystémiques. La lutte contre les ravageurs a été identifiée à plusieurs reprises comme un service précieux rendu à l'écosystème par la biodiversité (Pimentel, 1961; Horn, 1988; Altieri, 1991. Mooney et al, 1995a, 1995b; Naylor et Ehrlich, 1997; Naeem et al 1999. Schläpfer et al 1999. ), qui est en danger du fait de l'activité humaine (Naylor et Ehrlich, 1997). Il y a beaucoup de preuves que les systèmes de production agricole sont intensifiés par une utilisation accrue d'intrants externes pour augmenter le rendement et par le changement de la structure du paysage. Ces systèmes de production tendent à perdre de la biodiversité et à se déstabiliser, avec des infestations de ravageurs plus fréquentes et de plus grande ampleur (Pimentel, 1961; Andow 1991; Krueger et al 1994 Tschirntke; Swift et al 1996. Knops et al 1999). Cependant, nous savons peu de choses sur les mécanismes écologiques qui aboutissent à ce résultat de déstabilisation et sur l'importance de la diversité des ennemis naturels dans le maintien de la lutte antiparasitaire. Le but de ce chapitre est d'explorer comment un aperçu de l'écologie peut faciliter la recherche de ces mécanismes et contribuer au développement d'un cadre pour examiner et comprendre le rôle de la biodiversité dans le contrôle des ravageurs et comment ce rôle est façonné par différentes pratiques. Grâce à cela, et en nous appuyant sur un aperçu de certains de nos travaux antérieurs (voir Wilby et Thomas, 2002a, 2002b), nous identifions un certain nombre d'hypothèses et de recommandations pour de

futures recherches sur le rôle et la gestion de la biodiversité agricole pour la lutte antiparasitaire durable.

Pour prédire les conséquences de la perte d'espèces causée par la lutte antiparasitaire induite par l'homme, nous devons améliorer notre compréhension de deux questions liées à l'écologie des agroécosystèmes. Premièrement, nous devons identifier et caractériser les mécanismes par lesquels la gestion des agroécosystèmes affecte la diversité et la composition en espèces des peuplements de ravageurs et de leurs ennemis naturels. Deuxièmement, nous devons comprendre les conséquences de ces effets pour la lutte antiparasitaire (Wilby et Thomas, 2002a). En abordant ces questions, nous utilisons des théories écologiques existantes concernant le montage collectif et la fonction de la biodiversité. Ces dernières, en particulier, ont fait récemment de grands progrès, malgré une certaine controverse. Nous examinerons tout d'abord cette controverse et nous nous demanderons comment les leçons apprises devraient influencer notre étude de la relation entre diversité et contrôle des ravageurs.

## Biodiversité et fonctionnement des écosystèmes

La caractérisation de la relation entre la biodiversité et le fonctionnement des écosystèmes est un objectif de recherche majeur de l'écologie de la dernière décennie (voir le chapitre 9). De nombreuses études théoriques et empiriques ont été menées sur les propriétés des écosystèmes, y compris la production de biomasse (producteurs, consommateurs et décomposeurs), l'absorption et la rétention des nutriments, la décomposition, le pH du sol, l'eau dans le sol, la teneur en matière organique et la respiration de la communauté (Schläpfer et al. 1999). Bien que la majorité des études ait révélé une relation de saturation positive entre la diversité et le fonctionnement des écosystèmes (Schwartz et al. 2000), plusieurs questions ont interprété le fonctionnement des relations entre diversité et écosystèmes comme étant des sujets de contentieux. Par exemple, la controverse entourant le mérite relatif des preuves par l'observation et l'expérimentation pour caractériser la relation entre diversité et fonctionnement des écosystèmes. Des études expérimentales ont été critiquées, parce que la composition et la répartition de l'abondance des espèces dans les communautés expérimentales ne ressemblent pas souvent suffisamment à des communautés naturelles et parce que les effets de l'identité et de la diversité des espèces sont parfois confondus (Huston 1997; Wardle 1999; Wardle et al 2000.). En outre, lorsque les effets de la diversité ont été compris, il y a eu une controverse

quant à savoir si elles sont causées par le fonctionnement complémentaire de différents taxons ou groupes fonctionnels, ou par les interactions positives entre les espèces ou encore par l'effet d'échantillonnage, c'est-à-dire la probabilité accrue d'inclure des espèces très influentes à mesure que la diversité s'accroît (Huston 1997; Tilman et al, 1997). Les deux premiers mécanismes sont considérés comme de vrais effets de la diversité, parce qu'ils sont des propriétés résultant de la diversité, tandis que le troisième est un effet stochastique résultant de la composition des espèces, qui ne peut être considéré comme un effet réel de la diversité que si les probabilités expérimentales de l'inclusion des espèces correspondent à celles observées dans la nature. Des méthodes ont été développées pour séparer les véritables effets de la diversité des effets d'échantillonnage ou de sélection. Par exemple, la réplication des niveaux de diversité avec différentes compositions élimine la confusion de la diversité et de l'identité, et l'équation Loreau-Hector (Loreau et Hector 2001) permet la séparation de l'effet de l'échantillonnage de la diversité de l'effet de complémentarité et des interactions positives entre espèces, si l'étude a les caractéristiques de conception correctes.

Les problèmes avec les approches expérimentales ont conduit certains chercheurs à promouvoir les études d'observation. Celles-ci ont également été critiquées, parce qu'elles ne contrôlent pas les variables corrélées à la diversité. Elles ne peuvent donc pas être utilisées de manière fiable pour déterminer l'importance de la biodiversité dans le fonctionnement des écosystèmes (Naeem et al, 1999 ; Naeem 2000). Toutefois, il a été reconnu que les études d'observation sont nécessaires pour identifier les tendances en matière de diversité qui existent dans la nature, une étape essentielle dans la conception d'expériences plus réalistes (Wardle et al. 2000).

En plus de ces problèmes concernant l'interprétation des résultats des études de fonctionnement de la biodiversité de l'écosystème, il y a aussi des difficultés dans l'application de la nouvelle théorie sur les écosystèmes réels. Nous suggérons notamment que le contexte et l'étendue des études peuvent affecter fortement la forme observée de relation entre la diversité et le fonctionnement. On ne sait donc pas comment les résultats d'expériences peuvent être extrapolés à différentes échelles ou à différents contextes environnementaux (Fridley 2001).

Le concept de la complémentarité des éléments taxonomiques ou de biodiversité fonctionnelle est central dans les hypothèses concernant la relation entre la biodiversité et le fonctionnement des écosystèmes. La forme de la relation est déterminée par la mesure dans laquelle les éléments de la biodiversité (p.e., génotypes, espèces, etc.) sont fonctionnellement simi-

lares dans de ce qu'ils font et ou comment ils le font. S'il y a un niveau significatif de complémentarité entre les éléments concernant une fonction particulière, alors le niveau du processus associé diminue avec la perte de chaque élément. Inversement, s'il y a une forte redondance entre les éléments, alors la perte de biodiversité initiale aura tendance à ne pas affecter le taux de transformation de l'écosystème.

À ce jour, la théorie concernant la complémentarité fonctionnelle entre les éléments de la biodiversité a mis l'accent sur les propriétés écologiques des éléments eux-mêmes. Toutefois, il est probable que le contexte écologique de l'étude aura également une influence importante sur la complémentarité fonctionnelle. La complémentarité apparaît si les éléments utilisent des portions exclusives de l'espace ou du temps ou si elles exercent exclusivement des fonctions particulières. Par conséquent, le potentiel de complémentarité est déterminé en partie par la gamme des niches spatiales et temporelles et par l'étendue du processus de l'étude. En fixant les limites et le sujet d'une étude, un expérimentateur détermine chacun de ces attributs. À mesure que les échelles de temps, d'espace et de processus aug-

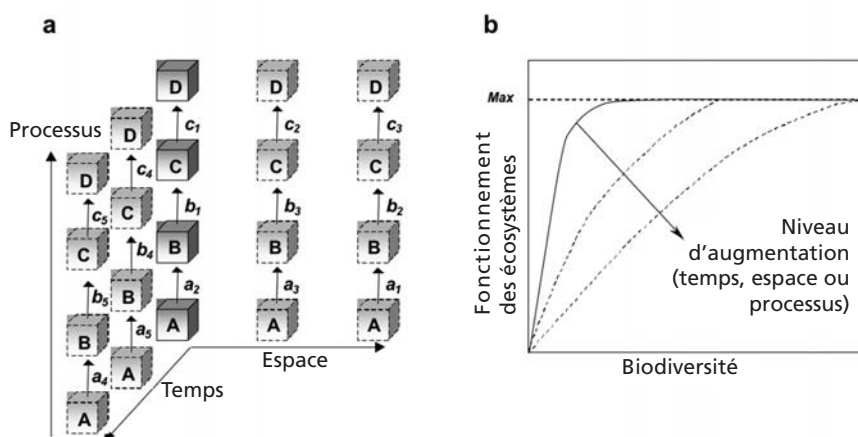


FIGURE 10.1. L'influence des processus et l'étendue spatiotemporelle sur les relations entre biodiversité et fonctionnement des écosystèmes. (a) Exemple hypothétique d'un processus au cours duquel la transition entre les états individuels (boîtes portant des lettres majuscules) est médiée par l'activité des éléments individuels de la biodiversité (lettres minuscules portant des indices). Elargir l'étendue du processus, du temps ou de l'espace de l'ensemble des conditions écologiques de base (représenté par le solide, des boîtes très ombragées), engendre plus de niches et augmente le nombre d'éléments de la biodiversité nécessaire à la fonction maximale. (b) Cela change la forme de la relation fonctionnelle entre biodiversité et écosystème.

mentent, il en sera de même du nombre de niches et du nombre d'éléments nécessaires à un fonctionnement maximal. Ceci est illustré par un exemple hypothétique dans la figure 10.1a, qui représente le rôle des éléments de la biodiversité (représenté par des lettres minuscules avec des indices) dans la transition entre les états (encadrés) dans un processus. Pour une position donnée dans le temps et l'espace (c'est à dire un contexte écologique particulier), le nombre d'éléments de la biodiversité nécessaire pour remplir la fonction des écosystèmes dépend de l'ampleur du processus en question. Si la mesure du processus étudié est tout simplement la transition de l'état A à l'état B, alors un seul élément de la biodiversité est nécessaire (p.e. a<sub>2</sub>). Cependant, si nous nous intéressons à un processus impliquant la transition de l'état A à l'état D, alors trois éléments sont nécessaires pour un fonctionnement complet (par exemple, a<sub>2</sub>, b<sub>1</sub> et c<sub>1</sub>). Alors que l'étendue temporelle ou spatiale d'une étude augmente, le nombre des éléments nécessaires au fonctionnement maximal augmente encore plus, parce que différents éléments sont susceptibles d'être plus efficaces à différents points de l'espace et du temps. Par conséquent, passer de l'état A à l'état B à travers l'espace dans cet exemple entraîne l'activité de trois éléments de la biodiversité (a<sub>1</sub>, a<sub>2</sub> et a<sub>3</sub>). Pour la pleine mesure du processus de A à D dans toutes les combinaisons de temps et d'espace, un maximum de 27 éléments est nécessaire pour un fonctionnement complet. Ainsi, même si une fonction de saturation peut être une relation de fonctionnement commune à la diversité biologique des écosystèmes (Schwartz et al. 2000), la diversité minimale à partir de laquelle un fonctionnement maximal est obtenu dépendra en partie de l'étendue spatio-temporelle du processus de l'étude (figure 10.1b).

Bien sûr, ce modèle conceptuel est une simplification extrême, et nous ne savons pas par exemple, comment les niches s'accumulent dans l'espace, le temps et les échelles de processus. Il est également clair que l'expression de niche dépend, dans une certaine mesure, des interactions interspécifiques. Toutefois, il existe des preuves de l'étendue spatiale des effets dus à la spécialisation de niche le long de gradients environnementaux dans l'espace (Tilman et al 1997 ; Fridley 2001; Wellnitz et Poff 2001) et de l'étendue temporelle des effets due à des différences phénologiques entre espèces (Hooper, 1998). En outre, l'hypothèse d'assurance de la diversité des espèces (Naeem et Li 1997; Petchey et al 1999 ; Yachi et Loreau 1999), suggère que des niches dans le temps et l'espace vont interagir à mesure que l'environnement change, augmentant ainsi la probabilité d'un fonctionnement complémentaire dans le temps entre les espèces. En discutant de la définition du fonctionnement des écosystèmes, Ghilarov (2000) souligne

l'importance de l'échelle du processus. Par exemple, nous nous attendons à des relations très différentes entre le fonctionnement des écosystèmes et la biodiversité, si par le fonctionnement des écosystèmes, nous entendons la consommation totale de CO<sub>2</sub> par toutes les plantes plutôt que la production et la consommation de tous les composés utilisés par tous les organismes. Ces effets d'échelle et de contexte font qu'il est difficile d'extrapoler les résultats expérimentaux à d'autres points des échelles de temps, d'espace ou de processus. Nous devons donc être très prudents en utilisant des résultats expérimentaux pour orienter, par exemple, une politique agricole (ou de conservation) jusqu'à ce que les relations d'échelle soient bien comprises.

Quelles sont les implications de ces questions pour l'élaboration de cadres de travail écologiques pour l'étude des relations entre gestion agricole, biodiversité et lutte contre les ravageurs ? Compte tenu des problèmes concernant l'utilisation de communautés irréalistes dans les études expérimentales et les problèmes pour déterminer la causalité dans les études d'observation, nous suggérons que les recherches futures devraient tenter de faire le lien entre les effets du changement de la biodiversité sur la lutte antiparasitaire et les effets attendus de la gestion agricole sur la biodiversité. Sur le plan écologique, cela signifie une étude liée de l'association et de la fonction de la diversité biologique. En adoptant cette approche, nous négocions les problèmes associés à des assemblages d'espèces non naturels et à des modèles irréalistes de perte d'espèces. En conséquence de la dépendance envers l'échelle et le contexte dans les relations de fonctionnement entre biodiversité et écosystèmes, et en l'absence de modèles pour prédire l'accumulation de niches le long des échelles, des essais expérimentaux devraient également se concentrer sur le processus complet de l'écosystème d'intérêt et devrait être faite à des échelles appropriées à une gestion agricole normale. Dans le cas de la lutte contre les ravageurs par leurs ennemis naturels, ce sera probablement l'échelle du champ à travers une seule ou plusieurs saisons de cultures.

Il est clair que la diversité et les effets de la composition en espèces peuvent avoir une forte influence sur plusieurs processus écosystémiques, et il est peu probable que la lutte antiparasitaire soit une exception. À notre avis, une piste intéressante pour la recherche peut être d'élucider les propriétés biologiques des ravageurs et de leurs ennemis naturels qui affectent l'importance relative de la diversité et la composition en tant que déterminants du fonctionnement de la lutte antiparasitaire. Dans les cas où les effets de la composition en espèces sont forts, il est impératif de comprendre les mécanismes par lesquels la diversité des espèces est

perdue et de comparer les caractéristiques écologiques et biologiques qui déterminent la probabilité de disparition des espèces avec celles qui en déterminent la fonction. En suivant une telle méthode, nous évitons également le problème de l'effet de l'échantillonnage, parce que l'estimation de la probabilité d'inclure une espèce particulière dans un ensemble est un objectif intrinsèque à l'étude et n'est pas supposée être aléatoire. Dans les sections suivantes, nous proposons des cadres écologiques pour l'étude de la gestion des agroécosystèmes et son impact sur l'assemblage des communautés d'arthropodes et de la diversité des ennemis naturels et le fonctionnement de la lutte antiparasitaire. Nous discutons ensuite la façon dont ceux-ci peuvent être liés utilement afin de prévoir l'émergence de nuisibles lors de l'intensification et de l'extensification de l'agriculture.

### Gestion de l'écosystème agricole et assemblage de communautés d'arthropodes

De nombreuses études indiquent divers effets de la gestion des écosystèmes agricoles sur l'abondance, la distribution et la diversité des arthropodes. Par exemple (avec une référence particulière à la lutte antiparasitaire), Letourneau et Goldstein (2001), comparant les effets des productions biologiques et conventionnelles sur les dégâts des ravageurs et la structure des communautés d'arthropodes dans les tomates, ont constaté que, tandis que l'abondance des herbivores ne différait pas entre les systèmes de production (c.-à-d. les problèmes de ravageurs ne sont pas plus importants là où les pesticides ont été limités), les fermes biologiques avaient une plus grande richesse d'espèces de tous les groupes fonctionnels d'arthropodes et une plus grande abondance d'ennemis naturels que les fermes conventionnelles. Ces différences ont été associées à des pratiques spécifiques à la ferme et aux caractéristiques spécifiques du paysage, en particulier la gestion des jachères, l'habitat environnant et la date de transplantation de la culture. Dans un autre système américain, Menalled et al. (1999) a examiné si la structure du paysage agricole affectait le parasitisme et la diversité des parasitoïdes. Ils ont constaté que dans certains sites, des paysages complexes comprenant des terres cultivées entremêlées des habitats non cultivés sur du moyen et long terme avaient des taux plus élevés de parasitisme et de diversité des parasitoïdes que de simples paysages principalement composés de terres cultivées (voir chapitre 11). Toutefois, cette tendance n'a pas été uniforme dans tous les sites. Aucun effet évident de la complexité du paysage sur le parasitisme n'a pu donc être déterminé. Ce



résultat ambigu contraste avec une étude de Thiès et Tschardtke (1999), qui ont trouvé que les paysages complexes ne favorisent pas le parasitisme et le contrôle du dendroctone du pollen de colza. Pourtant, d'autres études, comme celle de Weibull et al. (2003), indiquent que, bien que la richesse en espèces augmente généralement avec l'hétérogénéité du paysage à l'échelle de la ferme, des changements en termes de diversité n'amène pas des effets clairs sur la lutte antiparasitaire naturelle.

D'après les études susmentionnées, il est clair que si nous voulons mieux comprendre l'effet de la gestion agricole sur la diversité des arthropodes (et les effets de tout changement dans la diversité pour la lutte antiparasitaire), nous avons besoin d'un cadre qui décrit les mécanismes écologiques par lequel les espèces habitent des zones déterminées (Wilby et Thomas, 2002a). Les règles d'assemblage ont une longue histoire dans l'écologie des communautés, où l'objectif a été de prévoir quelles espèces seront rencontrées dans un habitat particulier (Keddy 1992; Kelt et al 1995 ; Belyea et Lancaster, 1999).

Pour qu'une espèce soit présente dans un site particulier, elle doit d'abord être capable d'arriver à ce site. Des contraintes diverses déterminent quelles espèces présentes à l'échelle de la région sont présentes au niveau local ; ce sont les espèces qui sont capables de se disperser vers le site en question (figure 10.2). Parmi les espèces du groupe des espèces régionales, seules les espèces qui sont capables de surmonter les contraintes environnementales sur le site font partie du groupe local des espèces. Enfin, la dynamique interne des communautés, y compris les processus intraspécifiques et interspécifiques régissent la composition du groupe réel d'espèces. En plus de régir la présence des espèces dans les communautés, ces processus influent également sur leur abondance. Cela permet au cadre qui sera utilisé de décrire les processus importants qui régissent les distributions relatives des espèces, en plus de la richesse en espèces.

Bien que ce cadre soit applicable à toute la communauté, certaines caractéristiques des écosystèmes agricoles peuvent modifier l'importance relative des filtres dans la régulation de la diversité des espèces par rapport à d'autres écosystèmes. Les perturbations par exemple tendent à augmenter l'importance des processus de non-équilibre, comme la dispersion et la colonisation, relative aux processus d'équilibre, comme les interactions interspécifiques (Chapin et al. 1997). Parce que les écosystèmes agricoles sont régulièrement perturbés, par exemple par la récolte, la culture, ou des pesticides, l'importance des contraintes de dispersion peut être gonflée parce que de nombreuses espèces sont obligées de recoloniser après ces perturbations. La valeur de l'utilisation d'un tel cadre pour décrire le

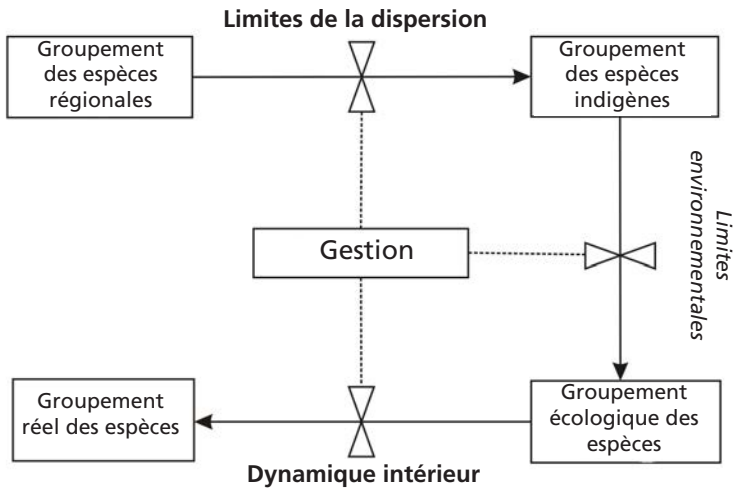


FIGURE 10.2. Processus de l'assemblée communautaire soulignant les filtres séquentiels de l'environnement de dispersion, et de la dynamique interne de la communauté dans la transition entre le groupement des espèces régionales au groupement des espèces réelles. La gestion des écosystèmes agricoles peut modifier chacun de ces processus.

processus d'assemblage de communautés est que notre compréhension de l'impact des pratiques de gestion agricole sur la diversité peut être comprise en termes de façons dont la gestion modifie un ou plusieurs des filtres comprenant le processus d'assemblage.

Les contraintes de dispersion, par exemple, sont principalement touchées par les changements structurels dans le paysage qui se produisent à la suite du changement d'utilisation des terres. Ces effets sont certainement qualitatifs (comme les changements dans l'abondance relative des différentes espèces) et potentiellement aussi quantitatifs (changements dans la diversité ou l'abondance totale). Typiquement, un processus de développement agricole a pour effet une augmentation des superficies cultivées par rapport aux zones non cultivées. Une région sera par conséquent une plus grande zone de développement des insectes associés aux cultures, de telle sorte que tout site agricole donné est susceptible d'être plus facilement colonisé par les arthropodes spécialisés. Toutefois, l'effet inverse peut être constaté pour les arthropodes plus généralistes qui ont besoin de ressources non disponibles dans la zone cultivée. Le développement agricole a aussi

tendance à augmenter la taille moyenne des champs, de sorte que le centre des champs s'éloigne des colonies. L'influence de la végétation voisine sur le type et le nombre d'ennemis naturels qui occupent un site a été établie à plusieurs reprises (Wainhouse et Coaker 1981; Altieri et Schmidt, 1986a, 1986b; Thomas et al, 1991, 1992 ; Landis et al 2000. Gurr et al. 2003). Il est évident que la richesse et l'abondance des espèces d'insectes sont plus généralistes dans des paysages variés (Carmona et Landis, 1999). Ainsi, la diversité et la composition des espèces sont modifiées par des changements dans l'utilisation des terres, notamment par les variations du nombre et de l'isolement des sources de colonisation. Surtout, nous savons déjà les traits biologiques des arthropodes, tels que les besoins alimentaires ou la taille du corps, qui vont déterminer la réponse d'une espèce particulière au changement d'affectation des terres. Si nous pouvons également comprendre la signification fonctionnelle de ces traits pour la lutte antiparasitaire, nous sommes sur la bonne voie pour prédire la réponse antiparasitaire au changement dans l'utilisation des terres.

La gestion de l'agriculture a également un impact important sur les conditions environnementales des sites, le second filtre dans notre système. Par exemple, l'intensification des systèmes de production de riz augmente souvent le nombre de cycles annuels de culture. (À partir de là, nous aurons tendance à nous appuyer sur des exemples tirés de la production de riz parce que c'est un de nos principaux systèmes étudiés. Cependant, les implications de nos idées et nos interprétations s'étendent clairement à d'autres systèmes.). Ce passage à la polyculture permet aux insectes spécialistes de l'écosystème rizicole de persister dans un site local entre les récoltes (Loevinsohn, 1994). Cela contraste avec les pratiques agricoles plus traditionnelles qui comprennent des périodes prolongées de friche, dans lequel une grande partie de la communauté des arthropodes est forcée de recoloniser un site après la période de jachère. L'effet marqué d'une période de jachère est visible chez les communautés d'insectes associées au riz en Indonésie, où la dynamique de la communauté d'insectes varie considérablement entre les premières et deuxièmes récoltes (Settle et al. 1996), car la première récolte suit une longue période de jachère, alors que la deuxième récolte suit de peu la première.

Comme les périodes de jachère, les insecticides peuvent également modifier les contraintes environnementales qui forcent la recolonisation d'une grande partie de la communauté d'insectes, mais sur une échelle de temps plus petit. Le taux de recolonisation différentiel de prédateurs généralistes et des espèces nuisibles après l'utilisation d'insecticides, sont la cause principale des problèmes de cicadelle brune (*Nilaparvata lugens*)

dans de vastes régions d'Asie du Sud (Heong 1991 ; Cohen et al 1994; Settle et al 1996.).

La gestion agricole affecte également la dynamique communautaire interne, le troisième filtre de notre cadre. Il a été démontré que les changements dans la qualité des aliments, causée par la fertilisation par exemple, augmentent l'abondance de groupes d'organismes nuisibles et des dommages qu'ils causent. Ces effets ont été attribués à des taux de survie plus élevés, une croissance plus rapide et une fécondité plus grande des espèces nuisibles (Ooi et Shepard 1994). Les indices suggèrent que ces effets se répercutent sur la chaîne alimentaire. De Kraker et al. (2000) a montré que l'abondance des herbivores et des ennemis naturels a augmenté avec la fertilisation azotée des champs de riz.

En plus de la variabilité de la végétation dans le temps associée au cycle de culture, la diversité de la végétation lors d'une même récolte affecte la diversité des arthropodes dans les cultures. En règle générale, le passage d'une végétation diversifiée à la monoculture virtuelle, accompagnée de la gestion des adventices, est associé à une diminution de la diversité, mais pas nécessairement de l'abondance des espèces d'arthropodes (Andow 1991; Tonhasca et Byrne, 1994). Sur le plan qualitatif, la présence de mauvaises herbes dans une culture de riz augmente l'abondance des herbivores généralistes par rapport aux spécialistes. Afun et al. (1999) a montré que, dans le riz d'Afrique de l'Ouest, l'abondance des herbivores et des prédateurs généralistes est positivement corrélée avec la biomasse de mauvaises herbes, tandis que l'abondance des herbivores spécialisés était positivement corrélée avec la biomasse de riz.

Cette brève analyse de l'assemblage des communautés, en ce qui concerne les agroécosystèmes, montre comment la gestion agricole peut influencer l'ensemble des filtres qui régissent la diversité des espèces d'arthropodes. Le défi à relever, si nous voulons prévoir les impacts de la gestion sur la lutte antiparasitaire, est d'élucider les traits caractéristiques généralisés qui expliquent la réponse aux pratiques de gestion et d'étudier la signification fonctionnelle de celles-ci ou des traits liés au fonctionnement de la lutte antiparasitaire.

## La diversité des ennemis naturels et la fonction antiparasitaire

Après avoir discuté d'un cadre écologique pour l'étude de l'assemblage des communautés d'arthropodes dans les agroécosystèmes et montré comment certains traits peuvent jouer un rôle dans la réponse à la gestion agricole,

nous nous tournons vers la deuxième question posée par le présent chapitre: comment la diversité des espèces et leur composition affectent-elles le fonctionnement du contrôle naturel des ravageurs ?

Quelques études ont identifié certaines tendances générales prévoyant la réaction des ennemis naturels des herbivores dans les systèmes naturels et modifiés. Par exemple, Dyer et Gentry (1999) fournissent la preuve que les larves de lépidoptères spécialistes et grégaires peuvent être mieux contrôlées par les parasitoïdes, alors que les prédateurs pourraient mieux contrôler les larves lisses et énigmatiques. De même, Hawkins et al. (1997) présentent des données pour suggérer que les prédateurs et agents pathogènes peuvent causer une plus grande mortalité des herbivores s'alimentant en externe, alors que certains herbivores endophytes souffrent davantage de la mortalité causée par des parasitoïdes. En général, notre compréhension de la relation entre la biodiversité et le fonctionnement de la lutte antiparasitaire reste cependant médiocre, et les mécanismes par lesquels les ennemis naturels interagissent pour déterminer l'étendue et la stabilité de la lutte contre les ravageurs ne sont pas clairs. Par exemple, dans une récente étude de l'effet du paysage, de la diversité des habitats et de la gestion sur la diversité des espèces dans les systèmes de céréales, de Weibull et al. (2003) ont révélé qu'il n'y avait pas de relation simpliste entre la richesse en espèces de carabes, staphylins et araignées au niveau de la ferme ou dans les champs individuels de céréales et la lutte biologique. Ils ont conclu que la richesse en espèces en soi n'est pas aussi importante qu'une grande diversité de différents groupes de prédateurs, tels que prédateurs au sol et dans le feuillage, des reproducteurs au printemps et en été, des espèces nocturnes et diurnes, pour l'efficacité globale de la lutte biologique. De ce fait, la clé pour un contrôle naturel efficace est dans la maximisation de la complémentarité fonctionnelle entre les ennemis naturels des espèces nuisibles. Malheureusement, notre compréhension de la complémentarité et des facteurs qui déterminent les propriétés émergentes des assemblages multi-espèces de prédateurs est limitée (Schmidt et al. 2003). Bien qu'il y ait des preuves de la séparation en niches importantes des microhabitats et de la complémentarité fonctionnelle entre les espèces d'araignées (Sunderland, 1999), quelques autres études ont montré la complémentarité importante entre ennemis naturels (Snyder et Wise, 1999). De même, bien que des exemples d'interactions synergiques entre les prédateurs existent, les processus tel que la prédation intra guildes peuvent gravement perturber la lutte biologique (Rosenheim et al 1995 ; Snyder et Ives, 2001; Finke et Denno 2004).

Compte tenu de la complexité décrite ici, nous pensons qu'il est utile d'explorer plus en détail les facteurs écologiques déterminant le degré de complémentarité entre les ennemis naturels et la nature de la relation entre la biodiversité et le fonctionnement des écosystèmes. Considérons une hypothétique relation positive saturante entre la biodiversité et le fonctionnement des écosystèmes, semblable à la relation communément trouvée dans les études empiriques, où la courbe de la relation dépend du niveau de complémentarité entre les espèces (figure 10.3). Si toutes les espèces ont un effet égal et ne se chevauchent pas sur un processus particulier (complémentarité parfaite), alors une réduction linéaire de la vitesse du processus se produit à mesure que la richesse en espèces diminue. À l'autre extrême, s'il n'y a pas de complémentarité (espèces redondantes par rapport à la fonction concernée [Walker, 1992; Lawton et Brown, 1993]), alors des espèces restantes seraient en mesure de compenser celles qui disparaissent, et une perte soudaine et complète de la fonction se produit lorsque la dernière espèce fonctionnelle est perdue. Mis à part la forme de la relation entre le niveau de la fonction principale et la diversité, il a été montré précédemment que la composition des espèces joue souvent un rôle important dans la détermination de ce niveau. Les effets de la composition des espèces augmentent la variance de la relation entre la richesse en espèces et le taux de transformation. Dans le cas extrême d'une seule espèce ayant un impact beaucoup plus important sur le taux du processus que les autres espèces (p.e., une espèce clé), la relation observée pourrait prendre toute trajectoire dans une large fourchette de réponses, selon l'ordre de disparition des espèces (Sala et al. 1996). Dans le cas d'importantes interactions négatives entre les espèces, telle que la prédation intraguilde, le fonctionnement peut même augmenter à mesure que diminue la richesse des espèces. Dans de tels cas de forts effets de composition, la richesse en espèces serait un mauvais indicateur du taux de transformation, et une exploration plus poussée des autres différences entre les espèces serait nécessaire. En ce qui concerne le fonctionnement de lutte antiparasitaire, des données récentes suggèrent que les caractéristiques démographiques de l'espèce concernée peuvent parfois être utilisées pour prédire la forme de la relation entre biodiversité et fonctionnement des écosystèmes et si de forts effets composition en espèces (forte variance dans la réponse) sont susceptibles de se produire (Wilby et Thomas, 2002b).

Par exemple, des différences majeures en termes de démographie des ravageurs, selon qu'il s'agisse d'insectes enopterygotes ou exopterygotes

par exemple, peuvent avoir une influence primordiale sur le nombre et la diversité des ennemis naturels qui les attaquent (Wilby et Thomas, 2002b). Les insectes endopterygotes subissent de profonds changements morphologiques et comportementaux (œuf, larve, nymphe et adulte), et ces étapes de la vie jouent souvent des rôles écologiques très différents, par une alimentation et un habitat différents. En revanche, les insectes exopterygotes subissent des changements graduels pendant leur vie. Ils occupent souvent des sites similaires et consomment des aliments similaires. En conséquence de ces différences, nous nous attendons à des différences dans la structure des liens entre ces types d'insectes et leurs ennemis naturels. L'interaction complexe des ennemis naturels des insectes endopterygotes devrait être divisée en groupes attaquant l'herbivore à une étape particulière de sa vie. La plupart des ennemis s'alimentant des adultes ne se nourrissent pas de larves ou de nymphes. Il est prouvé que cela peut être le cas pour certains insectes endopterygotes (par exemple, Barrion et al 1991 ; Mills 1994; Luna et Sanches 1999). Toutefois, en raison de la similitude des sites occu-

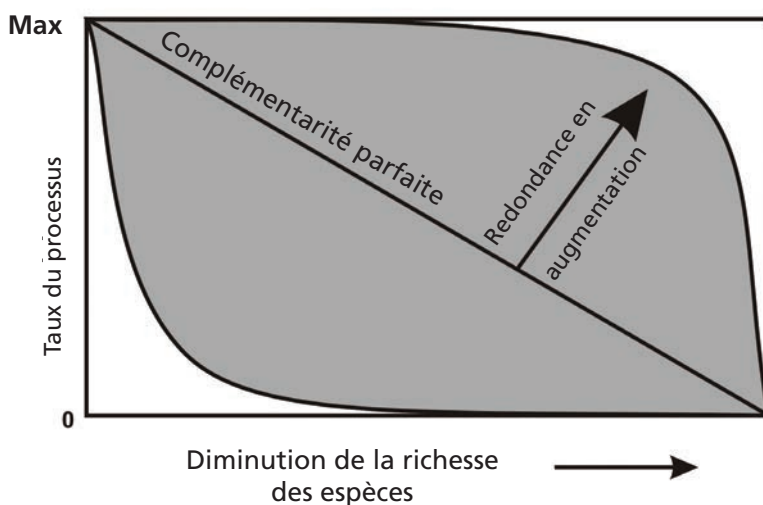


FIGURE 10.3. Réponse hypothétique du fonctionnement de l'écosystème à la diminution de la richesse des espèces (diversité). Si les espèces réagissent d'une manière redondante, alors la réponse tend vers un comportement de seuil dans lequel, les réductions significatives de la fonction se produisent uniquement lorsque le seuil en question est atteint. Si les espèces agissent d'une manière complémentaire, sans chevauchement des rôles, la réponse tendra alors vers une allure linéaire, avec une diminution progressive de la fonction de chaque espèce perdue. Si l'identité des espèces est importante, la réponse peut alors suivre un large éventail de trajectoires (représenté par une zone ombrée), selon l'ordre de disparition des espèces.

pés et du comportement, les ennemis naturels des insectes exopterygotes devraient se nourrir à la fois des nymphes et des adultes. En raison de la structure du cycle de vie, le collège des ennemis naturels des insectes endopterygotes devrait montrer une plus grande complémentarité entre les espèces que celui se nourrissant d'insectes exopterygotes. Des études de simulation ont montré que la plus haute complémentarité entre les ennemis naturels des insectes endopterygotes, peut entraîner une perte graduelle de la fonction de lutte avec la diminution de la diversité des espèces d'ennemis naturels, tandis que la lutte antiparasitaire contre les exopterygotes devrait être plus stable, avec une perte soudaine de la fonction après la perte totale de la diversité des ennemis naturels. Ces prévisions semblent être compatibles avec les modèles d'émergence de nuisibles lors de l'intensification des systèmes de production rizicole d'Asie (Wilby et Thomas, 2002b).

D'autres aspects du cycle de vie des herbivores sont susceptibles d'influer sur la richesse ou les caractéristiques du collège d'ennemis naturels, avec des implications sur la fonction de lutte contre les ravageurs. Par exemple, la dissimulation morphologique ou comportementale tend à promouvoir les liens étroits entre les herbivores et les ennemis naturels en termes de dynamique de population. Ainsi, avec les herbivores dissimulés, les parasitoïdes spécialisés sont plus importants que les prédateurs généralistes, bien que les herbivores cachés peuvent être attaqués par plus d'espèces de parasitoïdes généralistes que de parasitoïdes spécialisés (Hawkins, 1990; Hawkins et Gross, 1992) (Memmott et al 2000.). En conclusion, des liens étroits entre des ennemis naturels plus spécialisés et des ravageurs gonflent l'importance des effets de composition en espèces et accroissent l'incertitude à la réponse à la perte aléatoire d'espèces.

Ce que ces exemples montrent, c'est que les caractéristiques de base du cycle de vie des organismes impliqués peuvent conduire à des prédictions différentes sur l'importance relative de la diversité et de la composition en espèces dans le fonctionnement de lutte antiparasitaire. Cela nous permet d'aller au-delà de l'interrogation portant sur si la composition ou de la diversité des espèces est la caractéristique la plus importante de la communauté d'ennemis naturels. Nous pouvons nous placer dans une position où nous pouvons prédire les types de ravageurs susceptibles d'être contrôlés par des espèces d'ennemis naturels particuliers et ceux qui sont susceptibles d'être mieux contrôlés par un ensemble divers d'ennemis naturels. Pour comprendre comment la gestion agricole est susceptible d'affecter la présence d'organismes nuisibles, cette information doit être liée à notre discussion précédente sur l'assemblage des communautés d'arthropodes dans les agroécosystèmes.



## Présence d'organismes nuisibles et gestion de l'agroécosystème

Comment le lien entre les deux cadres écologiques pourrait-il nous aider à prévoir le fonctionnement du contrôle naturel des ravageurs en réponse à différents types de gestion des agroécosystèmes ? Pour les ravageurs de type exopterygotes non dissimulés, comme les planthoppers (Delphacidae) et les cicadelles (Cicadellidae), on pourrait prévoir qu'un contrôle par les ennemis naturels résisterait à la perte d'espèces. Cependant, certaines techniques de gestion telles que l'utilisation d'insecticides ont un impact important sur la diversité des ennemis naturels et peuvent entraîner un assemblage non fonctionnel d'ennemis naturels. Un tel effet est illustré par le cas bien étudié de la cicadelle brune (*Nilaparvata lugens*) dans les écosystèmes de riz irrigué en Asie. La cicadelle brune est généralement bien contrôlée par ses ennemis naturels, mais devient souvent ravageuse à la résurgence, après l'utilisation d'insecticides (Kenmore et al 1984 ; Heong 1991). Le mécanisme de ce phénomène a été bien élucidé, et il semble que l'élimination presque complète d'une guildes de prédateurs généralistes, qui se maintiennent grâce aux insectes détritvovores à des moments où *N. lugens* est rare, est la cause de l'émergence de *N. lugens* comme un ravageur (Settle et al. 1996). *N. lugens* est en mesure d'échapper au contrôle en partie parce qu'il survit dans une certaine mesure au traitement insecticide, parce qu'il est très dispersif et qu'il peut recoloniser rapidement les champs de riz, et parce qu'il a un taux de croissance démographique élevé (Heinrichs et Mochida 1984). Une combinaison gérant mieux les contraintes dispersives, environnementales et biologiques que ses ennemis naturels, permet à *N. lugens* d'échapper au contrôle. Ainsi, un contrôle efficace peut en grande partie être atteint en limitant l'utilisation des insecticides et en assurant l'approvisionnement en aliments de remplacement pour les prédateurs à des moments où les espèces nuisibles sont rares.

Le contrôle des herbivores endopteran est prévu pour être sensible à la perte de la diversité des espèces d'ennemis naturels. L'émergence de parasites endopteran dans les premières étapes de l'intensification de la culture du riz peut être évitée, si l'on assure le maintien de la diversité des ennemis naturels. Comme indiqué précédemment, il existe une vaste littérature sur les effets des terres en friche sur la diversité et l'abondance des ennemis naturels. En ce qui concerne notre cadre, les zones non cultivées à proximité de cultures atténuent les contraintes de dispersion des espèces d'ennemis naturels qui passent une partie de leur cycle de vie en dehors des cultures. Dans le même temps, la proximité de l'habitat cultivé augmente les chances de colonisation des insectes plus spécialisés. Bien sûr, cela est

aussi valable pour des espèces herbivores, mais nous travaillons sur l'hypothèse que l'émergence habituelle de parasites entraîne la perturbation du contrôle de l'ennemi naturel. La colonisation d'espèces potentiellement nuisibles ne sera probablement donc pas un problème, à moins que la colonisation de leurs ennemis naturels soit entravée.

Pour les herbivores cachés, une utilisation plus détaillée de notre cadre de travail sur l'assemblage est nécessaire, afin de prédire l'impact de la gestion sur des espèces particulières ou des guildes d'ennemis naturels. Les herbivores cachés ont tendance à être attaqués par des parasitoïdes plus que par les prédateurs, et cela a un certain nombre d'implications pour la persistance d'un assemblage fonctionnel d'ennemis naturels. Les parasitoïdes ont tendance à être plus spécialisés que les prédateurs et donc plus susceptibles de dépendre d'un petit nombre d'espèces-hôtes. Avec des spécialistes, il y a inévitablement un décalage entre l'augmentation de l'abondance d'hôtes, comme cela se produirait au cours de l'émergence d'un parasite par exemple, et la réponse de l'ennemi naturel. Cela augmente la probabilité que les ravageurs atteignent des densités de nuisibles avant que l'ennemi naturel en limite l'abondance. Il est donc important de maintenir une dynamique hôte-parasitoïde stable. Cela peut nécessiter la fourniture de compléments alimentaires pour les parasitoïdes, tels que les sources de nectar des mauvaises herbes dans ou près du champ (diminution des contraintes biologiques), les changements dans la gestion des jachères afin de faciliter la survie des parasitoïdes sur des périodes de jachère (diminution des contraintes environnementales) et la gestion du paysage (champ de petite taille, asynchronisme des cycles de culture et l'utilisation des pesticides) pour assurer la colonisation d'origine locale (assouplissement des conditions de dispersion). Cette dernière est susceptible d'être particulièrement importante pour les insectes spécialistes qui sont connus pour être plus sensibles à la fragmentation des habitats en raison de leur position trophique et de la taille de leur corps (Tscharrntke et Brandl 2004).

Une pratique alternative ou complémentaire pourrait être d'assurer la présence effective d'un complexe d'ennemis naturels généralistes ou d'utiliser des variétés végétales ayant une certaine résistance à l'organisme visé (Thomas 1999), ce qui peut ralentir ou retarder le développement de la population (essentiellement en augmentant la mortalité indépendante de la densité), permettant à l'espèce clé des parasitoïdes de s'établir plus tôt dans le cycle des populations de ravageurs. Une telle approche a été discutée par exemple en matière de contrôle de la cécidomyie du riz africain biliaire (*Orseolia oryzivora*), où bien que les deux principales espèces de parasitoïdes soient connues pour provoquer des baisses substantielles du nombre

de cécidomyie, leur effet régulateur se produit souvent trop tard dans la saison pour prévenir les dommages économiques (F. Nwilene, comm. pers., 2002). Fait intéressant, ce rôle complémentaire des ennemis naturels généralistes augmente l'importance de la diversité des ennemis naturels dans l'ensemble du système, même si la régulation des populations de ravageurs peut se baser sur seulement quelques spécialistes. Cela confirme l'importance d'appliquer les connaissances écologiques dans un contexte approprié pour le système dans lequel elles sont appliquées (dans ce cas un contexte de contrôle économique des ravageurs et non un contexte de dynamique de population).

## Conclusion

Cette application des théories écologiques de l'assemblage et de la fonction de la biodiversité aux interactions des ennemis naturels de ravageurs a entraîné une série d'hypothèses sur la réaction de lutte antiparasitaire aux pratiques de gestion des agroécosystèmes. Un examen de la chaîne alimentaire simplifiée, conduit à des prédictions sur la façon dont les ravageurs dotés de certains traits répondraient à la perte de diversité des ennemis naturels. Notre analyse suggère que, pour les nuisibles largement contrôlés par les généralistes, on peut s'attendre à voir une perte progressive du contrôle, à mesure que la diversité des ennemis naturels diminue. Pour ces espèces, les techniques de gestion visant à maintenir la diversité des ennemis naturels à travers la modification des contraintes biologiques, environnementales et dispersives peuvent être généralement suffisantes pour prévenir l'émergence des ravageurs. En revanche, les herbivores contrôlés par un ennemi naturel spécialiste peuvent présenter des réactions imprévisibles à la diminution de la diversité des ennemis naturels. Dans ces cas, la compréhension des processus de dispersion et de colonisation des ravageurs et des ennemis naturels est nécessaire pour prédire la réponse de la lutte antiparasitaire à la perte de la diversité des ennemis naturels. Déjà, les généralisations biologiques concernant les ennemis naturels spécialistes nous permettent de prédire l'effet de la gestion agricole sur les contraintes dispersives, environnementales et biotiques qui déterminent leur abondance.

À notre avis, c'est seulement en liant les processus écologiques de l'assemblage et la fonction de la biodiversité que nous pouvons répondre efficacement aux questions concernant l'impact probable des activités humaines sur le fonctionnement des écosystèmes par les effets de la biodiversité. Nous avons montré comment certains traits des espèces peuvent

lier leur réponse aux changements d'origine humaine de l'écosystème et de leurs caractéristiques fonctionnelles. Même si nous avons limité notre discussion à la lutte antiparasitaire, nous pensons que des approches similaires peuvent permettre une prévision plus précise de l'impact sur la gestion d'autres processus écosystémiques. L'examen des caractéristiques biologiques et des détails d'un processus des écosystèmes et des organismes concernés, peut nous permettre d'éviter de nous demander lesquels des effets de diversité ou de composition prédominent ; et de prédire quelles circonstances conduisent à une prédominance des effets de composition ou des effets de la diversité.

## Remerciements

Ce chapitre est un résultat d'un projet de recherche financé par le Département britannique pour le développement international (DFID) au profit des pays en développement (R7570 Crop Protection Research Program). Les opinions exprimées ne sont pas nécessairement celles du DFID.

## Références

- Afun, J. V. K., D. E. Johnson, and A. Russell-Smith. 1999. Weeds and natural enemy regulation of insect pests in upland rice: A case study from West Africa. *Bulletin of Entomological Research* 89:391-402.
- Altieri, M. A. 1991. Increasing biodiversity to improve insect pest management in agroecosystems. In D. Hawksworth, ed., *The Biodiversity of Microorganisms and Invertebrates: Its Role in Sustainable Agriculture*. Wallingford, UK: CAB International.
- Altieri, M. A. and L. L. Schmidt. 1986a. Cover crops affect insect and spider populations in apple orchards. *California Agriculture* 40:15-17.
- Altieri, M. A. and L. L. Schmidt. 1986b. The dynamics of colonizing arthropod communities at the interface of abandoned, organic and commercial apple orchards and adjacent woodland habitats. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 16:29-43.
- Andow, D. A. 1991. Vegetational diversity and arthropod population response. *Annual Review of Entomology* 36:561-586.
- Barrion, A. T., J. A. Litsinger, E. B. Medina, R. M. Aguda, J. P. Bandong, P. C. Pantua Jr., V. D. Viajante, C. G. de la Cruz, C. R. Vega, J. S. Soriano Jr., E. E. Camañg, R. C. Saxena, E. H. Tyron, and B. M. Shepard. 1991. The rice *Cnaphalocricis* and

- Marasmia* (Lepidoptera: Pyralidae) leaffolder complexes in the Philippines: Taxonomy, bionomics and control. *Philippines Entomologist* 8:987-1074.
- Belyea, L. R. and J. Lancaster. 1999. Assembly rules within a contingent ecology. *Oikos* 86:402-416.
- Carmona, D. M. and D. A. Landis. 1999. Influence of refuge habitats and cover crops on seasonal activity- density of ground beetles (Coleoptera: Carabidae) in field crops. *Environmental Entomology* 28:1145-1153.
- Chapin, F. S., B. H. Walker, R. J. Hobbs, D. U. Hooper, J. H. Lawton, O. E. Sala, and D. Tilman. 1997. Biotic control over the functioning of ecosystems. *Science* 277:500-504.
- Cohen, J. E., K. Schoenly, K. L. Heong, H. Justo, G. Arida, A. T. Barrion, and J. A. Litsinger. 1994. A food- web approach to evaluating the effect of insecticide spraying on insect pest population- dynamics in a Philippine irrigated rice ecosystem. *Journal of Applied Ecology* 31:747-763.
- Cornell, H. V. and B. A. Hawkins. 1993. Accumulation of native parasitoid species on introduced herbivores: A comparison of hosts as natives and hosts as invaders. *American Naturalist* 141:847-865.
- de Kraker, J., R. Rabbinge, A. van Huis, J. C. van Lenteren, and K. L. Heong. 2000. Impact of nitrogenous- fertilization on the population dynamics and natural control of rice leaffolders (Lep.: Pyralidae). *International Journal of Pest Management* 46:219-224.
- Dyer, L. A. and G. Gentry. 1999. Predicting natural- enemy responses to herbivores in natural and managed systems. *Ecological Applications* 9:402-408.
- Finke, D. L. and R. F. Denno. 2004. Predator diversity dampenstrophic cascades. *Nature* 429:407-410.
- Fridley, J. D. 2001. The influence of species diversity on ecosystem productivity: How, where, and why? *Oikos* 93:514-526.
- Ghilarov, A. M. 2000. Ecosystem functioning and intrinsic value of biodiversity. *Oikos* 90:408-412.
- Gurr, G. M., S. D. Wratten, and J. M. Luna. 2003. Multi- function agricultural biodiversity: Pest management and other benefits. *Basic and Applied Ecology* 4:107-116.
- Hawkins, B. A. 1990. Global patterns of parasitoid assemblage size. *Journal of Animal Ecology* 59:57-72.
- Hawkins, B. A., H. V. Cornell, and M. E. Hochberg. 1997. Predators, parasitoids, and pathogens as mortality agents in phytophagous insect populations. *Ecology* 78:2145-2152.
- Hawkins, B. A. and P. Gross. 1992. Species richness and population limitation in insect parasitoid-host systems. *American Naturalist* 139:417-423.

- Heinrichs, E. A. and O. Mochida. 1984. From secondary to major pest status: The case of insecticide- induced rice brown planthopper, *Nilaparvata lugens*, resurgence. *Protection Ecology* 1:201-218.
- Heong, K. L. 1991. Management of the brown planthopper in the Tropics. In *Migration and Dispersal of Agricultural Insects*, 269-279, Tsukuba, Japan, September 25-28, 1991.
- Hooper, D. U. 1998. The role of complementarity and competition in ecosystem responses to variation in plant density. *Ecology* 79:704-719.
- Horn, D. J. 1988. *Ecological Approach to Pest Management*. New York: Guilford.
- Huston, M. A. 1997. Hidden treatments in ecological experiments: Re- evaluating the ecosystem function of biodiversity. *Oecologia* 110:449-460.
- Keddy, P. A. 1992. Assembly and response rules: Two goals for predictive community ecology. *Journal of Vegetation Science* 3:157-164.
- Kelt, D. A., M. L. Taper, and P. L. Meserve. 1995. Assessing the impact of competition on community assembly: A case- study using small mammals. *Ecology* 76: 1283-1296.
- Kenmore, P. E., F. O. Cariño, C. A. Perez, V. A. Dyck, and A. P. Gutierrez. 1984. Population regulation of the rice brown planthopper (*Nilaparvata lugens* Stål) within rice fields in the Philippines. *Journal of Plant Protection in the Tropics* 1:19-37.
- Knops, J. M. H., D. Tilman, N. M. Haddad, S. Naeem, C. E. Mitchell, J. Haarstad, M. E. Ritchie, K. M. Howe, P. B. Reich, E. Siemann, and J. Groth. 1999. Effects of plant species richness on invasion dynamics, disease outbreaks, insect abundances and diversity. *Ecology Letters* 2:286-293.
- Kruess, A. and T. Tscharncke. 1994. Habitat fragmentation, species loss, and biological control. *Science* 264:1581-1584.
- Landis, D. A., S. D. Wratten, and G. M. Gurr. 2000. Habitat management to conserve natural enemies of arthropod pests in agriculture. *Annual Review of Entomology* 45:175-201.
- Lawton, J. H. and V. K. Brown. 1993. Redundancy in ecosystems. In E.- D. Schulze and H. A. Mooney, eds., *Biodiversity and Ecosystem Function*, 255-270. Berlin: Springer- Verlag.
- Letourneau, D. K. and B. Goldstein. 2001. Pest damage and arthropod community structure in organic vs. conventional tomato production in California. *Journal of Applied Ecology* 38:557-570.
- Loevinsohn, M. E. 1994. Rice pests and agricultural environments. In E. A. Heinrichs, ed., *Biology and Management of Rice Insects*, 487-513. New Delhi: Wiley Eastern.
- Loreau, M. and A. Hector. 2001. Partitioning selection and complementarity in biodiversity experiments. *Nature* 412:72-76.

- Losey, J. E. and R. F. Denno. 1998. Positive predator–predator interactions: Enhanced predation rates and synergistic suppression of aphid populations. *Ecology* 79:2143–2152.
- Luna, M. and N. Sánchez. 1999. Parasitoid assemblages of soybean defoliator Lepidoptera in north- western Buenos Aires province, Argentina. *Agricultural and Forest Entomology* 1:255–260.
- Memmott, J., N. D. Martinez, and J. E. Cohen. 2000. Predators, parasites and pathogens: Species richness, trophic generality and body sizes in a natural food web. *Journal of Applied Ecology* 69:1–15.
- Menalled, F. D., P. C. Marino, S. H. Gage, and D. A. Landis. 1999. Does agricultural landscape structure affect parasitism and parasitoid diversity? *Ecological Applications* 9:634–641.
- Mills, N. J. 1994. Parasitoid guilds: Defining the structure of the parasitoid communities of endopterygote insect hosts. *Environmental Entomology* 23:1066–1083.
- Mooney, H., J. Lubchenco, R. Dirzo, and O. Sala. 1995a. Biodiversity and ecosystem functioning: Basic principles. In V. Heywood, ed., *Global Biodiversity Assessment*, 279–323. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Mooney, H., J. Lubchenco, R. Dirzo, and O. Sala. 1995b. Biodiversity and ecosystem functioning: Ecosystem analyses. In V. Heywood, ed., *Global Biodiversity Assessment*, 347–452. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Naeem, S. 2000. Reply to Wardle et al. *Bulletin of the Ecological Society of America* 81:241–246.
- Naeem, S., F. S. Chapin III, R. Costanza, P. R. Ehrlich, F. B. Golley, D. U. Hooper, J. H. Lawton, R. V. O’Neill, H. A. Mooney, O. E. Sala, A. J. Symstad, and D. Tilman. 1999. Biodiversity and ecosystem functioning: Maintaining natural life support processes. Ecological Society of America. *Issues in Ecology* 4:1–12.
- Naeem, S. and S. B. Li. 1997. Biodiversity enhances ecosystem reliability. *Nature* 390:507–509.
- Naylor, R. L. and P. R. Ehrlich. 1997. Natural pest control services and agriculture. In G. C. Daily, ed., *Nature’s Services*, 151–174. Washington, dc: Island Press.
- Ooi, P. A. C. and B. M. Shepard. 1994. Predators and parasitoids of rice insect pests. In E. A. Heinrichs, ed., *Biology and Management of Rice Insects*, 586–612. New Delhi: Wiley Eastern.
- Petchey, O. L., P. T. McPhearson, T. M. Casey, and P. J. Morin. 1999. Environmental warming alters food- web structure and ecosystem function. *Nature* 402:69–72.
- Pimentel, D. 1961. Species diversity and insect populations outbreaks. *Annals of the Entomological Society of America* 54:76–86.
- Rosenheim, J. A., H. K. Kaya, L. E. Ehler, J. J. Marois, and B. A. Jaffee. 1995. Intra-guild predation among biological- control agents: Theory and evidence. *Biological Control* 5:303–335.

- Sala, O. E., W. K. Lauenroth, S. J. McNaughton, G. Rusch, and X. Zhang. 1996. Biodiversity and ecosystem functioning in grasslands. In H. A. Mooney, J. H. Cushman, E. Medina, O. E. Sala, and E. D. Schulze, eds., *Functional Roles of Biodiversity: A Global Perspective*, 129–149. New York: Wiley.
- Schläpfer, F., B. Schmid, and I. Seidl. 1999. Expert estimates about effects of biodiversity on ecosystem processes and services. *Oikos* 84:346–352.
- Schmidt, M. H., A. Lauer, T. Purtauf, C. Thies, M. Schaefer, and T. Tschardtke. 2003. Relative importance of predators and parasitoids for cereal aphid control. *Proceedings of the Royal Society of London Series B-Biological Sciences* 270:1905–1909.
- Schwartz, M. W., C. A. Bringham, J. D. Hoeksema, K. G. Lyons, M. H. Mills, and P. J. van Mantgem. 2000. Linking biodiversity to ecosystem function: Implications for conservation ecology. *Oecologia* 122:297–305.
- Settle, W. H., H. Ariawan, E. T. Astruti, W. Cahyana, A. L. Hakim, D. Hindayana, A. S. Lestari, and P. Sartanto. 1996. Managing tropical pests through conservation of generalist natural enemies and alternative prey. *Ecology* 77:1975–1988.
- Snyder, W. E. and A. R. Ives. 2001. Generalist predators disrupt biological control by a specialist parasitoid. *Ecology* 82:705–716.
- Snyder, W. E. and D. H. Wise. 1999. Predator interference and the establishment of generalist predator populations for biocontrol. *Biological Control* 15:283–292.
- Sunderland, K. 1999. Mechanisms underlying the effects of spiders on pest populations. *Journal of Arachnology* 27:308–316.
- Swift, M. J., J. Vandermeer, P. S. Ramakrishnan, J. M. Anderson, C. K. Ong, and B. A. Hawkins. 1996. Biodiversity and agroecosystem function. In H. A. Mooney, J. H. Cushman, E. Medina, O. E. Sala, and E. D. Schulze, eds., *Functional Roles of Biodiversity: A Global Perspective*, 261–297. New York: Wiley.
- Thies, C. and T. Tschardtke. 1999. Landscape structure and biological control in agroecosystems. *Science* 285:893–895.
- Thomas, M. B. 1999. Ecological approaches and development of “truly integrated” pest management. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA* 96:5944–5951.
- Thomas, M. B., S. D. Wratten, and N. W. Sotherton. 1991. Creation of island habitats in farmland to manipulate populations of beneficial arthropods: Predator densities and emigration. *Journal of Applied Ecology* 28:906–917.
- Thomas, M. B., S. D. Wratten, and N. W. Sotherton. 1992. Creation of island habitats in farmland to manipulate populations of beneficial arthropods: Predator densities and species composition. *Journal of Applied Ecology* 29:524–531.
- Tilman, D., C. L. Lehman, and K. T. Thomson. 1997. Plant diversity and ecosystem productivity: Theoretical considerations. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA* 94:1857–1861.



- Tonhasca, A. and D. N. Byrne. 1994. The effects of crop diversification on herbivorous insects: A meta-analysis approach. *Ecological Entomology* 19:239–244.
- Tscharntke, T. and R. Brandl. 2004. Plant–insect interactions in fragmented landscapes. *Annual Review of Entomology* 49:405–430.
- Wainhouse, D. and T. H. Coaker. 1981. The distribution of carrot fly (*Psila rosae*) in relation to the fauna of field boundaries. In J. M. Thresh, ed., *Pests, Pathogens and Vegetation: The Role of Weeds and Wild Plants in the Ecology of Crop Pests and Diseases*, 263–272. London: Pitman.
- Walker, B. H. 1992. Biodiversity and ecological redundancy. *Conservation Biology* 6:18–23.
- Wardle, D. A. 1999. Is “sampling effect” a problem for experiments investigating biodiversity–ecosystem function relationships? *Oikos* 87:403–407.
- Wardle, D. A., M. A. Huston, J. P. Grime, F. Berendse, E. Garnier, W. K. Lauenroth, H. Setälä, and S. D. Wilson. 2000. Biodiversity and ecosystem function: An issue in ecology. *Bulletin of the Ecological Society of America* 81:235–239.
- Weibull, A. C., O. Östman, and A. Granqvist. 2003. Species richness in agroecosystems: The effect of landscape, habitat and farm management. *Biodiversity and Conservation* 12:1335–1355.
- Wellnitz, T. and N. Poff. 2001. Functional redundancy in heterogeneous environments: Implications for conservation. *Ecology Letters* 4:177–179.
- Wilby, A. and M. B. Thomas. 2002a. Are the ecological concepts of assembly and function of biodiversity useful frameworks for understanding natural pest control? *Agricultural and Forest Entomology* 4:237–243.
- Wilby, A. and M. B. Thomas. 2002b. Natural enemy diversity and natural pest control: Patterns of pest emergence with agricultural intensification. *Ecology Letters* 5:353–360.
- Yachi, S. and M. Loreau. 1999. Biodiversity and ecosystem productivity in a fluctuating environment: The insurance hypothesis. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA* 96:1463–1468.

## 11 La gestion des maladies des cultures dans les agroécosystèmes traditionnels

---

### Avantages et risques de la diversité génétique

D. I. JARVIS, A. H. D. BROWN, V. IMBRUCE, J. OCHOA, M. SADIKI,  
E. KARAMURA, P. TRUTMANN et M. R. FINCKH

Pendant des millénaires, les agriculteurs ont affronté les infestations des ravageurs et des maladies qui menacent leurs cultures et leurs moyens de subsistance. Leur héritage de variétés domestiquées ou variétés indigènes est génétiquement diversifié, à la fois intra et interspécifique. La question qui se pose naturellement est de savoir si le maintien de la diversité à la ferme, en particulier pour les gènes qui affectent les interactions hôte-pathogène, a fourni aux agriculteurs une stratégie efficace contre la maladie, ou au contraire, si elle a donné lieu à une évolution défavorable de la diversité dans les populations de pathogènes. En d'autres termes, la diversité génétique des cultures est-elle un avantage dans la réduction des maladies dans le temps? Ou est-elle un risque en donnant la possibilité à des super-races d'agents pathogènes d'apparaître?

Deux hypothèses contradictoires résument la question essentielle à résoudre pour une meilleure gestion de la diversité génétique à la ferme. Elles peuvent être nettement précisées dans la façon dont un agriculteur se fonde sur une plantation diversifiée, réalisée avec un mélange de génotypes différents par leur résistance (1) ou sur une monoculture basée sur différentes variétés (2) protégée par une forme de résistance. Selon l'hypothèse d'un bénéfice de la diversité, une base génétique diversifiée de la résistance est bénéfique pour les agriculteurs, car elle permet une gestion plus stable de la maladie qu'une monoculture. C'est parce que la théorie et l'expérience montrent avec quelle facilité la résistance d'une monoculture peut faillir et faire succomber l'ensemble de la population.

L'alternative ou l'hypothèse du risque de la diversité fait valoir que la monoculture avec une variété multigénique, voire une forme combinée de

plusieurs gènes majeurs de résistance différents, est la meilleure option et la plus stable, car les populations de pathogènes sont maintenues à des niveaux très bas. La mutation conjointe, double ou multiple, nécessaire pour surmonter toutes les résistances doit être extrêmement rare. À l'opposé, cette hypothèse prédit que les populations hôtes mixtes qui ont des génotypes différents dans la résistance à différents ensembles de pathotypes, permettront aux populations de pathogènes variés de se développer et au potentiel de pathotypes de nouvelles super-races de se présenter en une seule étape de mutation, ou de recombinaison. La théorie derrière ces arguments est soumise à de nombreuses discussions (Mundt 1990, 1991; Kolmer et al. 1991.), et il est difficile de déterminer expérimentalement la menace des super-races.

Dans ce chapitre, nous discuterons la façon dont la diversité indigène de cultivars réduit la susceptibilité génétique des agents pathogènes. Le but ultime de ces recherches est de découvrir quand et comment l'utilisation de variétés de cultures indigènes et de génotypes aura un effet bénéfique pour les agriculteurs sur l'incidence des ravageurs et des maladies. Ce type de recherche est nécessaire pour décider entre les deux hypothèses et déterminer l'utilisation optimale de la diversité pour gérer les pressions des agents pathogènes. Enfin, nous notons que l'agriculteur est au centre du triangle hôte-pathogène-environnement et que les cultivars indigènes (variétés locales) gérés à long terme, dans des systèmes agricoles à faibles intrants, sont des réservoirs de variation génétique résultant d'une interaction dynamique entre hôtes, ravageurs, environnement et agriculteurs.

## Vulnérabilité génétique et uniformité génétique

Dès les années 1930, les chercheurs spécialisés dans l'agriculture reconnaissent les conséquences potentiellement néfastes de la plantation de monocultures et de cultures monovariétales dans de vastes zones (Marshall, 1977). Cette situation accroît la vulnérabilité génétique, car elle augmente le risque de maladies épidémiques (3). La réduction attendue de la vulnérabilité causée par les plantations génétiquement hétérogènes est conforme à l'hypothèse des avantages de la diversité. D'autre part, les maladies affectent sévèrement la production, en particulier dans les pays en développement. Une grande partie des 30% des récoltes annuelles mondiales qui se perd à cause des maladies et des parasites se perd dans les pays en voie de développement (Oerke et al. 1994). À première vue, l'hypothèse du risque de la diversité prédit que des variétés traditionnelles sont

sujettes à de telles pertes et explique la gravité des maladies dans les pays en développement. Cependant, les stratégies inappropriées ou limitées de déploiement de gènes de résistance qui ignorent les complexités environnementales et agronomiques dans les systèmes traditionnels, peuvent être à l'origine de ces généralisations.

La famine de pomme de terre en Irlande dans le sillage de l'introduction de l'agent pathogène du mildiou (*Phytophthora infestans*) dans les années 1840, est un exemple frappant d'une vulnérabilité génétique qui accompagne l'uniformité génétique et conduit à la perte dévastatrice de la culture (Schumann, 1991). Un autre exemple est l'attaque en 1979-1980 de la rouille sur la canne à sucre de Cuba (causée par *Puccinia melanocephala*), un cultivar couvrant 40% de la superficie de canne à sucre, qui a abouti à 500 millions de dollars de pertes (FAO 1998:32). La brûlure des feuilles de maïs du sud (causée par *Cochliobolus carbonum*) a détruit pour 1 milliard de dollars de maïs aux États-Unis dans les années 1970 (Ullstrup 1972). La sensibilité des cinq principaux cultivars commerciaux de banane à la cercosporiose noire, maladie fongique (causée par *Mycosphaerella fijiensis*) a entraîné dans les pays d'Amérique centrale la perte d'environ 47% de leur rendement de la banane (FAO 1998). Bien sûr, des mesures pour contrôler la maladie sont disponibles. En huit années, elles ont coûté en Amérique centrale, Colombie, Mexique et États-Unis 350 millions de dollars et causé de sérieux problèmes de santé pour l'homme par l'exposition aux pesticides. Le virus de la mosaïque du manioc a causé des pertes de rendement allant jusqu'à 40% dans certaines régions d'Afrique, où beaucoup dépendent du manioc en tant que ressource nutritionnelle importante (Otim-Nape et Thresh, 1998). La plupart des clones d'hévéa cultivés dans le monde, dérivent de croisements sur la base d'une variation génétique limitée (Oldfield, 1989). Le flétrissement des feuilles d'hévéa en Amérique du Sud, causé par *Microcyclus ulei*, a un lourd passif de dévastation de plantations d'hévéas dans la région et reste le principal obstacle au développement de caoutchouc, à cause de la forte variabilité de la brûlure de la feuille (Rivano 1997). La vraie menace de brûlure de la feuille d'hévéa est en Asie, où est produit 90% du caoutchouc mondial. Actuellement, cette région est indemne de la maladie, mais les clones sont considérés comme très sensibles (Compagnon 1998; Kennedy et Lucks 1999).

Beaucoup de dégâts résultent de l'évolution de nouvelles races de parasites et d'agents pathogènes qui surmontent les gènes de résistance actuellement déployés sur de grandes surfaces. Lorsque de nouveaux cultivars sont produits et qu'ils portent de nouveaux gènes de résistance, ces résistances peuvent jouer un rôle protecteur que pour quelques saisons de

### Encadré 11.1 Le déploiement de nouvelles variétés résistantes et changements dans la pathogénicité en Équateur

L'évolution de la rouille jaune du blé, du mildiou du quinoa, de la rouille du haricot et des anthracoses, a été suivie en détail en Équateur. La structure de la population de l'agent pathogène de la rouille jaune (*Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*) était très simple dans le début des années 1970, et comprenait une fraction virulente sur tous les cultivars différentiels utilisés pour la caractérisation de la race (INIAP 1974). Dans une enquête de 1991, Ochoa et al. (1998) ont identifié une virulence aux gènes de résistance à la rouille jaune (Yr1, Yr2, Yr3, Yr6, Yr7, YrA). Depuis ce temps-là, la virulence d'Yr9 et d'autres gènes ont été identifiés dans la population équatorienne. Actuellement, tous les gènes principaux de résistance à la disposition des sélectionneurs ont été surmontés par des agents pathogènes.

L'amélioration génétique du Quinoa basée sur une sélection en ligne a commencé dans le début des années 1980 et s'est poursuivie jusqu'au début des années 1990. Le matériel génétique local ainsi que celui provenant du Pérou et de la Bolivie a été testé à plusieurs reprises, et quatre cultivars sont devenus disponibles : Cochasqui, Imbaya, Tunkahuan, et Ingapirca. La résistance au mildiou causé par *Perinispora farinosa* f. sp. *chenopodii* a été un critère de sélection important dans ce programme. Dans une étude de la structure de la population de *P. farinosa* en 1994-1995, quatre groupes de pathotypes ont été trouvés, apparemment différents par leur virulence par étapes successives uniques. L'isolat avirulent (V1-groupe) n'a été trouvé qu'une seule fois dans une population naturelle indigène à Otavalo. Ces isolats avirulents ont probablement été plus fréquents dans l'ancien système de subsistance du quinoa avant la reproduction. Le cultivar Imbaya porte apparemment le facteur de résistance R1, le cultivar Ingapirca porte le facteur de résistance R2 (origine Pérou et Bolivie), et le cultivar Tunkahuan, plus récemment publié, est dépourvu de tout facteur de résistance. Le facteur de résistance R1 est commun dans des espèces primitives, et le R3 est plus fréquent dans les générations avancées. Le criblage du matériel génétique pour la résistance aux agents pathogènes isolés dans le groupe V4 a été sans succès jusqu'à présent (Ochoa et al. 1999).

Un processus rapide d'évolution a eu lieu dans le pathosystème mildiou du quinoa pendant cette courte période de reproduction et d'amélioration. Les isolats de faible virulence, qui semblent être moins agressifs et moins complexes, sont supposés avoir été communs dans les agroécosystèmes traditionnels. En revanche, les isolats virulents sont plus fréquents chez les quinoas modernes, probablement en raison de niveaux plus élevés d'agressivité. Dans le pathogène mildiou du quinoa, l'adaptation semble plus rapide et efficace que dans d'autres spécialistes biotrophiques.

La rouille du haricot (*Uromyces appendiculatus*) et l'anthracose (*Colletotrichum lindemuthianum*) sont de sérieuses contraintes pour la culture du haricot nain en Équateur. La structure des agents pathogènes et des résistances de l'hôte ont été étudiées pour ces deux maladies. Des 21 isolats sélectionnés pour leur variabilité, 17 pathotypes de rouille différents ont été identifiés. 14 des 20 écarts ont été sensibles. Cependant, les cultivars et variétés indigènes sont plus

utiles pour distinguer les pathotypes, ce qui indique la coévolution de la plante hôte et du pathogène. La plupart des cultivars commerciaux modernes ont été trouvés sensibles à la rouille (Ochoa et al. 2002).

Semblables aux résultats de la rouille, les écarts formels étaient moins efficaces dans la discrimination entre pathotypes d'antracnose. Six races ont été trouvées en utilisant le jeu différentiel. Toutefois, 12 modèles différents ont été discriminés lorsque des cultivars et variétés indigènes ont été inclus. Comme pour la rouille du haricot, la plupart des cultivars commerciaux ont été trouvés sensibles à l'antracnose (Falconi et al. 2003).

Bien que la résistance à la rouille et à l'antracnose soit un objectif important de la reproduction, la qualité du grain est l'objectif principal. La variété la plus répandue (Paragachi) est très sensible à la rouille et à l'antracnose. Le cultivar résistant à la rouille Gema n'est pas adapté aux basses vallées où la rouille est une contrainte, mais il est cultivé dans les zones sujettes à l'antracnose, à laquelle il est sensible. Cette contradiction apparente se produit, parce que la culture du haricot et la sélection pour la résistance ont été effectuées à l'extérieur du pays, et seuls l'adaptation et le potentiel de rendement ont été testés avant la plantation des cultivars. Au lieu de cela, des programmes de sélection sont nécessaires pour développer des résistances multiples chez les variétés adaptées aux conditions locales.

culture avant l'apparition de nouveaux pathotypes. Cependant, le déploiement de gènes peut aussi accroître la complexité des agents pathogènes. Par exemple, dans un scénario plus suggestif de l'hypothèse du risque de la diversité, certaines variétés de quinoa en Équateur étaient résistantes envers des isolats de faible virulence de mildiou qui étaient fréquents avant le déploiement de gènes. Cependant, avec la plantation de variétés résistantes, les souches pathogènes développées étaient plus virulentes envers toute la résistance hypersensible déployée (Ochoa et al 1999 ; encadré 11.1). Les conséquences réelles de cette ingénierie épidémiologiques sont difficiles à établir parce que l'étendue de la culture de variétés résistantes est inconnue.

### Adaptation des variétés indigènes à l'environnement des agents pathogènes

Différents types de résistance semblent être répandus dans les variétés indigènes (Teshome et al. 2001). Cela est attribué à la coévolution à long terme

entre les espèces de ravageurs et les hôtes dans les centres primaires et secondaires de la diversité. Pour de nombreuses espèces, il est probable que des centres de diversité génétique des cultures et celles de la diversité contre les ravageurs coïncident (Leppik 1970; Allen et al 1999).

Comme les humains se sont établis dans le monde entier avec leurs cultures, les germoplasmes résistants et les races virulentes d'agents pathogènes ont fait de même. Les gènes de résistance évoluent en fonction des nouveaux agents pathogènes, mais il peut aussi y avoir des restes de la résistance déjà présente dans une région, si les cultures ont été en contact avec la maladie auparavant. Ce phénomène a abouti à l'apparition d'une résistance en dehors du centre d'origine de la diversité, un exemple étant la résistance à la maladie des taches chocolat (causés par *Botrytis fabae*) de la fève (*Vicia faba*) dans les Andes (Hanounik et Robertson 1987). Cette première culture a atteint les Amériques il y a plusieurs centaines d'années ; son centre d'origine de la diversité est le Croissant fertile.

Les modèles géographiquement marqués de résistance de l'hôte par rapport à la présence de ravageurs et de maladies peut suggérer l'opération de la coévolution. Dans un dépistage au niveau mondial de l'orge, Qualset (1975) trouve une résistance au virus du nanisme jaune de l'orge (BYDV) très localisé en Éthiopie, un centre de diversité. Qualset a conclu que la mutation de résistance au BYDV s'est produite en Éthiopie et que la présence de la maladie est une raison de penser que la sélection naturelle a favorisé des orges résistantes. Subrahmanyam et al. (1989) ont établi un panel mondial d'arachide pour la résistance à la rouille causée par *Puccinia arachnidis* et aux taches des feuilles causées par *Phaeoisariopsis personata*. Ils ont constaté que 75% des accessions résistantes provenaient de la région de Tarapoto au Pérou. Le Pérou est un centre secondaire de diversité pour l'arachide qui s'est développé à partir du centre principal de la domestication dans le sud de la Bolivie.

Il est prouvé que les variétés indigènes sont adaptées à leur environnement biotique, qui comprend les parasites et pathogènes. Leppik (1970), Harlan (1977), et Buddenhagen (1983) ont noté que le plus grand nombre de gènes de résistance aux maladies proviennent généralement de variétés dans lequel hôtes et pathogènes ont coexisté pendant de longues périodes. Bien que certaines de ces populations puissent avoir de faibles rendements, la variabilité génétique pour la résistance parmi elles fournit un certain degré d'assurance contre les risques d'épidémies.

D'autres forces sélectives se combinent avec la pression des agents pathogènes et l'importance relative d'une maladie dans l'environnement de l'hôte afin de déterminer l'intensité de la sélection pour la résistance. Par

exemple, les épidémies occasionnelles de la pyriculariose du riz (causée par *Pyricularia grisea*) peuvent être dévastatrices dans les hautes altitudes du Bhoutan, et éradiquer localement toutes les cultures. Ceci suggère que la pyriculariose est une forte pression sélective. De fait, la résistance au froid est un trait essentiel et peut être la force dominante dans le système sélectif (Thinlay 1998).

L'encadré 11.2 présente les recherches récentes sur les variétés indigènes de la fève au Maroc en tant que sources de résistance aux maladies foliaires : taches chocolat et ascochytose. L'un des intérêts primordiaux dans cette étude est qu'une grande partie de l'examen préalable a été faite avec des isolats locaux d'agents pathogènes à la fois dans des conditions de laboratoire et sur le terrain. Les populations hôtes se sont avérées polymorphes à la résistance, dont l'analyse génétique a indiqué qu'elle est multigénique et partielle dans le cas des taches chocolat de la fève.

En plus des gènes de résistance eux-mêmes, les réponses de résistance des variétés peuvent résulter en des différences morphologiques, des caractères corrélés, ou des effets indirects. Par exemple, la tige solide de certains types de blé turques était résistante à la tenthrède, alors que d'autres types à tige creuse ne l'étaient pas (Damanian et al. 1997). En Afrique orientale, la réponse à la sélection pour la tolérance à de fortes pluies a été corrélée avec la résistance à l'anthracnose (Trutmann et al. 1993).

Des croisements composites ou des populations en vrac, qui sont très variables génétiquement, sont des systèmes expérimentaux intéressants qui peuvent présenter comment les populations d'hôtes évoluent pour répondre aux menaces exercées par les différentes populations d'agents pathogènes (Brown, 1999). Allard (1990) a analysé les tendances temporelles de la résistance à l'échaudage (causé par *Rhynchosporium secalis*) dans de l'orge composite et en a déduit que tous les allèles de résistance sont utiles, certains étant défavorables au rendement, à la reproduction et à l'adaptabilité. Il a également conclu que les pathotypes diffèrent dans leur capacité à surmonter les allèles de résistance différents, à infecter et à endommager l'hôte. Plusieurs aspects du pathosystème sont liés de manière à influencer sur la dynamique des populations d'accueil et d'agents pathogènes, y compris les fréquences des allèles de résistance dans les populations hôtes et des allèles virulents dans la population des agents pathogènes.

Plusieurs mécanismes peuvent contribuer à des changements dans l'incidence ou la gravité des maladies (généralement une réduction) dans des populations hôtes qui sont diverses en termes de résistance (Wolfe et Finkel 1997). Sept de ces mécanismes sont répertoriés ici. Les quatre premiers



### Encadré 11.2 Les variétés indigènes marocaines comme sources de résistance multigéniques

Les taches chocolat, causées par le champignon *Botrytis fabae*, est la maladie la plus destructrice des feuilles de fève (*Vicia faba* L.) au Maroc. Cet agent pathogène peut réduire les rendements jusqu'à 80% par an dans des conditions optimales pour le développement de la maladie. Bouhassan et al. (2003a) ont identifié et signalé les sources de résistance dans le matériel génétique local. Par conséquent, le dépistage de 136 accessions de fèves indigènes pour la résistance à *B. fabae* a été mené. Les réponses dans des conditions de terrain et sur des feuilles détachées ont été testées avec inoculation artificielle utilisant une souche locale de *Botrytis*. Des différences significatives entre les génotypes ont été détectées pour la réaction à la maladie dans les deux tests. Neuf accessions sont clairement résistantes à la fois sur le terrain et in vitro, et deux étaient très résistantes. Toutefois, aucune résistance complète n'a été observée, et les auteurs ont conclu que ces génotypes ont une résistance partielle, sans doute sous contrôle multigénique.

Bouhassan et al. (2003b) ont analysé les éléments épidémiologiques de cette résistance partielle aux taches chocolat avec cinq lignées différentes mises au point à partir de cinq variétés indigènes différentes de la fève, qui ont montré différents niveaux de tolérance à la maladie sur le terrain. Ils ont constaté que le diamètre des lésions, la période de latence et le nombre de spores par feuille ont été fortement impliqués dans la caractérisation de la résistance partielle. La période d'incubation ne semble pas jouer un rôle. Le travail a été basé sur des isolats locaux du champignon.

Ascochyte, causée par *Ascochyta fabae* Speg., est l'une des principales maladies fongiques de la fève à travers le monde. Le champignon peut endommager toutes les parties aériennes de la plante et entraînerait des pertes importantes en termes de qualité et de quantité du produit. La résistance génétique est l'une des principales composantes de la lutte intégrée contre la maladie. Grâce à un réseau de collaboration (FRYMED), le matériel génétique local d'Afrique du Nord a été examiné pour trouver les sources de résistance à cet agent pathogène dans le but de développer un pool de gènes résistants (Kharrat et al. 2002). Au total, 309 accessions (dont 106 provenaient du Maroc) ont été examinés in situ après inoculation de l'isolat du pathogène local FRY AFT04. Les lignées les plus résistantes ont été testées à nouveau pour la confirmation sur le terrain et ex-situ contre deux souches virulentes (FRY AFT04 et AFT37). Ces tests ont abouti à l'identification de 18 accessions résistantes de fève. Certaines souches ont montré une meilleure résistance sur les tiges que sur les feuilles et ont été maintenues afin que la base génétique de la résistance soit la plus large possible. Presque toutes les souches identifiées comme résistantes ou partiellement résistantes appartiennent à des types de plans petits et moyens, mais ils ont une grande variabilité en termes de durée du cycle et de quelques autres caractères morphologiques. Ces génotypes résistants ont été introduits dans la banque de gènes de maladies spécifiques *Ascochyta*, détenues par l'Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II (IAV Hassan II), Rabat, Maroc.

s'appliquent à tous les mélanges et populations variables indépendamment du fait que la spécialisation des agents pathogènes de l'hôte en question soit présente ou non. Les trois derniers s'appliquent à des systèmes hôte-pathogène avec des résistances spécifiques.

- *L'augmentation de la distance* entre les végétaux des géotypes les plus vulnérables de la population réduit la densité des spores et la probabilité que des spores virulentes se posent sur un hôte sensible.
- Les végétaux résistants constituent *des obstacles* à la propagation des agents pathogènes.
- *La sélection dans les populations hôtes* pour chercher les géotypes les plus compétitifs ou les plus résistants peuvent réduire la gravité globale de la maladie.
- *La diversité accrue de la population pathogène* en soi peut dans certains cas atténuer la maladie (Dileone et Mundt, 1994).
- Lorsque la spécialisation des agents pathogènes pour des géotypes d'hôtes se produit, *les réactions de résistance* que les spores virulentes induisent peuvent empêcher ou retarder l'infection par les spores virulentes adjacentes (par exemple, de l'oïdium de l'orge mélangé [Chin et Wolfe 1984] et pour la rouille jaune du blé [Lannou et al. 1994; Calonnec et al. 1996]).
- *Les interactions entre les races pathogènes* (p.e., la concurrence pour les tissus de l'hôte disponibles) peuvent réduire la gravité de la maladie.
- *Les effets de barrière sont réciproques*, c'est-à-dire que les végétaux d'un géotype de l'hôte agissent comme une barrière contre l'agent pathogène spécialisé pour un géotype différent, et les végétaux de ce dernier agissent comme une barrière contre l'agent pathogène spécialisé pour le premier géotype.

Ces mécanismes s'appliquent aux maladies aéroportées, venant d'éclaboussures, et à certaines maladies transmises par le sol. Ainsi des mélanges de géotypes de l'hôte qui varient en réponse à une gamme de maladies des plantes ont tendance à montrer une réponse globale à ces maladies qui sont corrélées avec les niveaux de la maladie sur les composantes plus résistants dans la population. En outre, lorsque les géotypes sont particulièrement touchés par la maladie, les rendements des individus plus résistants les compensent.

## Gestion de l'évolution des agents pathogènes en réponse à la résistance de l'hôte

L'environnement biotique des variétés indigènes diffère proportionnellement de l'environnement abiotique dans au moins deux aspects. Premièrement, il est potentiellement une cible sensible en mouvement, capable de changer pour répondre aux nouvelles possibilités de l'évolution et correspondre aux changements dans l'hôte. Deuxièmement, la composante pathogène est partiellement cachée dans la mesure où les maladies potentielles qui sont actuellement sous contrôle dans la population peuvent ne pas être des menaces évidentes. Ainsi, la présence d'un agent pathogène grave nécessite que la maladie se soit développée sur des plantes hôtes spécifiques pour être évidente, alors que mes contraintes édaphiques ou climatiques sont apparentes dans une zone de données physiques ou biologiques.

Une préoccupation importante est la possibilité pour les populations hôtes génétiquement hétérogènes d'aboutir à une sélection pour la résistance aux super-races, qui pourrait conduire à la perte simultanée de toutes les résistances. Toutefois, l'approche de la domination d'une race pathogène capable d'attaquer tous les génotypes sera lente avec des populations hôtes de plus en plus complexes en raison de l'avantage sélectif de pouvoir attaquer un hôte supplémentaire baisse tandis que le nombre de génotypes différents augmente (Wolfe et Finckh 1997). D'autre part, accroître la diversité des réponses de résistance peut diminuer l'adaptation ou l'utilisation ou la valeur de la population de cultures de l'agriculteur. Par conséquent, il est susceptible d'être un optimum de la complexité des hôtes.

Il existe d'autres stratégies pour retarder l'évolution des super-races. Par exemple, certains chercheurs suggèrent que dans les populations locales, la stratégie optimale de l'évolution peut être le développement de modes complémentaires de variation génétique pour la résistance de l'hôte et la virulence de l'agent pathogène (McDonald et al. 1989). Une importante littérature théorique et empirique existe sur l'étude de telles stratégies pour les mélanges délibérés. On sait beaucoup moins sur cette question dans les variétés locales traditionnelles.

Les effets à long terme du déploiement du gène de résistance sur la structure génétique des diverses populations de pathogènes sont largement débattus. De nombreuses études dirigées vers des modèles coévolution dans les systèmes agricoles ont souligné l'importance des coûts de remise en forme associée à la résistance et à la virulence. Toutefois, ces coûts sont

difficiles à démontrer. Si la virulence a un coût de remise en forme à l'agent pathogène, alors les mélanges ayant différents gènes de résistance vont ralentir le rythme d'évolution de l'agent pathogène, et des races simples vont dominer la population de pathogènes. Toutefois, les modèles récents indiquent que des mécanismes autres que le coût de la virulence pourraient agir dans le même sens (Lannou et Mundt 1996; Finckh et al 1998.).

Comment ont réagi les agents pathogènes face à la manipulation de la diversité phytogénétique des cultures par les agriculteurs? Cette question importante a probablement autant de réponses qu'il y a de systèmes de culture, mais une généralisation primordiale est que les paliers d'évolution du pathogène sont la règle. L'encadré 11.1 donne quelques exemples de recherches récentes en Équateur qui soulignent la complexité des situations qui surviennent dans le déploiement de gènes de résistance. L'utilisation non optimale de variétés résistantes peut causer des changements involontaires et fâcheux de la virulence des agents pathogènes qui doivent être compensés par l'utilisation de plus de sources, voire de nouvelles ou d'autres sources de résistance.

## Utilisation de la diversité génétique pour gérer les maladies

Les agriculteurs et les sélectionneurs ont choisi et utilisé les géotypes qui sont résistants aux ravageurs et pathogènes de leurs cultures et ont développé des systèmes agricoles qui réduisent les dommages qu'ils causent (Frankel et al 1995; Finckh et Wolfe, 1997; Thinlay et al 2000a.). Ici, nous discutons trois types d'utilisation de géotype : l'utilisation directe par les agriculteurs, l'utilisation de la résistance in mixture, et l'utilisation dans les programmes de sélection.

### *L'utilisation directe par les agriculteurs*

Les agriculteurs traditionnels sont souvent conscients de la sensibilité et exploitent les différences intervariétales de susceptibilité aux principaux agents pathogènes. L'encadré 11.3 donne un exemple d'utilisation de la diversité génotypique par les agriculteurs pour faire face à une série de maladies et de ravageurs de la banane en Ouganda. La sensibilité aux maladies se joint souvent à une liste complexe de critères qui déterminent le choix des semences par les agriculteurs. Le choix reflète un compromis entre des critères contradictoires. Les agriculteurs peuvent choisir plusieurs variétés pour répondre aux besoins distincts.

### Encadré 11.3 Gestion des maladies des taches foliaires dans les systèmes de production de bananes des hautes terres de l'Afrique orientale

La diversité des variétés de bananes dans la région des Grands Lacs de l'Afrique orientale est estimée entre 100 et 150 cultivars (Karamura et Karamura 1995). La culture de la banane est si étroitement imbriquée dans le tissu socioculturel des communautés, que chaque partie de la plante est utilisée dans la maison. Des cultivars différents sont utilisés en médecine et dans l'exécution des rites tels que la naissance, la mort et le mariage. Dans une étude ethnobotanique, Karamura et al. (2003) ont rapporté que les agriculteurs utilisent sept critères dans leur sélection de la banane. Cinq de ces critères étaient liées aux insectes et aux maladies. En outre, les pratiques culturelles telles que l'œilletonnage, la plantation profonde et l'arrachage des souches après la récolte sont des mesures pratiquées pour gérer les ravageurs et les maladies de la banane dans les systèmes de subsistance.

Les bananiers des hautes terres d'Afrique, AAA-EAHB (Karamura 1999), sont un groupe unique de la région des Grands Lacs de l'Afrique orientale, qui est maintenant considérée comme un centre secondaire de diversité de la banane (Karamura et al. 1999). Bien que ce groupe domine la culture dans la région (78%), des groupes de bananes, y compris des bluggoes (ABB), la banane dessert (AAA-Gros Michel), AB (Sukali Ndiizi), et la banane plantain (AAB-Gonja) sont cultivées dans des mélanges avec l'AAA-EAHB allant de 30 à 40 cultivars différents par ferme.

Dans cette région, une multitude de maladies virales, fongiques et bactériennes et de parasites attaquent les cultures, ce qui provoque une variété de réponses de la culture. Les stress principaux sont générés par un complexe de taches foliaires, parmi lesquels la cercosporiose noire causée par *Mycosphaerella fijiensis* Morelet, le *Cladosporium* speckle, causée par *Cladosporium musae* Mason et la cercosporiose jaune causée par *Mycosphaerella musicola* Leach. Parfois, dans les zones chaudes et humides, la récolte peut être attaquée par la maladie des taches oculaires (*Drechslera* sp.).

Tushemereirwe (1996) a étudié l'incidence et la distribution des maladies foliaires dans la région des Grands Lacs en mettant l'accent sur les bananiers d'altitude. Les résultats ont montré une gamme de réponses au sein des populations de plantes à l'égard de différentes maladies foliaires. Le tableau 11.3 résume ceux des *M. musicola*, pour lesquels les variétés AAA-EAHB dans le test (Entundu, Mbwazirume, et Nakitembe) ont eu l'incidence la plus faible, alors que la banane « bière », le cultivar Kayinja, a eu le plus élevé. Dans une exploitation moyenne dans les zones où la maladie est répandue, ce cultivar constitue normalement moins de 5% de la population (Karamura et Karamura 1995). Cela peut aider à garder les inocula de la maladie à un faible niveau dans le jardin et à minimiser les pertes des agriculteurs. La réponse de la maladie de la cercosporiose noire (*M. fijiensis*) contraste avec la cercosporiose jaune. Les cultivars ABB affichent un haut niveau de résistance, alors qu'AAA-EAHB semble être très sensible.

Les résultats décrits ici supposent que la diversité intra spécifique peut contribuer à la gestion des taches sur les feuilles de bananes. En cultivant plu

TABLEAU DE L'ENCADRÉ 11.3. Incidence de la cercosporiose jaune sur les génomes des bananiers et la réaction de ces derniers à la cercosporiose noire

Cultivar	Génome	<i>M. musicola</i>	Incidence	Cercosporiose noire	Réponse*
Kayinja	ABB	72%	Sensible	7.1 ± 0.1	Résistant
Gros Michel	AAA	19%		5.2 ± 0.3	
3 cultivars	AAA-EAHB	7%	Résistant	—	
Plusieurs cultivars	AAA-EAHB	—		4.7 ± 0.0	Sensible
Sukali Ndiizi	AB	—		5.4 ± 0.1	
Platane	ABB	—		4.8 ± 0.2	

Source: Tushemereirwe (1996).

\* La réponse est mesurée comme étant la plus jeune feuille nécrosée (± marge d'erreur standard de la moyenne), en donnant la valeur zéro à la dernière feuille à entonner ou feuille non déployée. Dans des cultivars sensibles, les symptômes apparaissent tôt sur les feuilles les plus jeunes, tandis que chez les cultivars résistants, seules les vieilles feuilles présentent des symptômes.

sieurs variétés, les agriculteurs se sécurisent contre les pertes totales de la production pouvant résulter de la variabilité ou de changements dans la population pathogène, assurant ainsi la sécurité alimentaire et les revenus du ménage. Dans la région des Grands Lacs, les agriculteurs régulent le problème des maladies à deux niveaux. Tout d'abord, ils profitent de la variation entre les génomes. Les cultivars ABB sont sensibles à la cercosporiose jaune, mais résistants à la cercosporiose noire. L'inverse est vrai pour les bananiers d'altitude d'Afrique orientale. Les gammes des deux maladies sont également modifiées par la température, avec les hautes terres fraîches fortement infestées par la cercosporiose jaune et les basses terres chaudes par la cercosporiose noire.

Deuxièmement, les agriculteurs peuvent utiliser la variation dans le sous-groupe tel que Lujugira-Mutika, où les plus sensibles sont aussi celles à maturité précoce (9-12 mois), tandis que les plus résistants ont tendance à être à grandes-bottes et à maturité tardive (12 - 15 mois). Les cultivars à maturation précoce échappent au moins une saison humide pendant laquelle les taches foliaires ont tendance à proliférer, et les rendements sont plus élevés que prévu. Au niveau du système de culture, les agriculteurs des hautes altitudes ont tendance à cultiver des cultivars hâtifs, mais sensibles, alors que les agriculteurs des plaines cultivent largement des cultivars résistants ou tolérants.

### *Multilignes et mélanges pour la lutte contre les maladies*

Dans de nombreuses régions du monde, les agriculteurs ont des préférences locales pour la culture de mélanges de cultivars qui offrent une résistance aux ravageurs et aux maladies et qui améliorent la stabilité du rendement (Trutmann et al. 1993). Ainsi, dans la diversité des cultures (à travers des mélanges de variétés, les multilignes, ou le déploiement prévu de variétés différentes dans le même environnement de production peut réduire les dommages causés par les ravageurs et les maladies (Encadré 11.4).

Une autre approche à la disposition des agriculteurs consiste à utiliser des mélanges de variétés traditionnelles et d'autres modernes et résistantes pour obtenir une réduction des dommages des ravageurs et des maladies et à conserver et utiliser ainsi des variétés traditionnelles à la ferme (Zhu et al 2000; chapitre 12). Pyndji et Trutmann (1992) et Trutmann et Pyndji (1994) ont montré sur plus de trois saisons que l'ajout d'une variété résistante à 25-50% d'un mélange de haricots locaux sensibles à la tache angulaire (ALS) (causée par *Colletotrichum lindemuthianum*) protégeait les

#### Encadré 11.4 Afrique orientale : L'utilisation des agriculteurs du haricot commun de diversité génétique pour réduire les maladies

La région des Grands Lacs en Afrique est un centre secondaire de la diversité de l'une des plus importantes cultures alimentaires indigènes, le haricot commun (*Phaseolus vulgaris*). Les haricots sont cultivés en mélanges génétiques, qui sont préférés pour des raisons de rendement plus élevé et pour une plus grande stabilité de production (Voss, 1992). Les agriculteurs jouent un rôle central dans le développement et la manipulation de la diversité génétique disponible pour en optimiser la production dans des environnements très variables.

Traditionnellement, un mélange pour chaque champ est sélectionné et conservé séparément, chacune étant unique selon la pente, l'exposition au soleil, l'exposition du sol à la pluie, et d'autres facteurs. Au début, quand les agriculteurs s'installèrent dans une zone ou cultivèrent un nouveau champ, ils développeront un mélange en semant le plus possible de sources variables de semences dans chaque champ, la récolte des survivants, et en répétant le processus au fil des saisons et des années.

D'autres critères sont ajoutés pour satisfaire d'autres objectifs tels que les goûts de la famille, la couleur, et les préférences de cuisson. Les nouvelles variétés sont sélectivement ajoutées aux mélanges seulement à un stade ultérieur, et seulement après qu'ils soient testés séparément. Sans la sélection des agriculteurs, la composition des mélanges change rapidement. Par conséquent, la composition des mélanges des agriculteurs est d'une part le résultat de la sélection naturelle et de la gestion des agriculteurs d'une autre part. Des niveaux substantiels de la résistance aux pathogènes locaux sont inhérents à ces mélanges, et le niveau de résistance augmente dans les zones plus favorables aux agents pathogènes (Trutmann et al. 1993).

En particulier, les variétés dans des conditions contrôlées ont une résistance aux races indigènes de *Colletotrichum lindemuthianum*, l'agent causal d'une maladie souvent mortelle appelée anthracnose. Pourtant, les mélanges des agriculteurs varient à la fois le nombre de différents types de semences (la diversité et la richesse du mélange) et le pourcentage de types de composants (diversité régularité), en fonction de la zone. Résistance aux pathotypes locaux de *C. lindemuthianum* de variétés à partir des zones avec des conditions plus favorables pour les augmentations anthracnose avec l'altitude, de même que le nombre de variétés avec des niveaux élevés de résistance. D'autres façons des agriculteurs pour gérer la résistance aux maladies incluent l'utilisation de l'architecture des végétaux, l'élimination des imperfections lors de la sélection des semences, et ce en faisant varier l'utilisation de la diversité génétique dans les paramètres temporels et spatiaux.

Les variétés doivent résister à la pluie. Résistance à la pluie et le rendement sont les critères les plus importants pour les agriculteurs pour la sélection variétale. Bien que les maladies dans l'ensemble, ne soient généralement pas reconnues individuellement, elles sont liées à la pluie. Pour les agriculteurs, la pluie est associée à la décomposition des feuilles ou des racines et à l'avortement flo-

Encadré 11.4, suite à la page suivante



ral (Trutmann et al. 1996). L'architecture des plantes qui permet à ces dernières d'échapper aux effets de la pluie est préférable, et certains types de vigueur des plantes sont sélectionnés en fonction des conditions. Les agriculteurs ont aussi déployé leur diversité génétique, en utilisant différents mélanges dans la première et deuxième saison des pluies. Traditionnellement, les semences pour chaque saison sont tenues pour chaque domaine. Cette stratégie est étroitement liée à la rotation. En outre, les champs sont de taille réduite et les haricots sont souvent en association avec d'autres cultures comme la banane, la patate douce et le maïs. L'effet global est que la variation génétique à gérer les maladies est renforcée par une variation de son placement, la fréquence ou la densité, et le calendrier. Avec ces moyens, les agriculteurs indigènes améliorent l'utilisation de la diversité génétique disponible au-delà du déploiement au sein de cultures de gènes qui confèrent directement la résistance aux pathogènes locaux.

composants sensibles dans le mélange local tout en augmentant nettement les rendements.

Toutefois, il n'y a eu aucun gain de rendement sans pression causée par la maladie. La tache foliaire angulaire (ALS) est un facteur important qui limite le rendement. De plus, de nouvelles sources de résistance peuvent avoir un impact majeur sur les rendements des mélanges de variétés traditionnelles. Ces nouvelles résistances et leur utilisation dans des mélanges de variétés peuvent aider à préserver les variétés traditionnelles et à réduire leur remplacement par des monocultures.

L'histoire est plus complexe. Dans des essais multilocaux, les avantages de rendement des nouveaux mélanges résistants n'étaient pas aussi clairs que les indices de gravité avaient indiqués. Dans ces sites, le facteur de l'interaction probable était une autre maladie : la tache foliaire farineuse (causée par *Ramularia phaseoli*), dont la variété résistante ALS a été sensible. Ces résultats soulignent les difficultés typiques des sélectionneurs, puisqu'ils doivent sélectionner parmi d'autres traits pour plusieurs résistances aux maladies. Wolfe (1985) a proposé que les mélanges aux champs de plusieurs cultivars puissent aider à atteindre cet objectif de manière plus efficace. Il suffirait que les différentes composantes dans le mélange soient résistantes à différentes maladies.

Les multilignes sont des mélanges de lignées génétiquement similaires ou des variétés qui ne diffèrent que par leurs résistances aux différents pathotypes. Elles sont utilisées dans les céréales aux États-Unis (Finckh et

Wolfe, 1997) et dans le café (*Coffea arabica*) en Colombie. Ici, la variété Colombie est une multilignes de cafés différemment résistante à la rouille (causé par *Hemilera vastatrix*) et cultivée sur plus de 360.000 ha (Moreno-Ruiz et Castillo-Zapata, 1990; Browning, 1997).

Des études épidémiologiques de populations de pathogènes dans des mélanges expérimentaux de variétés et de multilignes fournissent un test empirique pour savoir si l'hétérogénéité de résistance dans une population de variétés indigènes pourrait également réduire la propagation de la maladie. Wolfe (1985) a examiné plus de 100 observations à partir de preuves expérimentales, et a constaté que le taux d'infection dans le composant le plus sensible dans les mélanges binaires n'était que de 25% du taux d'infection dans les parcelles pures. Le taux global d'infection dans des mélanges variétaux se rapproche de celui du composant résistant cultivé seul. Il a également découvert que les mélanges sont généralement plus efficaces que les multilignes en raison de leur plus haut niveau d'hétérogénéité génétique.

Un autre argument qui soutient les propriétés d'adaptation de la résistance multiple est sa prévalence dans les populations de plantes sauvages. Burdon (1987) a examiné la preuve de huit herbacées et des essences forestières ainsi que *Avena*, *Glycine*, et *Trifolium*, montrant que les populations de végétaux naturels sont souvent polymorphes dans leur réponse à des agents pathogènes. Dans le système sauvage de *Linum marginale-Melamp-sora linii*, les populations les plus résistantes de végétaux naturels abritent des populations de rouille plus virulentes (Thrall et Burdon, 2003). Pourtant, dans ce système, la maladie est généralement moins fréquente dans les populations d'hôtes avec une plus grande diversité génétique de la résistance. Des observations très similaires ont été faites sur des variétés indigènes de riz et la pyriculariose du riz (Thinlay et al. 2000b).

La concurrence et la compensation sont les interactions les plus importantes inter-génotypiques au sein des populations de plantes. Ce sont des variables qui influencent le rendement et la stabilité du rendement. En l'absence de maladie, les mélanges ont tendance à produire autour de la moyenne des composants et un peu plus de la moyenne générale (Finckh et Wolfe, 1997). Les augmentations de rendement dans les mélanges de génotypes peuvent se poser en partie de différenciation des niches entre les composantes (Finckh et Mundt, 1992). L'allélopathie et les synergies d'origines inconnues pourraient également jouer un rôle.

Les niveaux des maladies dans les mélanges de variétés sont presque toujours inférieurs aux niveaux moyens de leurs composants (Burdon 1987; Burdon et Jarosz 1989). En présence de la maladie, des mélanges de cultivars produisent souvent plus que la moyenne des cultures monovarié-

tales (Finckh et Wolfe 1997). Bien que la corrélation entre la sévérité de la maladie et le rendement soit souvent évidente dans les peuplements purs, il n'est pas toujours le cas dans les mélanges de variétés (Finckh et al. 1999). C'est parce que la corrélation entre la sévérité de la maladie et le rendement des composantes individuelles d'un mélange est souvent faible. Une raison importante de cette corrélation réside dans les effets de la maladie sur les interactions concurrentielles entre les cultivars (Finckh et Mundt 1992; Finckh et al 1999.).

### Sélection

En raison de la valeur des gènes de résistance dans les programmes de sélection, de nombreux chercheurs ont trié des banques de gènes des échantillons des variétés indigènes et des espèces sauvages apparentées ainsi que des échantillons récemment recueillis sur le terrain. Lors de l'interprétation des résultats de ces études, il est important de garder à l'esprit que les échantillons des banques de gènes ont été initialement collectés et que ces pathotypes ont été utilisés pour tester la résistance (Teshome et al. 2001). Le facteur temporel est important parce que les populations de pathogènes et d'hôtes changent au fil du temps sur le terrain. Comparer les collections effectuées à des moments différents peut présenter une diversité trompeuse dans la réponse quant au niveau de la diversité pouvant être présent à tout moment. Bien que l'utilisation des pathotypes non indigènes dans les tests pour la réaction de résistance dans les variétés indigènes soit pertinente pour des buts spécifiques de sélection, les données de ce type ne peuvent pas être utiles pour l'étude des processus de la coévolution in situ.

Étant donné que les variétés indigènes sont souvent diverses en termes de résistance, il est également important d'utiliser des échantillons suffisamment grands pour le dépistage contre des agents pathogènes à races multiples. Souvent, seule une certaine fraction de la race primitive porte la résistance (Thinlay et al. 2000b). En outre, même des cultures principalement consanguines se croisent dans une certaine mesure lorsqu'elles sont maintenues en tant que races diverses et peuvent donc être séparées et montrer l'évolution de la résistance au fil du temps (Finckh 2003).

L'utilisation par les sélectionneurs des résistances des variétés indigènes commence habituellement par le criblage du matériel génétique. Par exemple, Negassa (1987) a analysé des variétés de blé éthiopiennes pour la réponse à la rouille brune (causée par *Puccinia recondita*) et a trouvé une résistance modérée à un isolat virulent sur six gènes. Par la suite, Dyck et Sykes (1995) ont testé si une telle résistance était transférable à un pro-

gramme d'amélioration du blé. Dans des essais utilisant des croisements et des rétrocroisements, ils ont démontré que la résistance des blés tétraploïdes et hexaploïdes éthiopiens à la rouille et à la rouille noire (causée par *P. graminis* f. sp. *tritici*) était utilisable.

Parmi les variétés d'orge indigènes éthiopiennes, Alemayehu et Parlevliet (1996) ont trouvé une quasi-absence de race spécifique, une résistance majeure et une fréquence élevée des niveaux modérés de résistance partielle à *Puccinia hordei*. La sélection qui se base sur des résistances quantitatives, partielles ou multigéniques pose des difficultés dans la sélection végétale moderne, qui parfois peut être aidée par des marqueurs génétiques liés. Alternativement, une dispersion des efforts de sélection dans les programmes participatifs impliquant le choix des agriculteurs est encourageante comme le rapporte l'encadré 11.5.

Lorsque le patrimoine génétique de la résistance est complexe, cette dernière peut être traitée par d'autres moyens que par la sélection généalogique. Depuis que les agents pathogènes ont été reconnus comme des «ennemis en déplacement» (Stakman 1947), de nombreux sélectionneurs ont préconisé l'utilisation de la diversité des gènes de résistance pour faire face,

**Encadré 11.5** Réponse des variétés indigènes à la sélection récurrente participative au Maroc

Au Maroc, l'amélioration du germoplasme basée sur la sélection récurrente s'est avérée une approche efficace pour l'amélioration des populations de fèves, en particulier pour les caractères quantitatifs (Sadiki et al. 2000). Cette stratégie est intéressante en tant que méthode de sélection végétale participative pour l'amélioration du germoplasme indigène de la fève. Trois cycles de sélection de diverses caractéristiques d'une famille de demi-frères ont été menés à bien pour les composantes du rendement et la résistance à *Botrytis fabae* sous infestation naturelle au sein d'une ample population de base, mise au point à partir de variétés indigènes (Sadiki et al. 2000). L'évaluation de la réponse à la sélection a montré que le gain significatif a été réalisé pour le rendement et que la résistance à *Botrytis* s'est améliorée de 54%. Le premier cycle induit la plus grande réponse à la sélection pour tous les caractères. Cette approche montre que les agriculteurs indigènes peuvent améliorer leurs variétés en augmentant la fréquence des génotypes résistants aux maladies qui combinent des gènes de résistance. Néanmoins, les populations améliorées sont encore sensiblement différentes concernant les caractères visibles et leur réaction à la maladie elle-même. Les populations améliorées sont sélectionnées par rapport aux populations indigènes du pathogène.

voire prévenir l'évolution des populations pathogènes (p. e. l'approche de «sélection végétale évolutive» de Suneson en 1956; Le Boulc'h et al. 1994). Parmi les autres concepts de reproduction, la sélection de la population, le croisement composite, le top-croisement et toutes les multilignes font usage de la diversité au sein des cultures (Finckh et Wolfe, 1997).

## Rôle des agriculteurs dans le façonnage de la diversité génétique coévolué

Les agriculteurs manipulent la composition génétique de leurs cultures et de l'environnement biotique et abiotique dans et autour de leurs champs, en créant des pressions sélectives distinctes dans les systèmes agricoles. Quatre types de gestion des ressources génétiques sont à noter.

### *Sélection de la diversité génétique des cultures*

Les choix du matériel végétal que font les agriculteurs ont clairement un effet majeur sur les populations de pathogènes. Les cultures diffèrent dans la mesure où les critères de sélection des semences par les agriculteurs incluent explicitement ou de manière efficace la résistance aux dommages des pathogènes. Pour beaucoup de cultures (comme la fève, encadré 11,2, la banane, encadré 11.3; les haricots *Phaseolus*, encadré 11,4), les critères de réponse aux maladies sont classés parmi les plus importants dans les décisions des agriculteurs. Dans d'autres cultures ne présentant aucun symptôme évident de la maladie, la sélection de résistance est indirecte via la sélection pragmatique de rendement.

Les effets de la sélection de semences des agriculteurs dépendent de leur accès aux ressources génétiques et l'histoire de la culture dans la région. Les variétés indigènes de cultures qui poussent dans certaines régions où les espèces ont été domestiquées, peuvent toujours interagir avec leurs ancêtres sauvages ainsi qu'avec les mauvaises herbes et les ravageurs communs, avec les pathogènes et avec les organismes bénéfiques. D'autre part, les cultures qui ont traversé les continents et sont séparées de leur lieu d'origine peuvent conserver moins de diversité génétique et afficher une variété de relations avec leurs parasites. Les résultats pour toutes les situations particulières sont difficiles à prévoir. La plupart des cultures, loin des contraintes de leurs parasites coévolués, peuvent s'épanouir. Dans certains cas, les cultures ont développé une résistance en dehors de leur centre de domestication (p.e., *Vicia faba*), qui implique sans doute la sélection des agriculteurs.

### *Taille et position du champ*

L'emplacement du champ influe sur l'interaction des espèces végétales avec les populations dans les champs d'autres agriculteurs et autres hôtes sauvages dans la végétation naturelle environnante. Les petits champs isolés sont plus susceptibles de s'isoler les uns des autres que les grands domaines, de sorte que dans de nombreux systèmes traditionnels de petits champs deviennent des mosaïques de la diversité qui peut réduire le risque d'épidémies à grande échelle. Les champs adjacents ont plus de possibilités de flux génétique entre les populations de l'hôte et le pathogène. Les populations naturelles des espèces sauvages apparentées peuvent soutenir l'évolution des agents pathogènes et le potentiel d'agents pathogènes à surmonter la résistance des cultures (Allen et al. 1999). Un exemple extrême est le mouvement de souches virulentes de la rouille des parents sauvages du blé dans l'Himalaya vers le blé cultivé en Inde et au Pakistan, entraînant des épidémies (Joshi, 1986).

### *Distribution spatiale dans le champ de la diversité génétique des cultures*

Les agriculteurs peuvent cultiver leurs cultures en tant que monocultures variétales ou bien en tant que mélanges d'espèces et ce, en ayant recours à divers modèles de cultures intercalaires. Chacune de ces stratégies influe la distribution et le niveau d'interaction hôte-pathogène, tel que discuté antérieurement.

### *Variables temporelles*

La saisonnalité de la température et des précipitations par rapport à la récolte et la plantation affectent les interactions plante-pathogène. Les pratiques agricoles telles que la jachère, la rotation, la variation de la date de semis, l'utilisation de cultivars de durées différentes, l'utilisation de cultures-pièges et le déploiement temporel des résistances spécifiques peuvent s'appuyer sur la saisonnalité pour la gestion des ravageurs (Thurston, 1992).

La rotation des cultures est fondamentale pour améliorer la santé des cultures de diverses manières (Finckh, 2003). Ces dernières peuvent être divisées en effets temporels pour survivre aux propagules pathogènes résiduelles dans le sol ou dans les résidus de la récolte, les effets indirects via l'activité microbienne du sol et les effets directs de suppression de quelques cultures sur certains pathogènes. Bien que la présence d'un agent pathogène soit nécessaire pour causer la maladie, l'absence d'un agent pathogène n'est

pas forcément nécessaire pour une récolte saine. En fait, l'équilibre entre les organismes bénéfiques et nuisibles détermine généralement le résultat.

Pourtant, comme ce chapitre l'a montré, la nécessité est de compléter et d'étendre ces stratégies de lutte intégrée comme des rotations en utilisant et en gérant la diversité intraspécifique des cultivars indigènes comme une ressource clé. Pour les agriculteurs pauvres en ressources des pays en voie de développement, la diversité des cultures indigènes et sa gestion peuvent être une des rares ressources disponibles pour lutter contre les ravageurs et les maladies. Ainsi, les bénéfices de la biodiversité, qui vont s'accroître par l'application de cette approche, en plus de la conservation de l'agrobiodiversité, comprendront moins de dommages environnementaux, ainsi que la conservation des insectes, des champignons, des microorganismes du sol et de la biodiversité aquatique des écosystèmes adjacents.

## Débats et défis de la recherche

Bien qu'il soit reconnu que la diversité génétique des cultures peut être utilisée pour réduire la pression, il est également évident que cette approche n'est pas appropriée en toutes circonstances. Le défi consiste à élaborer des critères qui déterminent quand et où la diversité peut jouer ou joue un rôle clé dans la gestion de la pression des ravageurs et des maladies. Ces critères serviront de base pour les outils et les procédures de décision pour les agriculteurs et les agents de développement afin de permettre l'adoption de stratégies de diversité efficaces et appropriées à la gestion des ravageurs et des maladies.

Les questions clés pour que la recherche produise de telles lignes directrices dans l'utilisation de la diversité génétique des cultures sont les suivantes:

- Diversité au niveau de la résistance de l'hôte : au niveau des cultivars traditionnels et entre eux, quelle est la variation génétique de résistance contre les populations d'agents pathogènes qu'ils abritent ?
- Diversité et résistance sur le terrain : la diversité en terme de résistance d'une culture réduit-elle effectivement la pression des ravageurs et des maladies et sa vulnérabilité, au moins à court terme ?
- Diversité de biotypes : comment est ce que la structure de la population d'agents pathogènes varie-t-elle selon les systèmes et l'espace ?

Les réponses à ces questions se baseront sur les données recueillies pour caractériser les hôtes, les parasites, les agents pathogènes et les milieux environnants à partir de mesures directes sur le terrain et en faisant participer les agriculteurs.

En général, le développement de la maladie chez les végétaux et la coévolution de la résistance et de virulence est le résultat de l'interaction entre trois facteurs : l'hôte, le parasite ou pathogène, et l'environnement, présenté comme le triangle de la maladie (Burdon, 1987).

La coévolution hôte-pathogène dans les systèmes traditionnels de culture peut également être illustrée en tant que triangle commun entre les communautés naturelles ou croisements composites. Toutefois, pour les variétés indigènes dans les systèmes traditionnels, il est important de faire participer les agriculteurs à ce modèle en raison du rôle crucial qu'ils jouent dans la sélection (Finckh et Wolfe, 1997).

## Conclusion

Comprendre les forces d'interconnexion entre les agriculteurs, leurs cultures, l'environnement, l'hôte et les espèces nuisibles dans les écosystèmes agricoles est essentielle à l'élaboration de mécanismes efficaces pour lutter contre les maladies basées sur l'entretien et la gestion optimale de la diversité génétique des plantes cultivées dans des environnements très variables.

Les paysans à faibles revenus dépendent de la diversité des cultivars indigènes pour faire face à tous les facteurs qui diminuent le rendement. Le développement de stratégies alternatives pour répondre à leurs besoins, telles que les variétés homogènes les plus cultivées qui combinent plusieurs résistances (« pyramide de reproduction »), est coûteux. Ils sont peu susceptibles d'être adaptés à des environnements marginaux ou très variables. Inévitablement, ces variétés doivent être remplacées lorsque de nouvelles maladies ou pathotypes les menacent. La plupart des pays en voie de développement ne sont pas en mesure de financer de larges programmes de sélection. Le secteur public se rétrécit, les environnements sont souvent très variables, et le climat est optimal pour la plupart des agents pathogènes.

Par conséquent, il est essentiel que la diversité de résistance soit à la fois entretenue et utilisée de façon optimale à la ferme pour assurer la production actuelle et les options futures pour les agriculteurs. Les cas de déploiement inapproprié n'excluent pas ce principe fondamental. La diversité n'est pas un danger en soi, ni nécessairement un avantage. Au



contraire, la tâche est de déterminer les principaux paramètres génétiques, environnementaux et agronomiques qui auront une incidence lorsque les agriculteurs bénéficieront de l'utilisation de la diversité sur la réduction de la vulnérabilité de leurs cultures aux maladies et aux ravageurs.

## Remerciements

Les auteurs tiennent à remercier le Programme des Nations Unies pour l'environnement, le Fonds pour l'environnement mondial (FEM – GEF), le Programme des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) et les gouvernements de la Suisse (Direction du développement et de coopération) et de l'Allemagne (Bundesministerium für Zusammenarbeit Wirtschaftliche / Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit) pour leur soutien financier à certaines des études de ce chapitre.

## Notes

1. Par souci de simplicité, nous n'incluons pas les espèces multiples comme une stratégie de diversité strict, car une espèce composante d'un système de multi-cultures peut être génétiquement homogène et être l'hôte d'une maladie complètement différente, tout en étant immunisée contre des pathologies qui affligent d'autres composants. Les avantages de la résistance d'une telle stratégie proviennent des effets physiques (tels le piégeage des spores et la densité des hôtes) plutôt que des effets génétiques (comme la résistance différentielle).

2. Le terme « *monoculture* » fait généralement référence à la culture continue d'une seule espèce sur une grande surface. Pour le pathologiste, pourtant, le terme de *monoculture* seul est insuffisant car il peut s'appliquer au niveau de l'espèce, de la variété, ou du gène. Si toutes les variétés disponibles au sein de l'espèce possèdent le même gène de résistance, alors le système est effectivement une monoculture du gène de résistance (Finckh et Wolfe, 1997).

3. La vulnérabilité génétique est défini comme « la condition qui résulte d'une culture largement plantée est uniformément sensible à un parasite, agent pathogène ou à un danger pour l'environnement en raison de sa constitution génétique, créant ainsi un potentiel de pertes de récolte généralisée » (FAO 1998:30). Cette vulnérabilité reflète un potentiel de dommages plutôt que de la réalité du dommage.

## Références

Alemayehu, F. and J. E. Parlevliet. 1996. Variation for resistance to *Puccinia hordei* in Ethiopian barley landraces. *Euphytica* 90:365–370.

- Allard, R. W. 1990. The genetics of host-pathogen coevolution: Implications for genetic resource conservation. *Journal of Heredity* 81:1-6.
- Allen, D. J., J. M. Lenne, and J. M. Walker. 1999. Pathogen biodiversity: Its nature, characterization and consequences. In D. Wood and J. Lenne, eds., *Agrobiodiversity. Characterization, Utilization and Management*, 123-153. Wallingford, UK: CAB International.
- Bouhassan, A., M. Sadiki, and B. Tivoli. 2003a. Evaluation of a collection of Faba bean (*Vicia faba* L.) genotypes originating from the Maghreb for resistance to chocolate spot (*Botrytis fabae*) by assessment in the field and laboratory. *Euphytica* 135:55-62.
- Bouhassan, A., M. Sadiki, B. Tivoli, and N. El Khiati. 2003b. Analysis by detached leaf assay of components of partial resistance of faba bean (*Vicia faba* L.) to chocolate spot caused by *Botrytis fabae* Sard. *Phytopathologia Mediterranea* 42:183-190.
- Brown, A. H. D. 1999. The genetic structure of crop landraces and the challenge to conserve them in situ on farm. In S. Brush, ed., *Genes in the Field: On Farm Conservation of Crop Diversity*, 29-48. Boca Raton, FL: Lewis Publishers.
- Browning, J. A. 1997. A unifying theory of the genetic protection of crop plant populations from diseases. In I. Wahl, G. Fischbeck, and J. A. Browning, eds., *Disease Resistance from Crop Progenitors and Other Wild Relatives*. Berlin: Springer Verlag.
- Buddenhagen, I. W. 1983. Breeding strategies for stress and disease resistance in developing countries. *Annual Review of Phytopathology* 21:385-409.
- Burdon, J. J. 1987. *Diseases and Plant Population Biology*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Burdon, J. J. and A. M. Jarosz. 1989. Disease in mixed cultivars, composites, and natural plant populations: Some epidemiological and evolutionary consequences. In A. H. D. Brown, M. T. Clegg, A. L. Kahler, and B. S. Weir, eds., *Plant Population Genetics, Breeding and Genetic Resources*, 215-228. Sunderland, MA: Sinauer Associates.
- Calonnec, A., H. Goyeau, and C. de Vallavieille-Pope. 1996. Effects of induced resistance on infection efficiency and sporulation of *Puccinia striiformis* on seedlings in varietal mixtures and on field epidemics in pure stands. *European Journal of Plant Pathology* 102:733-741.
- Chin, K. M. and M. S. Wolfe. 1984. The spread of *Erysiphe graminis* f. sp. *hordei* in mixtures of barley varieties. *Plant Pathology* 33:89-100.
- Compagnon, P. 1998. *El caucho natural, Biología- Cultivo- Producción*, 142-1559. Paris: Consejo Mexicano del Hule y CIRAD.
- Damania, A., B. L. Pecetti, C. O. Qualset, and B. O. Humeid. 1997. Diversity and geographic distribution of stem solidness and environmental stress tolerance in a

- collection of durum wheat landraces from Turkey. *Genetic Resources and Crop Evolution* 44:101-108.
- Dileone, J. A. and C. C. Mundt. 1994. Effect of wheat cultivar mixtures on populations of *Puccinia striiformis* races. *Plant Pathology* 43:917-930.
- Dyck, P. L. and E. E. Sykes. 1995. Inheritance of stem rust and leaf rust resistance in some Ethiopian wheat collections. *Euphytica* 81:291-297.
- Falconi, E., J. B. Ochoa, E. Peralta, and D. Daniel. 2003. *Virulence Pattern of Colletotrichum lindemuthianum in Common Bean in Ecuador*. Bean Improvement Cooperative (bic). East Lansing: Michigan State University.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 1998. *The State of the World's Plant Genetic Resources for Food and Agriculture*. Rome: FAO.
- Finckh, M. R. 2003. Ecological benefits of diversification. In T. W. Mew, D. S. Brar, S. Peng, D. Dawe, and B. Hardy, eds., *Rice Science: Innovations and Impact for Livelihood*, Proceedings of the International Rice Research Conference, September 16-19, 2002, 549-564. Beijing: International Rice Research Institute, Chinese Academy of Engineering and Chinese Academy of Agricultural Sciences.
- Finckh, M. R., E. S. Gacek, H. J. Czembor, and M. S. Wolfe. 1999. Host frequency and density effects on disease and yield in mixtures of barley. *Plant Pathology* 48:807-816.
- Finckh, M. R., E. S. Gacek, H. J. Nadziak, and M. S. Wolfe. 1998. Suitability of cereal cultivar mixtures for disease reduction and improved yield stability in sustainable agriculture. *Sustainable Agriculture for Food, Energy and Industry* 1:571-576.
- Finckh, M. and C. Mundt. 1992. Plant competition and disease in genetically diverse wheat populations. *Oecologia* 91:82-92.
- Finckh, M. and M. S. Wolfe. 1997. The use of biodiversity to restrict plant diseases and some consequences for farmers and society. In L. E. Jackson, ed., *Ecology in Agriculture*, 203-237. San Diego, ca: Academic Press.
- Frankel, O. H., A. H. D Brown, and J. J. Burdon. 1995. *The Conservation of Plant Biodiversity*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Hanounik, S. B. and L. D. Robertson. 1987. New sources of resistance in *Vicia faba* L. to chocolate spot caused by *Botrytis faba*. *Plant Disease* 72:696-698.
- Harlan, J. R. 1977. Sources of genetic defense. *Annals of New York Academy of Sciences* 287:345-356.
- INIAP. 1974. *Annual Report*. Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias (iniap). Quito, Ecuador: Department of Plant Pathology.
- Joshi, L. M. 1986. Perpetuation and dissemination of wheat rusts in India. In L. Joshi, D. Singh, and K. D. Srivastava, eds., *Problems and Progress of Wheat Pathology*. New Delhi: South Asia Malhorta Press.

- Karamura, D. A. 1999. *Numerical Taxonomic Studies of the East African Highland Bananas (Musa AAA–East Africa) in Uganda*. PhD thesis, University of Reading, UK.
- Karamura, D. A., S. Mgenzi, E. Karamura, and S. Sharrock. 2003. Exploiting indigenous knowledge for the management and maintenance of *Musa* diversity. *African Crop Science Journal* 12:67–74.
- Karamura, E., E. Frison, D. Karamura, and S. Sharrock. 1999. Banana production systems in eastern and southern Africa. In C. Picq, E. Foure, and E. Frison, eds., *Bananas and Food Security*, 401–412. International Symposium, November 10–14, 1998, Cameroon. Montpellier, France: INIBAP.
- Karamura, E. B. and D. A. Karamura. 1995. Banana morphology. Part II. The aerial shoot: In S. Gowen, ed., *Bananas and Plantains*, 190–205. London: Chapman and Hall.
- Kennedy, D. and M. Lucks. 1999. Rubber, blight, and mosquitoes: Biogeography meets the global economy. *Environmental History* 4:369–383.
- Kharrat, M., M. Sadiki, R. Esnault, B. Tivoli, A. Porta Puglia, and M. R. Hajlaoui. 2002. *Identification of Sources of Resistance to Ascochyta Blight in Faba Bean*. Grain Legumes in the Mediterranean Agriculture (legumed). Paris: AEP.
- Kolmer, J. A., P. L. Dyck, and A. P. Roelfs. 1991. An appraisal of stem rust resistance in North American hard red spring wheats and the probability of multiple mutations to virulence in populations of cereal rust fungi. *Phytopathology* 81:237–239.
- Lannou, C. and C. C. Mundt. 1996. Evolution of a pathogen population in host mixtures: Simple race–complex race competition. *Plant Pathology* 45:440–453
- Lannou, C., C. de Vallavieille- Pope, and H. Goyeau. 1994. Induced resistance in host mixtures and its effect on disease control in computer- simulated epidemics. *Plant Pathology* 44:478–489.
- Le Boulc’h, V., J. L. David, P. Brabant, and C. de Vallavieille- Pope. 1994. Dynamic conservation of variability: Responses of wheat populations to different selective forces including powdery mildew. *Genetics Selection Evolution* 26:221–240.
- Leppik, E. E. 1970. Gene centers of plants as a source of disease resistance. *Annual Review of Phytopathology* 8:323–344.
- Marshall, D. R. 1977. The advantages and hazards of genetic homogeneity In P. Day, ed., *The genetic basis of epidemics in agriculture*. *Annals of the New York Academy of Sciences* 287:1–20.
- McDonald, B. A., J. M. McDermott, S. B. Goodwin, and R. W. Allard. 1989. The population biology of host–parasite interactions. *Annual Review of Plant Pathology* 27:77–94.

- Moreno-Ruiz, G. and J. Castillo- Zapata. 1990. The variety Colombia: A variety of coffee with resistance to rust (*Hemileia vastatrix* Berk. & Br.), *Cenicafe Chinchiná-Caldas. Colombia Technical Bulletin* 9:1-27.
- Mundt, C. C. 1990. Probability of mutation to multiple virulence and durability of resistance gene pyramids. *Phytopathology* 80:221-223.
- Mundt, C. C. 1991. Probability of mutation to multiple virulence and durability of resistance gene pyramids: Further comments. *Phytopathology* 81:240-242.
- Negassa, M. 1987. Possible new genes for resistance to powdery mildew, *Septoria*, glume blotch and leaf rust of wheat. *Plant Breeding* 98:37-46.
- Ochoa, J., H. D. Frinking, and T. H. Jacobs. 1999. Postulation of virulence groups and resistance factors in the quinoa/downy mildew pathosystem using material from Ecuador. *Plant Pathology* 48:425-430.
- Ochoa, J., J. Lowers, and L. Broers. 1998. Analysis of virulence and evolution of the Ecuador IAN population of stripe rust in wheat. *Fitopatología* 33:160-164.
- Ochoa, L. B., E. Cruz, and D. Daniel. 2002. *Physiological Variation of Bean Rust in Ecuador*. Bean Improvement Cooperative (bic). East Lansing: Michigan State University.
- Oerke, E. C., H. W. Dehne, F. Schönbeck, and A. Weber. 1994. *Crop Production and Crop Protection, Estimated Losses in Major Food and Cash Crops*. Amsterdam: Elsevier.
- Oldfield, M. L. 1989. *The Value of Conserving Genetic Resources*. Sunderland, ma: Sinauer Associates.
- Otim-Nape, G. W. and J. M. Thresh. 1998. The current pandemic of cassava mosaic virus disease in Uganda. In D. G. Jones, ed., *The Epidemiology of Plant Diseases*, 423-443. Dordrecht, The Netherlands: Kluwer.
- Pyndji, M. M. and P. Trutmann. 1992. Managing angular leaf spot development on common bean in Africa by supplementing farmer mixtures with resistant varieties. *Plant Disease* 76:1144-1147.
- Qualset, C. O. 1975. Sampling germplasm in a center of diversity: An example of disease resistance in Ethiopian barley. In O. H. Frankel and J. G. Hawkes, eds., *Crop Genetics Resources for Today and Tomorrow*, 81-96. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Rivano, F. 1997. South American leaf blight of Hevea. 1. Viability of *Microcyclus ulei* pathogenicity. *Plantations, Recherche, Developpement* 4:104-114.
- Sadiki, M., L. Belqadi, S. Mehdi, and A. El Alami. 2000. Sélection de la fève pour la résistance polygénique aux maladies par voies d'amélioration des populations. *Petria* 10:203-262.
- Schumann, G. L. 1991. *Plant Diseases: Their Biology and Social Impact*. St. Paul, MN: APS Press.

- Stakman, E. C. 1947. Plant diseases are shifting enemies. *American Scientist* 35:321–350.
- Subrahmanyam, P., V. Ramanatha Rao, D. McDonald, J. P. Moss, and R. Gibbons. 1989. Origins of resistances to rust and late leaf spot in peanut (*Arachis hypogaea*, Fabaceae). *Economic Botany* 43:444–455.
- Suneson, C. A. 1956. An evolutionary plant breeding method. *Agronomy Journal* 48:188–191.
- Teshome, A., A. H. D. Brown, and T. Hodgkin. 2001. Diversity in landraces of cereals and legume crops. *Plant Breeding Reviews* 21:221–260.
- Thinlay, X. 1998. *Rice Blast, Caused by Magnaporthe grisea, in Bhutan and Development of Strategies for Resistance Breeding and Management*. Dissertation eth No. 12777. Zürich: Swiss Federal Institute of Technology.
- Thinlay, X., M. R. Finckh, A. C. Bordeos, and R. S. Zeigler. 2000a. Effects and possible causes of an unprecedented rice blast epidemic on the traditional farming system of Bhutan. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 78:237–248.
- Thinlay, X., R. S. Zeigler, and M. R. Finckh. 2000b. Pathogenic variability of *Pyricularia grisea* from the high- and mid-elevation zones of Bhutan. *Phytopathology* 90:621–628.
- Thrall, P. H. and J. J. Burdon. 2003. Evolution of virulence in a plant host–pathogen metapopulation. *Science* 299:1735–1737.
- Thurston, H. D. 1992. *Sustainable Practices for Plant Disease Management in Traditional Systems*. Boulder, CO: Westview Press.
- Trutmann, P., J. Fairhead, and J. Voss. 1993. Management of common bean diseases by farmers in the Central African highlands. *International Journal of Pest Management* 39:334–342.
- Trutmann, P. and M. M. Pyndji. 1994. Partial replacement of local common bean mixtures by high yielding angular leaf spot resistant varieties to conserve local genetic diversity while increasing yield. *Annals of Applied Biology* 125:45–52.
- Trutmann, P., J. Voss, and J. Fairhead. 1996. Indigenous knowledge and farmer perception of common bean diseases in the central African highlands. *Agriculture and Human Values* 13:64–70.
- Tushemereirwe, W. K. 1996. *Factors Influencing the Expression of Leaf Spot Diseases of Highland Bananas in Uganda*. PhD thesis, University of Reading, United Kingdom.
- Ullstrup, A. J. 1972. The impacts of the southern corn leaf blight epidemics of 1970–1971. *Annual Review of Phytopathology* 10:37–50.
- Voss, J. 1992. Conserving and increasing on-farm genetic diversity: Farmer management of varietal bean mixtures in Central Africa. In J. Lewinger Moock and R. E. Rhoades, eds., *Diversity, Farmer Knowledge, and Sustainability*, 34–51. Ithaca, NY: Cornell University Press.

- Wolfe, M. S. 1985. The current status and prospects of multilane and variety mixtures. *Annual Review of Phytopathology* 23:251-273.
- Wolfe, M. S. and M. R. Finckh. 1997. Diversity of host resistance within the crop: Effects on host, pathogen and disease. In H. Hartleb, R. Heitefuss, and H. H. Hoppe, eds., *Plant Resistance to Fungal Diseases*, 378-400. Jena, Germany: Fischer Verlag.
- Zhu, Y., H. Chen, J. Fan, Y. Wang, Y. Li, J. Chen, J. Fan, S. Yang, L. Hu, H. Leung, T. W. Mew, P. S. Teng, Z. Wang, and C. C. Mundt. 2000. Genetic diversity and disease control in rice. *Nature* 406:718-722.

## 12 La diversification des cultures pour la lutte contre les maladies

---

Y. Y. ZHU, Y. Y. WANG et J. H. ZHOU

Les pratiques agricoles modernes à hauts intrants et à rendements élevés, ont joué un rôle extrêmement important dans l'augmentation de la productivité de riz, afin de répondre aux demandes croissantes en nourriture. Elles ont également significativement contribué à la sécurité alimentaire en Chine (Lu 1996a, 1996b).

Cependant, cette intensification agricole dans les champs de riz étendus sur des superficies importantes, basée le plus souvent sur l'emploi de certaines variétés améliorées qui offrent un rendement important, ainsi que sur l'utilisation abusive, d'engrais chimiques et de pesticides, a gravement endommagé les systèmes écologiques de riz, et fragilisé l'environnement productif. En conséquence, les maladies du riz sont devenues plus répandues et l'évolution de pathogènes plus rapide. Les cycles épidémiques et l'éruption des maladies sont également devenus plus fréquents. (Shigehisa 1982; Bonman et al. 1992; Dai et al. 1997; Zhu et al. 2000a, 2000b). Tous ces facteurs ont entraîné une baisse significative du rendement de blé.

La pyriculariose du riz, une maladie causée par la *Pyricularia oryzae* Sacc. (teleomorph *Magnaporthe grisea* Barr), est l'une des maladies épidémiques qui a limité la production de riz dans la province Yunnan, au sud-ouest de la Chine. Les apports considérables en engrais chimiques et en pesticides n'ont pas fait preuve d'efficacité dans la lutte contre la pyriculariose du riz. Au contraire, ils ont causé une dégradation au niveau des écosystèmes de riz et ont limité une éventuelle augmentation de la productivité de ce dernier. Ce chapitre portera sur la manière dont le développement de la biodiversité a été utilisé pour limiter la pyriculariose, en optant pour les cultures basées sur différentes variétés de riz (Encadré 12.1), et



### Encadré 12.1 Les cultures basées sur des mélanges de variétés en Chine

Lorsque les variétés gluantes traditionnelles et tolérantes pyriculariose ont été plantées avec des variétés hybrides modernes, le risque d'infestation a baissé de 94% chez les variétés susceptibles. Le rendement du riz gluant par unité de surface dans les exploitations agricoles cultivées en mélange est de 84% plus élevé que celui des monocultures, alors que le rendement des variétés de riz hybrides, dans les exploitations agricoles cultivées avec plusieurs variétés, a diminué de 1% seulement (Zhu et al. 2000a), ce qui a augmenté les revenus des agriculteurs. La simplicité et l'efficacité de cette approche a attiré la participation active des agriculteurs. L'alignement alternatif des variétés de riz de différentes tailles est devenu une particularité marquante dans de nombreux champs de riz au Yunnan et d'autres provinces en Chine, le développement rapide de l'utilisation de cette stratégie de diversification a nettement changé le paysage rural. Entre 1998 et 2002 les régions emblavées en mélange de variétés de riz ont augmenté en Chine. Comme les terres emblavées en mélange sont répandues, le nombre de variétés utilisées s'est multiplié. Les agriculteurs ont commencé à planter des variétés modernes de riz avec d'autres variétés traditionnelles de haute qualité, mais susceptible à la pyriculariose. Ils ont, par ailleurs, acquis une plus-value moyenne variant de 0,5 à 1 tonne/ha. L'adoption rapide de la diversification peut être attribuée à une campagne systématique de vulgarisation orientée vers des représentants des départements et des villages, des chercheurs et des agents de vulgarisation. Les agents de vulgarisation assurent la formation des agriculteurs et une disponibilité suffisante de semences, durant la période de plantation. L'expansion a été assurée par la rentabilité (augmentation du revenu moyen par fermier de 150 US\$/ha) et par le fait que les agriculteurs optaient pour certaines variétés de haute qualité destinées à la consommation. Le système de production était également convenable pour la conservation génétique des variétés traditionnelles de haute qualité au sein des exploitations agricoles, variétés n'ayant pas été cultivées depuis plus de 40 ans à cause de leur vulnérabilité aux maladies, mais ayant été réintroduites.

Au Yunnan, le concept de diversification a englobé d'autres cultures importantes au niveau de la lutte antiparasitaire et le contrôle des maladies qui peuvent affecter en particulier le blé (*Triticum aestivum*), l'orge (*Hordeum vulgare*) et la fève (*Vicia faba*). Faisant partie d'un système de culture riz-blé, le blé et la fève ont été semés durant la période hivernale sur une superficie dépassant les 250,000 ha au Yunnan. La rouille du blé, causée par la *Puccinia striiformis*, est une maladie destructrice qui peut causer des pertes au niveau du rendement atteignant les 20%. La fève est une importante culture de rente plantée dans la même saison que le blé, mais son rendement diminue souvent suite aux graves endommagements qui touchent les feuilles et les tiges causées par la mouche du haricot (*Ophiomyia phaseoli*). La culture intercalaire entre le blé et la fève a réduit l'incidence de la rouille du blé de 24% dans cinq régions au Yunnan. Les dommages causés par la mouche du haricot ont également diminué. La culture intercalaire de blé a permis de maintenir le même rendement que la monoculture, mais par contre, les rendements de fèves ont augmenté. En fin 2002, les champs où se développent les cultures intercalaires (blé et fève,

orge et fève, colza et fève, pomme de terre et maïs et maïs et arachide) se sont étendu au Yunnan.

Bien que les mécanismes détaillés qui se dissimulent derrière la réduction des parasites et des maladies dans les champs ensemencés de différentes variétés doivent être élucidés, nos données indiquent qu'il est possible de combiner dans un même champ des variétés modernes et traditionnelles de riz afin d'atteindre une productivité élevée et d'assurer une alimentation de bonne qualité et des revenus à la population rurale. En réintroduisant des variétés traditionnelles dans un écosystème qui soit productif tout en étant assez diversifié, la conservation in situ peut s'harmoniser avec les systèmes de production intensifs. Le concept de diversification en tant que moyen pour maintenir la productivité s'est propagé vers d'autres pays producteurs de riz. Aux Philippines, des essais en champ ont démontré qu'une mixture de variétés dans le même champ pourrait réduire l'incidence de la tungro, une grave maladie virale provenant des tropiques. Les recours à la diversification sont également planifiés dans le but de contrôler la pyriculariose au Delta du Mékong et le centre du Vietnam où les cultures plus courantes ne sont plus résistantes aux maladies. Les résultats positifs provenant de ces différents écosystèmes pourraient soutenir davantage la diversification en tant que stratégie influente dans l'agriculture moderne.

sur la manière dont la diversité génétique de la pyriculariose a été étudiée. (Shigehisa 1982; Staskawicz et al. 1995 ; Baker et Staskawicz 1997).

### La diversité génétique des variétés de riz dans les plantations mélangées

La province de Yunnan, située au sud-ouest de la Chine, est connue pour sa riche biodiversité. Elle a, de plus, été reconnue comme faisant partie du centre d'origine du riz cultivé. (*Oryza sativa* L.) (Cheng 1976; Oka 1988; Shi et al. 1999). La province de Yunnan dispose de riches ressources génétiques de riz, et de nouveaux gènes de résistance ont été identifiés au sein des variétés locales de riz. (Pan et al. 1998).

Une analyse de séquence effectuée sur 30 gènes de résistance clonés de type (R) ainsi que la séquence des acides aminés a montré que les gènes (R) sont classés en cinq groupes basés sur leurs caractéristiques moléculaires communes. (Baker et Staskawicz, 1997). Etant donné les séquences conservées connues des gènes, les amorces (ou amorces dégénérées) visent à isoler les fragments d'ADN peuvent être conçues avec les séquences qui correspondent au motif conservé des gènes de type (R) provenant de dif-

férentes espèces de plantes. L'analyse d'analogues des gènes de résistances (RGA) fournit une méthode efficace pour évaluer la diversité génétique et identifier la résistance des gènes candidats. Les marqueurs RGA ont été utilisés afin de caractériser le germoplasme et les lignées du riz. (Chen et al. 1998).

Un total de 137 variétés de riz ont été collectées à partir de différentes régions écologiques dans la province du Yunnan. Parmi ces variétés on trouve les traditionnelles et les hybrides, les types *Indica* et *Japonica*, les glutineuses et les non-glutineuses, et les variétés provenant des hautes terres. Les objectifs de l'étude étaient :

- Evaluer la diversité des variétés de riz dans la province de Yunnan à l'aide de l'analyse de la réaction en chaîne à la polymérase (PCR) pour l'analyse d'analogues de gènes de résistance (RGA).
- Chercher des marqueurs d'ADN liés à la résistance à la pyriculose.
- Fournir une base moléculaire renforçant la résistance du riz aux maladies et à procurer un usage efficace de ses variétés locales.

### *L'amplification de la PCR dans l'analyse de la RGA*

Trois paires d'amorces RGA (S1/AS3, XLRR pour/XLRR rev, et Pto-kin1/Pto-kin2) ont été utilisées dans cette étude. (Tableau 12.1). Les séquences des amorces pour la PCR ont été conçues sur la base des motifs conservés des gènes de résistance face aux maladies du gène Xa21 (LRR) pour XLRR pour / rev XLRR et la séquence d'ADN de codage pour la protéine kinase dans le gène Pto pour Pto-kin1/Pto-kin2 et le gène N (NBS-LRR) pour S1/AS3. En utilisant ces paires d'amorces, il est possible de scanner ces trois types de séquences dans l'ADN génomique total et de trouver des fragments de gènes de résistance en relation avec NBS-LRR, LRR, et Pto. Les démarches suivies pour l'amplification PCR sont l'électrophorèse sur gel polyacrylamide dénaturé, et la coloration à l'argent, qui ont été adoptés par Chen et al. (1998).

### *L'analyse typologique*

Afin de déterminer les relations génétiques entre les cultivars du riz, toutes les bandes amplifiées ont été traitées en tant que caractères génétiques dominants. L'analyse typologique a été fondée sur une base de données binaire employant la distance moyenne non-pondérée pour la loi de fusion

**Tableau 12.1.** Polymorphisme de 137 cultivars de riz basé sur analogue des apprêts des gènes de résistance

Apprêt	Séquences 5'-3'	Nombre de bandes amplifiées	Bandes polymorphes	
			Nombre	%
SI	GGTGGGGTTGGGAAGACAACG	82	48	58.5
AS <sub>3</sub>	IAGIGCIAGIGGIAGICC			
XLRRfor	CCGTTGGACAGGAAGGAG	41	23	56
XLRRrev	CCCATAGACCGGACTGTT			
Pto- kin1	GCATTGGAACAAGGTGAA	52	28	54
Pto- kin2	AGGGGGACCACCACGTAG			
Total		175	99	57

For = forward (hacia delante)

Rev = reverse (hacia atrás)

et le pourcentage de désaccord pour mesurer la distance en adoptant la méthode STATISTICA (l'arbre typologique). (version 4.5).

### *Les Polymorphismes de l'ADN détectés par l'RG-PCR*

Les profils de bandes RGA produits par les trois paires d'amorces ont révélés la présence d'un degré élevé de polymorphismes interpariétaux. Le nombre total de bandes obtenu parmi ces variétés de riz générés par les trois paires d'amorces varie entre 30 bp à 2 kb, et leurs taux de polymorphisme moyens sont indiqués dans le tableau 12.1. Une bande composée de 350 pb provenant de XLRR pour XLRR/rev était spécifique des cultivars *Japonica*. La différenciation des types *Indica-Japonica* entre les RGA partiels est probablement due à la longue interaction et la coévolution de l'agent pathogène du riz dans des conditions environnementales différentes.

### *L'analyse des divergences*

La répartition et l'évolution des RGA dans les génomes végétaux reflètent partiellement la résistance des espèces végétales face aux maladies. L'analyse typologique a été effectuée sur la base de données de trois paires d'amorces en utilisant la distance moyenne non-pondérée pour la loi de fusion (liaison), et le pourcentage de désaccord pour mesurer la distance

en adoptant la méthode de l'arbre typologique. Généralement, un polymorphisme abondant des RGA a été détecté parmi les variétés testées. Les variétés ont été divisées en trois groupes de lignage génétique selon leurs bandes de données RGA qui ont révélés 96% de dissemblance. Les variétés décelées dans le premier groupe étaient la *Japonica* et quelques variétés locales. La plupart des variétés trouvées dans le second groupe sont l'*Indica* ainsi que des variétés du type *Japonica* comme les Xunza 29, Xunza 36, Liming 251, Jingguo 92, et les Huangkenuo. Il est connu que les Xunza 29 et les Xunza 36 sont des variétés de riz hybride *Japonica* avec un pedigree *Indica*. Les variétés qui font partie du troisième groupe sont les *Indica*. La divergence entre les variétés traditionnelles ascendantes des mêmes parents variait entre 8 et 70%. Cette différenciation est probablement due à la sélection directionnelle et stabilisante effectuée durant la reproduction.

L'analyse typologique effectuée sur les modèles de séquences RGA et le dendrogramme ont révélé que le riz *Indica* contient un taux de polymorphisme plus élevé que celui présent entre le riz *Indica* et le riz *Japonica*. Ceci peut être considéré comme l'une des raisons pour lesquelles la lutte contre la pyriculariose du riz par les plantations mélangées et les rotations des variétés *Indica*, ou en alternant entre les variétés *Indica* et *Japonica* a été jugée plus efficace que celle effectuée sur les types *Japonica*. (Zhu et al.1999a).

### La diversité génétique de la pyriculariose du riz dans les cultures mélangées

Un total de 251 isolats ont été relevés dans des champs en monoculture et cultures mélangées au Shiping entre 1999 et 2000, et ils ont subi des tests de pathogénicité en fonction de leurs données de regroupement ADN (24 isolats provenant des cultures mélangées, 28 isolats des champs de monoculture hybride, et 10 isolats des champs de monoculture de riz gluant). Deux amorces (pot2-1 :5'cggaagcctaagctgtt 3' et pot2-2:5 CCCTCATTGTCACAC-GTTC 3') ont été utilisés dans l'analyse de la diversité génétique.

L'utilisation des deux amorces en combinaison avec les conditions PCR qui ont favorisé l'amplification des longs fragments a généré différents profils de bandes. Les bandes amplifiées composées à 83,7% de séquences polymorphes ont varié entre 400 pb et 23 kb. Un dendrogramme a été formé à partir d'un Pot2 répétitif basé sur les données d'empreintes digitales PCR.

Les 113 isolats relevés en 1999 ont été groupés en quatre lignages génétiques (G1, G2, G3 et G4) ayant une distance de liaison de 0.65, et les 138

isolats collectés en 2000 ont été groupés en six lignages, avec une distance de liaison 0.65 (G1, G2, G3, G4, G5 et G6). Chaque lignage génétique renfermait des modèles de culture et des isolats différents. Le G1 (G1') comprenait 134 isolats, dont 95 provenant de champs des hybrides en monoculture et les 39 autres provenant des champs cultivés en mélange. Le G2 contenait 11 isolats issus des champs à une seule variété glutineuse et 20 isolats des champs cultivés en mélange. Le G3 (G3') comprenait 25 isolats desquels 7 étaient issus de champs de riz gluant cultivés en monoculture et 18 cultivés en mélange. Le G4 (G4') contenait 57 isolats dont 55 issus de champs de riz gluant cultivés en monoculture et seulement 2 provenant des champs cultivés en mélange. Quatre isolats appartenant au G5 et G6 ont été prélevés, dont 2 du G5 provenant des champs cultivés en mélange, et 2 du G6 issus des champs cultivés en monoculture riz gluant à monoculture gélatineuse.

Les lignages génétiques tendaient à s'amoinrir et les dominants étaient plus évidents en monoculture qu'en culture mélangée. Le G1 (G1') est le lignage dominant dans les monocultures hybrides, et le G4 (G4') est le lignage dominant dans les monocultures glutineuses. Il n'y avait pas de grands changements dans la composition des lignages génétiques entre 1999 et 2000. La diversité variétale du riz a créé un environnement stable pour les agents pathogènes.

### La composition physiologique des isolats de la pyriculariose du riz dans les cultures mélangées et monocultures

En 2000, 62 isolats ont été classés en plusieurs races physiologiques selon leurs réactions de résistance ou de susceptibilité à sept différentes variétés. L'analyse comportait 7 races appartenant à 6 groupes (ZB, ZC, ZD, ZE, ZF et ZG) dans les champs cultivés en mélange, 4 races appartenant à 4 groupes (ZC, ZD, ZE, et ZG) dans des champs cultivés en monoculture glutineuses, et 10 races appartenant à 3 groupes (ZA, AB, et ZC) dans des champs cultivés en monoculture d'hybrides. Les groupes qui font partie des champs cultivés en mélange étaient plus nombreux que ceux présents dans les champs en monoculture, ce qui témoigne de la sélection d'agents pathogènes stabilisants. La fréquence de la race dominante (ZB 13) dans les champs en monoculture d'hybrides était de 50,0%, et celle de la race dominante (ZG 1) dans les champs en monoculture glutineuse était de 70,0%, ce qui a entraîné l'application de la sélection directionnelle sur les races virulentes. Il peut être conclu que la diversité variétale du riz a créé

un environnement qui restreint la sélection directionnelle, limitant ainsi la virulence des agents pathogènes.

### Les effets de l'humidité relative et de la superficie cultivée en riz sur le rendement

Les dégâts qui ont touché le rendement du riz et qui sont causés par la pyriculariose, dépendent des variétés, des techniques de cultures et des conditions climatiques. De nombreuses études ont été menées afin de déterminer les facteurs écologiques qui affectent la pyriculariose du riz. (Kong et Zhou 1989; Yu et al. 1994; He et al. 1998; Ding et al. 2002). Ces études ont montré que la capacité de sporulation pathogène et la résistance du riz sont significativement affectées par la température, l'humidité, les précipitations, le brouillard, les gouttes de rosées et la lumière. Les pathogènes de la pyriculariose tendent à se sporuler plus rapidement lorsque la température est supérieure à 20° C ou en présence de gouttes de rosées ou de brouillard le matin ou le soir. (Dong et al. 2001). Les conidies de la pyriculariose ne se produisent que si le taux d'humidité relative est supérieur à 93%, plus cette humidité s'accroît, plus la production de conidies s'intensifie rapidement. Le développement des spores dépend de la présence de gouttelettes d'eau dans l'air et d'un taux d'humidité relative (HR) dépassant les 96%. En l'absence de gouttelettes d'eau, et lorsque l'humidité relative est à 100%, 1.5% seulement des conidies arrivent à pousser (Qiu 1975). Xu et al. ont signalé que de nombreuses spores fongiques poussent uniquement lorsque le taux d'humidité frôle la saturation, mais qu'ils peuvent germer davantage dans une goutte d'eau. Yang et al. (2000) ont déduit que la capacité de sporulation des pathogènes et la prévalence sont nettement affectés par l'humidité, et que les spores fongiques pourraient pousser facilement et devenir infectieux dans un milieu humide.

Ces dernières années, les mélanges de variétés de riz ont été utilisés sur une étendue de plus de 350.000 ha au Vietnam pour contrôler la pyriculariose en les provinces de Chine de Yunnan, Sichuan, Hunan, ce qui a suscité des avantages économiques, sociaux et écologiques. (Zhu et al. 2000b). Afin d'analyser les facteurs clés qui ont contribué à la lutte contre la pyriculariose dans les champs cultivés en mélange de cultures, l'humidité relative du terrain et la superficie d'une colline de riz ont été examinés dans le but de détecter les gouttes de moiteur, ce qui pourrait fournir une base théorique pour la lutte contre la pyriculariose à travers la culture du riz dans des champs à différentes variétés.

Tableau 12.2. Variétés de riz et leurs caractéristiques agronomiques

Variété	Type	Résistance aux rafales	Période de croissance (j)	Taille de la plante (Cm)	Poids de 1,000 grains (gradués en grammes)	Graines/panicules	Rendement (kg/ha)
Shanyou63	<i>Índica</i>	Résistant	158	120	30.3	143	10,250
Huangkenuo	Glutineux	Sensible	168	160	30	205	3,975
Zinuo	Glutineux	Sensible	165	155	28	198	3,675

Une variété hybride à courtes tiges (Shanyou63) et deux variétés glutineuses à longues tiges (Huangkenuo et Zinuo) ont été utilisées durant cette étude (Tableau 12.2). Les deux variétés glutineuses à longues tiges présentaient les mêmes empreintes digitales chez les gènes de résistance (similarité à 91%), mais il y avait une nette différence de résistance entre les empreintes digitales entre les variétés glutineuses et les hybrides (similarité à 59%). (Zhu et al. 1999.b).

La culture alternative entre les variétés glutineuses à longues tiges et les variétés hybrides à courtes tiges entraîne la diminution des surfaces couvertes de gouttelettes de moiteur sur les collines de riz. En 2000, dans les champs de monocultures de variétés à hautes tiges, la surface moyenne d'une colline de riz couverte par les gouttes de moiteur présentait plus que le double de celle en mélange. Des résultats similaires ont été obtenus en 2001.

Lorsque les variétés glutineuses à hautes tiges ont été combinées avec les variétés hybrides à courtes tiges, l'humidité relative du microenvironnement du sol a baissé considérablement en 2000 et 2001 (Tableau 12.3).

L'incidence de la pyriculariose et l'indice de sévérité des variétés glutineuses ont baissé dans les cultures mélangées, aucune différence n'a été remarquée dans la lutte contre les effets de cette maladie entre les cultures mélangées et les monocultures de riz hybride, Shanyou63.

### La teneur en silice végétale chez différentes variétés de riz

Le riz est une plante typiquement silicique. Le silicium est l'élément minéral le plus abondant dans le riz, que ce soit dans son pourcentage massique ou dans le contenu total (Chen et al. 1998; Chen 1990). La silice est une substance vitale pour les plantes car elle durcit les cellules et empêche ainsi



Tableau 12.3. L'humidité relative dans les mélanges et les monocultures.

Année	Type	L'humidité relative dans les mélanges et les monocultures (jours)				
		Variété	100%	95-100%	90-95%	<90%
2000	Monoculture	H	24	11	11	12
	Mélange	H/S	2	14	22	20
	Monoculture	Z	19	13	6	20
	Mélange	Z/S	6	17	12	23
2001	Monoculture	H	19	12	7	20
	Mélange	H/S	0	9	21	28
	Monoculture	Z	18	7	8	25
	Mélange	Z/S	1	12	16	29

H=Huangkenuo en monoculture ; H/S=Huangkenuo avec Shanyou63; Z=Zinuo en monoculture; Z/S=Zinuo avec Shanyou63.

les agents pathogènes de pénétrer. Lorsque les plantes de riz manquent de silicium, elles deviennent plus susceptible par rapport aux insectes et aux maladies, comme la pyriculariose, les taches brunes, la pourriture des tiges (*Sclerotium oryzae* et *S. oryzae* var. *irregularis*), l'infection des bordures des tiges et les cicadelles du riz. En plus, la partie inférieure des feuilles du riz se relâche facilement, et se propage progressivement vers le haut, en conséquence, la période de l'épiaison s'attarde de 2 ou 3 jours, les graines sont facilement infectées par les taches brunes et la pyriculariose du cou, et les tiges perdent leur résistance et se versent aisément. (Shui et al. 1999; Hu et al. 2001; Chen et al. 2002). Le silicium renforce la résistance du riz face à la pyriculariose (Qin 1979). Déposée sur le tissu épidermique de la plante, cette substance forme des cellules siliceuses et une couche cornée qui agit comme une barrière mécanique pour prévenir les infections et le développement d'agents pathogènes. (Yoshida et Kitagishi 1962; Nanda et Gangopadhyay 1984). La teneur en silice du riz affecte directement sa résistance aux maladies, aux insectes et à l'égrainage, cette substance peut même améliorer la forme des plantes et optimiser le rendement (Hu et al. 2001). De nombreuses études ont porté sur le sol et les nutriments de silicium pour les cultures, y compris les effets de l'application d'engrais de silice sur le rendement et la résistance face aux maladies (Ye 1992; Hu et al. 2001). Puisque il a été démontré que la diversification variétale intra-champs peut être efficace dans la lutte contre la pyriculariose du riz (Zhu et al. 2000a), cette technologie de culture mélangée à grande échelle à été introduite dans

10 provinces de la Chine, y compris la province de Yunnan. La résistance face aux maladies des variétés susceptibles de haute qualité a été remarquablement renforcée dans les rizicultures mélangées. Cette méthode a été suivie par une réduction de l'usage de fongicides, la verse des variétés de grande taille et de l'égrainage et accroître les rendements de riz glutineux de qualité supérieure. Au même temps, les objectifs économiques, sociaux et environnementaux ont été atteints (Zhu et al. 2000).

Pour comprendre le mécanisme de la diversification variétale qui vise à protéger les plantes de la pyriculariose et des dommages causés par l'égrainage, deux variétés principales traditionnelles prévues pour l'extension de la diversification variétale intra-champs ont été choisies pour analyser leur teneur en silice dans les champs monovariétaux ou les champs à diversification variétale. Les résultats pourraient fournir une base scientifique qui facilitera l'étude des combinaisons variétales qui ont fait preuve d'efficacité dans les expériences de diversification visant à limiter les endommagements causés par la pyriculariose et l'égrainage.

Les deux variétés traditionnelles comprenaient une variété glutineuse à hautes tiges et une seconde variété de haute qualité ayant le même aspect originaire des hautes-terres, mais par contre cette dernière est sensible à la pyriculariose et à l'égrainage. Une autre variété à courtes-tiges qui offre un rendement élevé et qui a prouvé sa résistance face à la pyriculariose a été introduite dans le groupe précédent. Un terrain à fertilité médiocre, situé dans le village Donghong qui fait partie de la région Mile dans la province Yunnan, a été choisi pour faire l'objet de cette étude. Le traitement expérimental et l'emplacement des parcelles ont été proclamés par Zhu et al. (2000b). Toutes les parcelles ont été gérées par une équipe de chercheurs, et elles ont été traitées de la même manière que les champs de culture mélangée avoisinants sans avoir recours aux fongicides.

Les échantillons ont été rassemblés afin d'être analysés avec le microscope électronique à balayage (MEB) qui permettra de déterminer l'aspect et le nombre de cellules siliceuses; d'autres échantillons ont été recueillis dans le but d'évaluer leur teneur en silice.

L'appréciation des dégâts causés par la pyriculariose du riz a estimée sept jours avant la récolte. Chaque échantillon de panicule a été examiné à l'œil nu par un membre qualifié du personnel afin d'évaluer le pourcentage des branches nécrosées et infectées par la *Magna-porthe grisea*, au cours de cette analyse chaque panicule a été attribué une note entre 0 et 5, où une tolérance aux maladies estimée à 0 indique qu'aucune anomalie n'a été détectée, et 5 pour signaler que 100% des branches de la panicule sont nécrosées. La sévérité de la maladie dans chaque parcelle a été présentée

Tableau 12.4. Teneur de silice dans les tiges de riz (%)

Variété	Stade de croissance	Type	Réplication 1	Réplication 2	Réplication 3	Signification	Taux de croissance	T test ( $T_{0,08} = 2,78$ )
Huangkenou	Démarrage	Monoculture	8.11	7.57	7.11	7.63	14.68	3.89
		Mélange	8.64	8.61	8.99	8.75		
	Maturation	Monoculture	7.52	7.51	8.05	7.69	11.83	3.14
		Mélange	8.28	8.48	9.04	8.60		
Milixianggu	Démarrage	Monoculture	6.4	6.37	6.89	6.55	14.81	3.13
		Mélange	7.03	7.91	7.63	7.52		
	Maturation	Monoculture	6.63	5.48	5.55	5.89	16.47	1.89
		Mélange	6.28	6.8	7.51	6.86		

\* Niveau de différences de signification 0,05

comme  $\{(N_1 \times 1) + N_2 \times 2) + (N_3 \times 3) + (N_4 \times 4) + (N_5 \times 5)\} / \sum N_0 \dots N_5$  x 100, où  $N_0 \dots N_5$  présente le nombre de colonnes pour chaque catégorie de la maladie respective.

Les tiges du riz, après les avoir nettoyées, sont réduites en cendres pour analyser leur teneur en silice. La moyenne de la teneur en silice des variétés traditionnelles issues des cultures mélangées est plus élevée qu'en monoculture (Tableau 12.4). La différence en teneur en silice entre les cultures mélangées et les monocultures est significative, sauf pour les Milexianggu au cours de la phase de maturité.

Pour l'analyse (MEB), l'observation des échantillons a été préparée (Revel et coll. 1983), ensuite analysée dans le KYKY -1000B MEB (amplification de puissance 800 x, l'accélération de la tension 18 kV) afin d'examiner la forme et le nombre des cellules siliceuses.

Dans les cultures mélangées, des effets plus marqués concernant l'aspect et le nombre de cellules siliceuses ont été remarqués. Le MEB a révélé que la forme et le nombre de cellules siliceuses des variétés traditionnelles dans les cultures mélangées sont très différents de celles des monocultures. Les cellules siliceuses des variétés traditionnelles présentes dans les cultures mélangées sont plus grandes et leur nombre dépasse largement celles des monocultures.

### La pyriculariose, l'égrainage et les récoltes dans les cultures mélangées

Une combinaison entre les variétés traditionnelles et modernes peut être efficace dans la lutte contre la pyriculariose du riz. L'incidence, l'indice de sévérité de la pyriculariose du cou et le taux d'égrainage des variétés traditionnelles a baissé considérablement (Tableau 12.5). Les résultats des études effectuées entre 1998 et 2002 ont révélé que l'incidence de maladie chez les variétés traditionnelles en monoculture a été de 5,73 à 100% et l'indice de la maladie est entre 0,011 et 0,804, alors que ceux des cultures mélangées sont seulement de, respectivement 1,14 à 58,79% et 0,0024 à 0,328. Pour les variétés modernes, l'incidence de la maladie en monoculture est entre 1,3 et 81,9% et l'indice de la maladie a été de 0,0026 à 0,486, tandis que les résultats des cultures mélangées ont été de 1,27 à 65,1% et de 0,0045 à 0,297, marquant une baisse de, respectivement 36,75% et 39,82%.

Les dissemblances écologiques entre les régions réservées à la plantation et la résistance variable des variétés face aux maladies ont créé une différence considérable entre plusieurs zones de culture et différentes variétés.

Tableau 12.5. Pyriculariose et ratio d'hébergement du riz

Variété	Type	Égrainage			Pyriculariose		
		Ratio(%)	Resistance (%)	Incidence (%)	Taux de baisse (%)	Indice de gravité	Taux de baisse (%)
Huangkenou	Monoculture	99.38	0.62	56.02**	77.26	43.61**	82.69
	Mélange	0	100	12.74**		7.55**	
Milixianggu	Monoculture	97.68	2.32	66.2**	80.80	42.7**	81.01
	Mélange	0	100	12.71**		8.11**	

(\*\*) Niveau de différences de signification 0,01

**Tableau 12.6.** Nombre des variétés utilisées dans les mélanges de plantation dans la province du Yunnan.

Variétés	1998	1999	2000	2001	2002
Traditionnelle	2	4	40	62	94
Moderne	2	3	12	15	20
Combinaison	4	8	65	121	173

tés dans les résultats de lutte contre la pyriculariose. Cependant, contrairement à la monoculture, la culture mélangée a toujours fait preuve d'efficacité sur l'incidence de la pyriculariose.

Dans le système de culture mélangée, le rendement total est de 8,577.9 kg / ha, ce qui comprend à la fois le rendement moyen des variétés modernes et traditionnelles, respectivement 8,044 kg / ha et 533.9 kg / ha. Dans le système de monoculture, le rendement moyen des variétés modernes a été de 8,060.5 kg / ha, et celui des variétés traditionnelles est de 3,663 kg / ha. Ainsi, le rendement total de la culture mélangée qui associe des variétés traditionnelles et modernes dépasse celui de la monoculture qui focalise sur un seul type de ces variétés.

### L'expansion de l'échelle des cultures mélangées

L'expansion de la plantation de variétés mélangées à une plus grande échelle est une stratégie qui a débuté en 1998, de nombreuses variétés ont été sélectionnées afin d'être combinées (Tableau 12.6). En 1998, l'expansion de la riziculture mélangée visant à combattre la pyriculariose a été effectuée en Maohe, Baoxiu, Yafangzi, et au Shiping sur un terrain de 812 ha. En 1999, la culture mélangée a été introduite dans 6 départements y compris Shiping, Jianshui et la préfecture de Honghe, dans une zone de 3.534 ha. La superficie a été portée à 34.740 ha dans plus de 40 départements en 2000, 84.467 ha en 2001, et 136.189 ha en 2002. La superficie totale dans 15 préfectures de la province de Yunnan a augmenté de 259.742 ha entre 1998 et 2002.

### *Les combinaisons variétales*

Une combinaison variétale est basée sur une analyse complète de la résistance des variétés, les traits agronomiques, leur valeur économique, les

conditions de la culture locale et même les rituels pratiqués par les agriculteurs durant la période de plantation. La norme de sélection utilisée afin d'évaluer la résistance, était que la similarité génétique devrait être inférieure à 70%, en utilisant une analyse de RGA. Les variétés de grandes tailles ont été plantées avec celles qui disposent d'une petite taille en partant du principe que la différence d'hauteur doit être plus que 30 cm, et que l'écart au niveau de la période de maturité doit dépasser les 10 jours. Pour stimuler la participation des agriculteurs, les cultures mélangées doivent répondre à certaines de leurs attentes, une évolution économique est exigée, elle doit assurer à la fois un rendement élevé et une qualité satisfaisante. Des variétés traditionnelles ont été choisies pour être combinées avec des variétés modernes, la sélection a été réalisée en fonction des conditions locales de culture, comme l'irrigation, la fertilité, la productivité du sol et l'altitude. Au même temps, les variétés préférées des agriculteurs ont été sélectionnées dans les cultures mélangées afin de se conformer aux habitudes locales de plantation.

### *Les procédures de culture*

Pour assurer un bon rendement, il était indispensable que les différentes variétés aient la même période de récolte. Par conséquent, la semence a été modifiée en fonction de la période de croissance des différentes variétés. Par exemple les variétés traditionnelles de grande taille et de bonne qualité comme les Nuodao, Xiangdao, Zidao, et Ruanzhimi ont été semées 10 jours plus tôt que les variétés hybrides modernes qui offrent un rendement élevé. Les semences ont été transplantées des pépinières aux champs entre Avril et Mai. Les études effectuées sur les parcelles ont été réalisées d'une manière aléatoire afin de détecter la pyriculariose et contrôler les rendements dans chacune des régions. Le système utilisé dans la détection de la pyriculariose, décrit dans la norme nationale chinoise (Anonyme 1996), a favorisé la production.

### *La formation*

Puisque les agriculteurs étaient les principaux acteurs de la culture des champs de riz à différentes variétés, il était primordial de les sensibiliser afin qu'ils adoptent délibérément ces techniques de plantation pertinentes. Lors des réunions agricoles tenues à différents niveaux gouvernementaux, les chefs du village ont été formés sur les impacts sociaux et écologiques des cultures afin de garantir leur collaboration. Au même temps, les méthodes,

les procédures, les points fondamentaux des techniques de cultures, et les mesures essentielles de l'expansion ont également été présentées afin que les agriculteurs se créent une autonomie sur le plan technique. Les agrotechniciens sont les agents principaux chargés de la technique d'expansion, ce qui explique le fait que la majeure partie de la formation technique leur soit réservée. Quarante-trois centres de formation d'agrotechniciens ont été implantés dans 15 préfectures de la province Yunnan. Ces agrotechniciens qualifiés organisent par la suite des formations pour les agriculteurs, les cours s'effectuent le soir ou bien durant leur temps libre. Durant la période de transplantation ou lorsque les plantes sont encore dans les pépinières, les officiers du village et les agriculteurs représentants sont rassemblés dans les champs pour assister à une démonstration sur le fonctionnement effectif des techniques de culture. Les agriculteurs qualifiés prennent par la suite le devant dans la réalisation des travaux. La radio, les chaînes de télévision et les affiches ont été utilisés pour introduire les nouvelles techniques. Trente-trois centres de formation, trois chaînes de télévision et 29 stations de disques compacts vidéo ont été créés à Dali, Kunming, Dehong, Lijiang, Linchang, Simao, Zhaotong, Chuxiong, Luxi, Xiangyun, et Bichuan en 2002. Trois cent quatre-vingt-deux mille exemplaires de dossiers de formation ont été imprimés, 836 programmes télévisés et fichiers Power Point ont été préparés, et 5.871 cours de formation ont été organisés dans la province de Yunnan. Le nombre total d'agriculteurs formés était de 929, 000. Les parcelles de démonstration sont très importantes dans le développement du processus d'expansion. Entre 1998 et 2002, 64.133 ha de parcelles de ce type ont été créés dans 90 départements de 15 préfectures. À Mile, Jianshui, et les départements de Tengchong, 6.667 ha de parcelles de démonstration ont été aménagés, ce qui a stimulé significativement l'expansion.

## Conclusion

À partir de ces résultats, nous pouvons conclure que la diversification des variétés cultivées s'avère une solution efficace pour limiter la vulnérabilité des monocultures face aux maladies. La théorie et l'observation ont démontré que l'hétérogénéité génétique favorise la lutte contre la maladie lorsqu'elle est utilisée sur des superficies étendues. Nos résultats prouvent que la diversification variétale de riz offre une méthode écologique efficace dans la lutte contre les maladies qui peut contribuer à maintenir une production agricole durable, tout en minimisant l'usage de fongicides. Nos



conclusions montrent aussi que la coopération entre les groupes de chercheurs, les institutions et les agriculteurs est cruciale dans le développement et le maintien d'une technologie de diversification effective. La propagation de la technologie de diversification dépend de sa simplicité, de son efficacité et de sa capacité à satisfaire les attentes économiques des agriculteurs.

D'autre part, la diversification des variétés de riz ne peut pas apporter des solutions à tous les problèmes de lutte contre les maladies et de rendements stables dans l'agriculture moderne. Plus de recherches sont requises, pour trouver les meilleures séries de mesures pour différentes fins et pour produire des variétés à usage spécifique dans les cultures à différentes variétés.

## Références

- Anonymous. 1996. *Rules for Investigation and Forecast of the Rice Blast*. The State Standard of the People's Republic of China, No. Gb/t 15790-1995, 1-13. Beijing: China Standard Press.
- Baker, J. and Z. J. Staskawicz. 1997. Signaling in plant-microbe interactions. *Science* 276:726-733.
- Bonman, J. M., G. S. Khush, and R. J. Nelson. 1992. Breeding rice for resistance to pests. *Annual Review of Phytopathology* 30:507-528.
- Chen, J., G. Mao, G. P. Zhang, and H. D. Guo. 2002. Effects of silicon on dry matter and nutrient accumulation and grain yield in modern Japonica rice (*Oryza sativa* L). *Journal of Zhejiang University (Agriculture & Life Sciences)* 28(1):22-26.
- Chen, X. M., R. F. Line, and H. Leung. 1998. Genome scanning for resistance- gene analogs in rice, barley and wheat by high- resolution electrophoresis. *Theoretical and Applied Genetics* 97:345-355.
- Chen Y. Q. 1990. Characteristics of silicon uptaking and accumulation in rice. *Journal of Guizhou Agricultural Sciences* 6:37-40.
- Cheng, T. T. 1976. The origin, evolution, cultivation, dissemination, and diversification of Asian and African rice. *Euphytica* 5:425-441.
- Dai, S. F., Z. H. Ye, Y. Z. Cao, and Y. Y. Guo. 1997. Disaster- causing characters and disaster- reducing strategies of crop pests in China. *Chinese Journal of Applied Ecology* 10:119-122. [in Chinese]
- Ding, K., G. Tan, Z. Gao, and B. Ji. 2002. Effects of ecological factors on infection process of *Pyricularia grisea*. *Chinese Journal of Applied Ecology* 13(6): 698-700.
- Dong, J., H. L. Li, J. M. Wang, A. Y. Ding, J. Chen, J. H. Zhu, W. Wang, B. D. Li, and Y. Q. He. 2001. *Agricultural Plant Pathology* (northern edition), 2-7. Beijing: China Agricultural Press.

- He, M., D. Lu, and J. Mao. 1998. The effect of key ecological factors on rice blast disaster. *Journal of Southwest Agricultural University* 20(5):392-395.
- Hu, R., S. Fang, and G. Q. Chen. 2001. Effects of silicon ion the physiological targets and yield of modern rice. *Journal of Hunan Agricultural University (Natural Sciences)* 27(5):335-338.
- Kong, P. and R. Zhou. 1989. The multi- effect and modeling of dew temperature and time and nitrogen application on infection on *Pyricularia grisea*. *Acta Phytopathologica Sinica* 19(4):223-227.
- Lu, L. S. 1996a. Agriculture and agricultural science and technology in the 21st century. *Science and Technology Review* 12:1-8. [in Chinese]
- Lu, L. S. 1996b. The current status, perspectives and strategy of modern agriculture development. *Science and Technology Review* 2:41-44. [in Chinese]
- Nanda, H. P. and S. Gangopadhyay. 1984. Role of silicated cells in rice leaves on brown spot disease. *International Journal of Tropical Plant Disease* 2:89-98.
- Oka, H. I. 1988. *Origin of Cultivated Rice*. Tokyo: Japan Scientific Societies Press.
- Pan, Q. H., L. Wang, T. Tanisaka, and H. Ikehashi. 1998. Allelism of rice blast resistance genes in two Chinese rice varieties and identification of two new resistance genes. *Plant Pathology* 47:165-170.
- Qin, S. 1979. The analysis about the effects of rice resistance diseases and increasing yield using silicon fertilizer. *Zhejiang Agricultural Sciences* 5:12-15.
- Qiu, W. 1975. *Agricultural Plant Pathology*, 1-11. Beijing: Agricultural Press.
- Revel, J. P., T. Bernard, G. H. Haggis, and S. A. Bhatt. 1983. Science of biological specimen preparation for microscopy and microanalysis. In *Proceedings of the 2nd Pfefferkorn Conference*. O'Hare, IL: sem Inc.
- Shi, Z. M., S. C. Qin, and S. H. Jiang. 1999. *Famous Flowers from Yunnan*. Kunming, Yunnan, China: Yunnan Science and Technology Press. [in Chinese]
- Shigehisa, K. 1982. Gene tics and epidemiological modeling of breakdown of plant disease re sistance. *Annual Review of Phytopathology* 20:507-528.
- Shui, M., D. Chen, S. C. Qin, and S. H. Jiang. 1999. The silicification of young tissues of rice and relationship with its re sis tance to blast of rice. *Plant Nutrition and Fertilizer Science* 5(4):352-358.
- Staskawicz, B. J., F. M. Ausubel, J. Baker, J. G. Ellis, and J. D. G. Jones. 1995. Molecular genetics of plant disease resistance. *Science* 268:661-667.
- Xu, Z. G., X. B. Zhen, H. F. Li, H. S. Shang, and W. Z. Liu. 1979. *Common Plant Pathology*, 2nd ed., 2-7. Beijing: China Agricultural Press.
- Yang, X. M., G. Q. Li, X. Li, J. G. Wang., L. Li. 2000. *Plant Ecological Phytopathology*, 51-52. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press.
- Ye, C. 1992. The relationship between soluble- silicon in soil, yield grain and rice physiology. *Journal of Agricultural Science Translation Series* (1):24-27.

- Yoshida, S. and K. Kitagishi. 1962. Histochemistry of silicon in rice plant. *Soil Science and Plant Nutrition* 8(1):30-41.
- Yu, L., J. Y. Zhang, and W. J. Fan. 1994. The effect and forecast of weather factors on rice blast. *Heilongjiang Weather* (2):35-36.
- Zhu, Y. Y., J. X. Fan, Y. H. Wang, and S. F. Yu. 1999a. Demonstration trial of mixture variety culture for rice blast management. In S. Yu, ed., *Symposium of the Key Laboratory for Plant Pathology of Yunnan Province*, Vol. 2, 93-100. Kunming, Yunnan, China: Yunnan Science and Technology Press. [in Chinese]
- Zhu, Y. Y., Y. Y. Wang, H. R. Chen, J. H. Fan, J. B. Chen, and Y. Li. 1999b. Exploiting crop genetic diversity for disease control: A large- scale field test. In *Articles Collection of Key Laboratory for Plant Pathology of Yunnan Province*, 75-80. Kunming, Yunnan, China: Yunnan Science and Technology Press.
- Zhu, Y. Y., H. R. Chen, J. H. Fan, Y. Y. Wang, Y. Li, J. B. Chen, J. X. Fan, S. S. Yang, L. P. Hu, H. Leung, T. W. Mew, P. S. Teng, Z. H. Wang, and C. C. Mundt. 2000a. Genetic diversity and disease control in rice. *Nature* 406:718-722.
- Zhu, Y. Y., H. R. Chen, J. H. Fan, Y. Y. Wang, Y. Li, J. B. Chen, Z. S. Li, J. Y. Zhou, J. X. Fan, S. S. Yang, M. G. Liang, L. P. Hu, C. C. Mundt, E. Borromeo, H. Leung, and T. W. Mew. 2000b. Current status and prospects of mixture planting for the control of rice blast in Yunnan [A]. In T. W. Mew, E. Borromeo, and B. Hardy, eds., *Impact Symposium on Exploiting Biodiversity for Sustainable Pest Management*, 21-23. Kunming, Yunnan, China: International Rice Research Institute.

## 13 Gestion de la biodiversité dans un contexte spatiotemporel complexe Les paysages agricoles.

---

H. BROOKFIELD et C. PADOCH

Les agriculteurs gèrent la biodiversité, mais ils peuvent la minimiser en plantant des milliers d'hectares basés sur une monoculture intensive. Par ailleurs, ils peuvent créer un paysage diversifié de plaques consacrées aux cultures multiples d'arbres entremêlés à des lisières et parcelles boisées. Ce chapitre s'écarte considérablement de l'objet des chapitres précédents. Il s'agit de la gestion de la biodiversité dans des exploitations et régions agricoles, qui comprend non seulement l'agrobiodiversité, mais aussi la biodiversité naturelle et d'autres biodiversités gérées.

Ce chapitre prend également en considération la biodiversité dans les paysages agricoles à une échelle temporelle quelque peu plus grande. Par la rotation des cultures et la modification ainsi que la gestion des repousses naturelles après les récoltes, les agriculteurs garantissent une production continue des cultures. Les agriculteurs profitent des variations saisonnières de l'eau et du sol pour introduire ou stimuler une diversité culturelle capable de s'adapter et de prospérer dans des saisons différentes. Certains agriculteurs confrontés à des problèmes tels que la dégradation des sols, la salinité et l'hydromorphie changent de pratiques de gestion afin de s'adapter et ainsi créer des mosaïques d'usages de terres mieux adaptés aux dynamiques de l'environnement. Toutes ces modifications affectent la biodiversité à l'échelle du paysage. Le but de ce chapitre est d'évaluer ces changements au sens large et de discuter certains des efforts scientifiques effectués pour les comprendre et les mesurer.

## Paysages agricoles

Beaucoup de travaux récents sur la diversité biologique ont porté sur de petites parcelles et des analyses détaillées. D'autre part le travail de reconnaissance à des fins de conservation a souvent été réalisé sur de vastes régions que l'on pense être d'une valeur particulière et sur lesquelles les régimes de protection ont été proposés ou appliqués. Dans l'étude la plus spécialisée sur la biodiversité agricole (l'agrobiodiversité), la sélection des agriculteurs, qu'elle soit délibérée ou par inadvertance, constitue un élément important. Ainsi, les exploitations agricoles et leurs domaines, vergers, jardins, jachères et pâturages deviennent des unités importantes pour l'échantillonnage et les enquêtes. Les agriculteurs aussi, représentent un groupe diversifié de personnes.

La biodiversité se réunit en plaques, les domaines sont formés d'exploitations agricoles, et les exploitations agricoles se rassemblent en communautés rurales. Si nous sommes préoccupés par le maintien de la biodiversité à la ferme, nous avons besoin d'examiner les zones dans lesquelles les métapopulations, interconnectées par le flux de gènes et sujettes au changement et au remplacement, ont une signification. Tout vient ensemble, puis, à un niveau intermédiaire entre la parcelle, ou le terrain, et la région vaste. C'est là que la structure de la diversité est exprimée, où ces processus générateurs opèrent, et où des corrélations peuvent être observées et comprises. Tel est le paysage, mais nous devons essayer de définir ceci en termes plus favorables avant de pouvoir entamer le travail.

En tant qu'entité scientifique, par opposition à son sens qualitatif d'une opinion générée à partir d'un point de vue particulier, le paysage n'est pas facilement défini. Il vint à la science anglophone via la géographie allemande de la fin du 19<sup>ème</sup> siècle, dans lequel le *Naturlandschaft* et le *Kulturlandschaft* de régions spécifiques ont été analysés, parfois de manière intégrée. L'analyse dépendait des cartes, et de nos jours dépend de la télédétection, mais la définition demeure liée à ce qui est visible à l'échelon du sol, et donc les unités de paysage sont définies au sein de la gamme d'échelles topographiques. Elles sont devenues importantes pour l'écologie depuis les années 1970 à travers l'évolution de la notion de parcelles et de mosaïques de parcelles, et Forman (1995:13) a défini les paysages comme des exploitations dans lesquels un mélange d'écosystèmes locaux et d'usages de terrains est répété sous une forme similaire sur une large zone. D'après les preuves empiriques, des écrits sur la couverture des terres et l'écologie, des paysages peuvent aller de quelques kilomètres carrés à plusieurs centaines, voire plus dans les zones peu peuplées avec une histoire

mal décrite du paysage. Même les zones les plus petites contiennent une diversité micro-environnementale, et souvent dynamique. Divers systèmes de gestion, adaptés à cette diversité, créent la structure d'usage des terres.

Les sciences pures à part, le but habituel de l'analyse de la biodiversité au niveau du paysage est de mesurer ou d'estimer les changements et la modification des conditions de la dite utilisation résultant de l'usage de l'homme. Cela est devenu d'une importance particulière en raison des grandes mutations qui ont eu lieu depuis le 19<sup>ème</sup> siècle et surtout depuis 1950. La croissance démographique a été une force motrice du changement de base, avec une population mondiale passant de 1,25 milliards à plus de 6 milliards de dollars depuis 1850. D'énormes changements dans la technologie agricole ont eu lieu surtout depuis 1950, avec beaucoup de succès en termes de production, mais avec de graves conséquences écologiques. Il est de sagesse commune de considérer qu'une lourde perte d'espèces et de diversité génétique a eu lieu, dans les zones avec et sans technologie agricole moderne.

Il a fallu moins de 30 ans, à ce qui est déjà appelé technologie agricole conventionnelle, avant que des conséquences en termes de pollution, de perte et de détérioration du sol, de déforestation et d'homogénéisation du paysage, d'érosion génétique, et d'appauvrissement des zones impropres à la mécanisation et à l'utilisation des engrais et des traitements chimiques deviennent des questions extrêmement préoccupantes pour les responsables politiques et une minorité d'agriculteurs. Dans les régions les plus modifiées par les nouvelles technologies, ces préoccupations ont frappé dès le départ et ont continué à se répandre simplement en raison de l'intensification opérée par l'homme.

En Europe, où seulement environ 3% du paysage renferme ce qui peut encore être décrit comme une végétation naturelle et où 44% est géré dans les exploitations agricoles, la dégradation des terres et d'autres changements sont devenus des sujets d'intérêt public dès 1980. Durant les années 1990, ces préoccupations ont conduit à l'initiation de ce que sont en train de devenir des changements majeurs dans la politique agricole commune de l'Union Européenne. Il s'agit notamment de nouvelles normes de base de gestion environnementale, qui sont appliquées à toutes les exploitations percevant des subventions, et plus particulièrement des financements de programmes agro-environnementaux, lesquels sont actuellement en usage dans tous les pays membres, mais à des niveaux très différents de participation (Piorr 2003). Environ une exploitation agricole sur sept est en cause, et 17% des terres agricoles durant l'avant 2004 dans l'Union Européenne est soumis à certains types de programmes agro-environnementaux

(Bureau 2003). Avec la quasi-totalité de l'Europe comme zone soumise à l'usage des terres anthropiques, les solutions doivent être trouvées grâce à l'aménagement du territoire. Alors que certains programmes agro-environnementaux n'impliquent pas plus que la réduction de la densité d'élevage, d'autres sont plus constructifs, et certains cherchent à créer ou recréer des haies et des bosquets pour relier les zones restantes d'espèces ligneuses et réduire les superficies déboisées qui se sont fortement élargies depuis 1950. L'objectif est de restaurer une mesure de la diversité dans une mosaïque de parcelles habitables appropriées à l'échelle du paysage.

### La caractérisation de la biodiversité au niveau du paysage en Europe et dans les pays en voie de développement

A Bien que la disparition de la diversité soit rarement contestée, le suivi du changement demeure un défi pour les chercheurs. Les Européens sont prêts à consacrer une partie de leurs impôts à la restauration de leur environnement agricole, et les agriculteurs participant à des programmes agro-environnementaux sont payés pour le faire. Cela crée un besoin de surveillance, et depuis plusieurs années un effort ascendant est fourni afin de trouver les moyens de caractériser et de surveiller les changements dans la biodiversité au niveau du paysage. Même si l'Europe est très différente des pays en développement qui sont au cœur du thème principal de ce volume, la mosaïque relativement complexe de l'utilisation des terres qui caractérise encore une grande partie du continent Européen rend celui-ci plus semblable aux pays en développement qu'aux larges paysages d'Amérique du Nord, à titre d'exemple. Il est donc utile d'examiner certains de ces travaux, dont la plupart sont établis en Allemagne.

Un éventail de méthodes a été étudié. Certaines se sont concentrées sur les inventaires de la biodiversité végétale, sur les terres qui sont utilisées de différentes manières; une telle étude dans une région où l'agriculture a été graduellement abandonnée depuis les découvertes des années 1950. Il n'est pas surprenant, que la biodiversité augmente avec le nombre d'années écoulées et que depuis la culture ait cessé (Waldhardt et Otte 2003). Afin d'éviter de consacrer beaucoup de temps et d'argent, ce type d'inventaire qui nécessite de gros moyens a été orienté vers la recherche d'espèces indicatrices qui peuvent être facilement identifiées et utilisées pour surveiller les changements. Cette recherche a mis en particulier l'accent sur les insectes, comme les coléoptères, qui peuvent capturer rapidement (Duelli 1997; Büchs 2003). L'échantillonnage est le principal problème, et cer-

taines approches se sont concentrées spécifiquement sur la sous-classification de paysages dans les zones types d'habitat. La structure du paysage, impliquant la nature et l'étendue de la mosaïque, peut elle-même être un indicateur précieux de substitution, en tenant compte de l'influence de la matrice liée aux sites gérés sur la richesse des espèces (Dauber et al. 2003)

Une étude a utilisé une combinaison d'images Landsat et une cartographie détaillée de biotopes, effectuée quelques années auparavant, pour développer un échantillon stratifié (Osinski 2003). Un projet d'échantillonnage de zones écologiques a fait usage des données sur la couverture terrestre générées par satellite pour développer une première classification de 28 classes de terres pour l'Allemagne, dans laquelle des échantillons de 1 km<sup>2</sup> ont été prélevés (des terres agricoles seulement) pour une analyse détaillée du contenu de leurs biotopes (Hoffmann-Kroll et al. 2003). Ce travail a été effectué au milieu des années 1990, dans la même époque que l'enquête de grande envergure de la campagne britannique, qui a utilisé une approche similaire à la recherche d'informations, à l'échelle nationale, basées sur des sites représentatifs (Haines-Young et al. 2000). Opperman (2003) a proposé une méthode encore plus indirecte mais totalement participative, à travers l'évaluation de la gestion écologique des fermes spécifiques par la présence de quelques espèces indicatrices, à la fois la faune et la flore mais principalement par des caractéristiques physiques de l'espace agricole et sa gestion. Dans une étude comparative des travaux récents, principalement en Allemagne et en Suisse, Waldhardt (2003) et Waldhardt et al. (2003) se concentrent sur la valeur de la combinaison des indicateurs organismique et du paysage, qui pourrait bien être la route à suivre. Cependant, la recherche d'indicateurs soulève de nombreux problèmes, et les méthodes d'échantillonnage et d'évaluation proposées ont toutes des coûts élevés. Les deux groupes d'espèces et les zones de référence considérées dans la plupart de ces travaux sont de petite taille, et la recherche d'espèces indicatrices qui peut être largement utilisée pour suivre les progrès accomplis dans le travail agro-environnemental a encore un long chemin à parcourir. L'ensemble de l'effort européen, en dépit de son niveau de densité régionale de l'apport scientifique, est encore à un stade précoce, bien qu'une énorme quantité d'informations précieuses aient été recueillies. L'objectif à long terme de développer un ensemble d'indicateurs pour les paysages agricoles qui ont une validité internationale, tel que proposé par l'OCDE (1997), demeure presque aussi loin de la réalisation que lorsqu'il a été initialement proposé.

Les indicateurs de substitution peuvent à peine être envisagés dans les pays en développement compte tenu de la grande variété des systèmes agri-



coles, des climats, et des conditions biotiques et abiotiques. Bien que la diversité et le modèle des habitats soient potentiellement importants, leur interprétation à partir de la télédétection et les vérifications sur le terrain exigent des compétences et ressources qui ne sont disponibles que dans quelques uns de ces pays. Les enquêtes sur la zone d'échantillon sur le terrain doivent encore fournir la majorité des informations. Malgré leur pouvoir explicatif limité, les 50 ou plus mesures quantitatives de la biodiversité se trouvant dans la littérature, dont la plupart ont été développées il ya plusieurs années, restent les seuls outils disponibles pour le classement la diversité biologique, que ce soit dans les zones agricoles ou celles naturelles (Whittaker 1972; Magurran 1988).

Les populations des 12 pays, et le projet de gestion des terres et des changements environnementaux (PLEC) énoncé avec l'hypothèse que la gestion agricole à l'aide de stratégies de diversité peuvent maintenir et même améliorer la biodiversité. Ce point de vue a obtenu le soutien en Europe, où les 1.000 années d'agriculture, jusqu'au développement de la technologie moderne dans les années 1950, avaient pour effet de créer une mosaïque dynamique de parcelles d'habitat ou écotope qui a non seulement amélioré la diversité des espèces, mais aussi la diversité structurelle et fonctionnelle, et probablement la diversité génétique aussi, parmi les végétaux et les animaux (Waldhardt et al. 2003). Pour le PLEC, qui a été mandaté de préparer des inventaires de la biodiversité, il a été nécessaire d'enregistrer la diversité dans toutes ses zones de sites de démonstration, et un schéma d'échantillonnage a été mis en place pour ce faire en 1999 (Zarin et al. 2002), suivi par une conception de base de données (Coffey, 2000) et des lignes directrices détaillées sur le calcul des indices les plus pertinents de  $\alpha$  ( $\gamma$  et ses sommation zone  $\gamma$ ) et  $\beta$  diversity<sub>1</sub> (Coffey, 2002). PLEC ne portait que sur la diversité des plantes vasculaires, non pas avec la faune à tous les niveaux.

Un échantillonnage aléatoire complètement stratifié, encore plus qu'en Europe a été logistiquement non faisable, si notre méthode d'échantillonnage a été aléatoire plus que l'objet visé. Elle est passée par trois étapes. Dans chacun des 12 pays, une à sept zones du paysage (les sections du site de démonstration) ont été choisies pour représenter les territoires des villages ou des groupes d'agriculteurs avec lesquels le contact avait été établi et où le projet a été invité à travailler. Ils allaient de moins de 10 km<sup>2</sup> à un maximum théorique (jamais atteint) des 100 km<sup>2</sup> mais souvent établi dans des bandes de transect dans lesquelles la reconnaissance du travail avait été faite avant la sélection finale. Au sein de ces paysages, de grandes catégories d'utilisation des terres se distinguant par un tapis végétal superficiel-

lement commun, ont d'abord été identifiées. En raison du fait que nous ayons essentiellement travaillé dans les zones où les pratiques de rotation des terres étaient ou avaient récemment été présentes, et afin d'insister sur l'impermanence de la couverture terrestre, on les a appelé les étapes l'utilisation des terres. Dans 12 pays, 27 stades ont été identifiés réductibles à des fins comparatives en sept catégories principales, y compris les lisières (Pinedo-Vasquez et al. 2003a).

Au sein de ces classes plus grandes, nous avons cherché des types caractéristiques ou des assemblages d'habitats ou de biotopes. En raison de l'accent mis sur la définition de ces derniers par des pratiques de gestion des agriculteurs, nous les avons appelés les types de terrain. Bien qu'ils comprenaient également différents stades de jachères ou de forêts gérés ou non gérés. Les zones d'échantillon effectif ont ensuite été sélectionnées au sein de ces types de champs, d'une manière biaisée en insistant sur la diversité la plus apparente ou sur la terre exploitée par les ménages en particulier sur lesquels d'autres informations avaient été collectées (Guo et al. 2002). Dans ces zones, les quadrants d'échantillons ont été marqués pour le dénombrement des espèces. Des détails sur les pratiques de gestion dans l'ensemble des terrains échantillonnés autour du quadrant de recensement de la biodiversité ont été collectés en même temps (Brookfield et al. 2002). Les jardins familiaux et les lisières entre les champs ont été échantillonnés séparément et traités de manière différente (Zarin et al. 2002).

L'évaluation de la biodiversité par le PLEC a été faite sur le terrain, seulement parfois avec l'aide partielle de photographies aériennes et des images satellites. Le système a été conçu pour faire le meilleur usage possible des ressources financières et humaines limitées. L'objectif du PLEC était d'étudier la gestion des agriculteurs et ses effets. Un tel travail doit être fait en étroite collaboration avec les agriculteurs. Dans une petite zone de quelques kilomètres carrés sur les pentes supérieures du mont Meru en Tanzanie, Kaihura et al. (2002) ont trouvé l'ordre de détail qui est résumé dans le tableau 13,1, en notant que, puisque la plantation a lieu trois fois par an dans cette zone, la composition des cultures des champs peut changer tous les quelques mois. La composition des cultures a été un critère important pour la distinction des types de terrains, et beaucoup d'autres informations ont également été enregistrées, y compris la propriété foncière, l'âge et la richesse de l'agriculteur, la pente, l'évaluation de la fertilité, l'indice de l'azote, le phosphore, la carence en potassium, le type de labourage et les outils de travail du sol utilisés, le bétail élevé, les méthodes utilisées pour contrôler les parasites et les adventices, les méthodes utilisées pour gérer l'érosion, l'humidité du sol et le drainage. Une enquête plus

approfondie concernant une ferme, avec 12 types de terrains rencontrés en 1999, a révélé 10 différentes cultures vivrières et commerciales, 6 types d'arbres, plus de 10 plantes médicinales utilisées dans la guérison de plus de 30 maladies, 17 types de pousses de pépinières pour la propagation et la vente, 6 cultures légumières, 18 arbres fruitiers et 7 plantes ornementales (Kaihura 2002:136). C'est ainsi que la gestion de la diversité donne un contexte à l'agrobiodiversité.

L'échelle est un facteur important. Les types d'habitats ou les types de terrain peuvent être difficiles à distinguer des phases d'utilisation des terres quand ils sont répétés sur de grandes surfaces. Bien qu'également perceptibles par la différente composition floristique, ils sont toujours déterminés par les différences dans la gestion des agriculteurs. Sur une grande partie de l'Asie du Sud les champs étangs irrigués, les champs secs alternativement cultivés et mis en jachère, les champs secs, les agroforêts plantées et gérées ou les parcelles boisées, et les jardins familiaux gérés de manière intensive constituent seulement quatre principales classes de types de champs, chacune constituant une étape de l'utilisation des terres, mais chacune pouvant être subdivisée en termes de contenu ou de gestion des cultures. De même, sur le Fouta Djallon de Guinée, en Afrique de l'Ouest, toutes les terres à l'exception de petites zones de forêt et les terrains non cultivables peuvent être classés en trois étapes d'utilisation de terres: terrains internes cultivés de manière intensive toute l'année et chaque année, les terrains externes plus étendus et la terre associée en jachère, et les petites régions d'agroforestiers plantés et gérés. Au niveau d'un seul village de Fouta Djallon, ceux-ci pourraient être subdivisés en un plus grand nombre de types de terrains, avec les lisières entre eux. Les deux niveaux de classification sont valides, et les deux se rapportent à l'ensemble du paysage. Celui choisi dépend de l'objet de la caractérisation.

## Les agriculteurs et autres utilisateurs de la biodiversité

Que le paysage soit une grande région ou un territoire d'une seule communauté, les exploitations agricoles sont les unités à travers lesquelles la plupart de leur diversité est aménagée pour la production. Les agriculteurs gèrent rarement un seul type de terrain ou même une seule étape de l'utilisation des terres. Ils incluent souvent des zones de forêt, d'arbres plantés, des cours d'eau ainsi que des terres arables, des pâturages et des lisières entre ces types. Des terres en jachère peuvent ou ne peuvent pas être gérées. Elles fournissent très souvent des ressources qui sont récoltées. La mesure

**Encadré 13.1** Description des phases d'utilisation de la terre et des types de champs en Olgilai / Ng'iresi, Arumeru, Tanzanie.

TABLEAU DE L'ENCADRÉ 13.1

Phase d'utilisation des terres	Types de champs	Description des types de champs
Forêts naturelles	Les moins perturbés	Partie supérieure des contreforts du Mont Meru inaccessibles à cause de la pente et des vallées incisées et profondes. Des pentes variant de 85% à 50%. Un climat tropical humide. Certains animaux sauvages. Zone classée.
	Légèrement perturbés	Pentes supérieures du Mont Muru exploitées pour l'approvisionnement en bois, bois à brûler compris et en plantes médicinales. L'éloignement du village et la raideur de la pente limitent l'usage. Des pentes de 15% à 35%. Un climat tropical humide avec peu d'animaux sauvages. Zone classée.
	Très perturbés	Collines en forme de cône parfois utilisées à des fins récréatives, ainsi que pour le bois notamment celui à brûler, et pour les plantes médicinales. La coupe des arbres est contrôlée par le village, mais la plupart des arbres et des arbustes ayant une valeur économique importante ont déjà été récoltés.
Forêts plantées	<i>Pinus</i> avec récolte temporaire	Arbres de <i>Pinus</i> plantés après le déboisement des forêts naturels. Des cultures de maïs et de haricots sont souvent utilisées en rotation avec le chou et les pommes de terre. Les combinaisons des cultures et des séquences diffèrent selon les agriculteurs et les saisons. Les pentes varient entre 10% et 20%.
	Cyprés avec récolte temporaire	Semis de cyprésés. Un système similaire à celui des plantations de <i>Pinus</i> .
	Plantations d'eucalyptus	Bosque natural talado y sembrado sólo con eucaliptos.

Encadré 13.1, suite à la page suivante

Phase d'utilisation des terres	Types de champs	Description des types de champs
Agroforesterie	Cultures et arbres	Mélanges complexes de plantes et d'arbres en fonction de la taille des exploitations, de la saison et de la préférence des agriculteurs. Le plus souvent, le café, les bananes et les arbres se mélangent avec le maïs et les haricots. Les pentes varient.
	Maïs et haricots avec arbres	Maïs et haricots en tant que cultures intercalaires, avec les arbres en tant que couvertures pour les contours et les limites. Les cultures les plus économiques occupent la zone la plus grande.
	Pommes de terre en rotation avec les légumes	Pommes de terre commerciales durant la première saison, suivies par le chou pendant la troisième saison de l'année.
	Maïs	Maïs planté en monoculture.
	Pommes de terre	Pommes de terre en tant que monoculture commerciale.
	Frontières des fermes	Clôtures et structures de répartition avec des arbres, des arbustes et des plantes grimpantes. Les espèces ont des usages divers, mais la plupart ont des épines pour limiter l'intrusion.
	Frontières des terrains	Structures séparant les différents types de terrains au sein de la ferme, y compris les résidus des cultures, les mauvaises herbes le long des frontières, les lianes et les arbustes à valeur économique. Celles-ci peuvent être détruites et propagent l'amélioration de la fertilité des sols.
	Jardins familiaux	Près de la maison avec des légumes indigènes et introduits. Principalement sur les zones plates et des pentes douces avec irrigation.
Sources d'eau	Petits bassins versants	<ul style="list-style-type: none"> <li>Parcelles délimités inférieurs à 30 m<sup>2</sup> protégeant les points d'infiltration d'eau plantées d'arbres vivaces et de bananiers. Pas de récolte d'arbres. Intrusion limitée au puisement d'eau. Propriété collective.</li> </ul>

Phase d'utilisation des terres	Types de champs	Description des types de champs
Jachères	Régénérer les jachères	Parcelles collectives ou terrains individuels temporairement laissés en friche pour la reprise de la fécondité. Pente peu raide.
	Pâturages, loisirs et jachères	Terres laissées en jachère ou des espaces allouées aux familles. Des chèvres peuvent y paître.
	Pâturage au piquet et terres pour le fourrage	Terres pour les pâturages au piquet et l'entretien (en cas de taureaux). D'herbe peut également y être coupée pour le fourrage.

Source: Kaihura et al. (2002:155).

et l'enregistrement de la diversité au niveau du paysage doivent avoir non seulement l'accord du propriétaire foncier ou de l'utilisateur, mais aussi sa coopération active. Même sur des parcelles de propriété commune, il ya beaucoup à apprendre de ceux qui utilisent les ressources.

Dans le PLEC, nous utilisons largement le concept de l'agrodiversité, proposé à l'origine par Brookfield et Padoch (1994), allant au-delà de la division naturelle, vers la division culturelle de la plupart des études, afin de mettre en corrélation l'agrobiodiversité, la gestion de la diversité et la diversité biophysique, et les mettre dans un contexte d'une quatrième dimension : celle que nous avons appelé la diversité organisationnelle (Brookfield 2001; Brookfield et al 2002). Ce terme requiert une explication. Une ferme est une entreprise fonctionnelle avec un ensemble distinctif de relations avec les entreprises parallèles et les niveaux supérieurs de la communauté, les autorités, et les économies régionales, nationales et mondiales. Comme toute autre entreprise, elle est à la fois un système plus imbriqué dans les systèmes économiques et sociaux plus larges. Les exploitants de la ferme sont les gestionnaires des terres dans le sens utilisé par Blaikie et Brookfield (1987). Même s'ils doivent travailler dans un système qui détermine les cultures et le bétail à produire, les agriculteurs ou les ménages agricoles doivent effectuer la tournée annuelle, mensuelle et journalière des décisions nécessaires pour obtenir cette production. Les exploitations

agricoles diffèrent grandement les unes des autres, et les ressources et les compétences des exploitants agricoles diffèrent également grandement. Ceci est un élément central de la diversité. Il comprend la diversité avec la manière dont les exploitations sont détenues ou louées et exploitées et l'utilisation faite des ressources de dotations et la main-d'œuvre agricole. Les éléments comprennent le travail, la taille des ménages, les dotations en ressources différentes des ménages, et la dépendance sur l'emploi hors ferme. Ils comprennent également les groupes d'âge et les relations entre les différents sexes dans le travail agricole, la dépendance à la ferme plutôt qu'aux sources externes de soutien, la répartition spatiale de la ferme, la quantité de l'aide mutuelle qui est pratiquée entre les fermes, et les différences entre agriculteurs dans l'accès à la terre. La tenure des ressources, les conditions pour y avoir accès, et ce que Leach et al. (1999) décrivent comme des droits environnementaux revêtent une importance fondamentale. La diversité organisationnelle est impliquée dans toute la gestion des ressources, y compris la terre, les cultures, le travail, le capital, et les autres intrants.

Quelques soient les conditions de propriété des terres, les compétences nécessaires à une organisation simple de force de travail aux périodes de demande de pointe en main d'œuvre sont très sous-estimées dans les travaux sur le développement agricole. Le passage du simple au double, voire au triple lors des récoltes est rendu possible par les innovations de la Révolution verte a été énormément demandeur de ces compétences. Pourtant, les agriculteurs ont reçu peu de conseils et d'instructions sur la façon de gérer leurs ressources et main-d'œuvre dans ces moments. Ils ont appris cela par eux-mêmes. La diversité organisationnelle est très dynamique. Les agriculteurs changent leur organisation du travail et des ressources en fonction des circonstances, parfois dans un très court laps de temps, et sont prêts à réagir aux signaux qui font appel à de nouvelles façons de combiner les facteurs de production.

Les agriculteurs experts qui font ces bonnes pratiques ne sont pas toujours des leaders politiques ou sociaux dans leurs communautés. Le PLEC en Chine a trouvé un exemple remarquable d'un expert innovateur M. Li Dayi, un ancien chasseur devenu agriculteur. Dans les années 1980, il s'est intéressé aux expériences de la domestication d'une espèce de bois rare mais précieux trouvée dans la forêt, *Phoebe puwenensis*. Bien qu'aucun moyen botanique mis en place n'ait existé, il a réussi en deux années à cultiver des pousses viables. Il a ensuite converti 0,13 ha de terres de culture de maïs qui lui ont été allouées lors de la privatisation des terres collectives qui a eu lieu en 1983 dans une plantation mixte d'arbres. Avec

le soutien de PLEC, il a étendu sa technologie à 95 agriculteurs du village (Dao et al. 2003).

Au cours des dernières années dans un village en Nouvelle-Guinée (Papouasie), les agriculteurs ont modifié leur système agricole de subsistance pour incorporer des cultures de rente. Un certain nombre d'entre eux représentent la plantation de cacao ou de plants de café dans le jardin au cours de la première et deuxième année de culture de l'igname. Jusque vers 1990, la seule culture de rente dans la région était le café robusta, introduit par les services agricoles dans les années 1960, et il a été cultivé sur de petites parcelles en moyenne 150 arbres par parcelle, entouré par la forêt secondaire et ombragée par *Leuceana*. Très peu de café supplémentaire a été planté après l'enthousiasme des années 1960, lorsque toutes les familles plantaient au moins une et souvent deux parcelles. Cependant, entre 1990 et 2001, plus de 70.000 arbres de cacao ont été plantés. Dans ce cas, le système de culture itinérante est en cours de modification en réponse aux nouvelles conditions. Dans la phase finale de trois ans de culture, les parcelles ont été dominées par les mauvaises herbes, mais elles ont été contrôlées récemment par l'introduction de charançons de patates douces, ces derniers couvrant le sol comme un manteau. Les espèces de jachère arborée et les hautes herbes sont maintenant éliminées, et *Gliricidia* est planté pour ombrager le cacao. Ainsi les jardins à cultures de subsistances sont transformés en jardins à cultures de rente. Les agriculteurs affirment que dans 20 ans, ils vont purifier le cacao et les cultures vivrières à nouveau. Ils savent que les terres défrichées du cacao et de *Gliricidia* ou *Leuceana* se développent en cultures vivrières, tout comme le ferait une jachère forestière en 20 ans. Ainsi, les conséquences de cette pratique ne seront pas une réduction de la production alimentaire. Au contraire, sur 20 ans il va y avoir une perte importante de la succession naturelle des espèces de jachère, dont beaucoup sont utilisées par les personnes qui les collectent. Les agriculteurs reconnaissent ce problème, mais pensent que la perte ne sera pas grave car tous les sites défrichés pour les cultures vivrières vont être convertis en cacao ou en café. Ils n'auront pas à récolter et à transformer cette quantité de cacao ou de café (Sowei et Allen 2003).

Beaucoup d'autres exemples de ce genre pourraient être cités. Le plus célèbre cas, dans l'histoire moderne, est la création d'une industrie d'exportation dans le sud du Ghana en Afrique occidentale, par des agriculteurs entrepreneurs migrants qui ont établi de grandes zones de cacao entre les forêts secondaires dans ce pays entre 1890 et 1920 et ont développé de nouveaux systèmes de tenure foncière, afin de faciliter leur colonisation des terres (Hill 1963). Plus loin dans ce chapitre, nous décrivons comment



### Encadré 13.2 La biodiversité agricole et les stratégies de subsistance des plus pauvres des zones rurales du Bangladesh

Le fait que les populations pauvres dépendent des aliments non cultivés pour leur survie et moyens de subsistance est bien connu au sein des zones rurales des villages du Bangladesh. Mais quelle est la nature de cette dépendance? Notre étude explore l'utilisation par les personnes les plus démunies de la nourriture et des végétaux qu'ils collectent des terres, des plans d'eau et des forêts où ils vivent. Quand nous avons demandé aux villageois: «Où sont les pauvres?» La réponse a été "Chak", qui signifie dans les champs cultivés d'autrui ou sur le bord des routes. Dès le mois Bhadra jusqu'à Kartik, ils sont occupés dans les champs de cannes à sucre à récolter pour les agriculteurs. Aux mois de Agaryan, Poush et Magh, ils sont occupés à la récolte des pommes de terre et à la préparation des pousses pour les rizières des agriculteurs. Ils peuvent recevoir de l'argent pour ce travail, qu'ils utiliseront pour l'achat d'huile et de sel, pour des dépenses scolaires et le remboursement des dettes. Mais ils devront aussi accepter des pommes de terre en guise de paiement partiel et recueillir la paille, qui n'est plus nécessaire, pour couvrir le terrain dans les champs de pommes de terre et l'utiliser chez eux comme carburant. Ils cueilleront le jute des feuilles dans les champs des agriculteurs pour s'alimenter ainsi que les feuillards verts non cultivés le long de la cote de la rizière, dont ils vendront certains. Ils vendent des œufs de leurs poules pour acheter du riz et collectent des petits poissons dans les cours d'eau pour le repas quotidien. C'est leur gagne-pain.

Quelle est la réponse appropriée aux défis de garantir leur accès à ces sources de nourriture? Le développement agricole, basé sur quelques cultures, ne peut pas compenser adéquatement les personnes très démunies pour la perte d'accès aux sources d'aliments non cultivés, causée par les pratiques agricoles telles que l'utilisation intensive de pesticides et la monoculture. Il ne peut non plus pas compenser l'érosion des régimes de propriété commune et les règles sociales qui permettent aux gens d'utiliser ces sources alimentaires. L'analyse de la contribution des aliments non cultivés à la sécurité alimentaire au Bangladesh suggère que le niveau approprié pour améliorer l'accès à ces sources alimentaires soit le paysage agricole de la communauté, et non des espèces végétales spécifiques, les fermes, ou les jardins familiaux. La simple promotion des systèmes agricoles fondés sur la biodiversité, la protection des terres du village contre l'utilisation de pesticides et la fermeture des terrains communs, sont des mesures qui garantissent également l'énorme ressource que représentent les aliments non cultivés. Une telle stratégie peut être appelée « la cultivation du paysage », en opposition à des définitions plus limitées de l'agriculture basée sur les plantes cultivées dans les champs exploités. Les améliorations dans l'agriculture devraient être poursuivies dans le cadre d'une stratégie plus large pour augmenter la capacité des communautés à créer et à maintenir les conditions nécessaires pour les systèmes alimentaires riches en biodiversité. Enfin, la biodiversité n'est pas cultivée, mais plutôt nourrie dans les agro-écosystèmes biodiversifiés.

*Source:* Farida Ahkter, le Centre de recherche sur les politiques alternatives de développement, Bangladesh.

les agriculteurs dans l'Amazonie brésilienne réagissent aux augmentations des prix en convertissant un système de grandes cultures en un système agroforestier. Les activités de ce type transforment la biodiversité de l'ensemble des paysages agricoles.

Il y a d'autres utilisateurs de la biodiversité en dehors des agriculteurs. Les éleveurs transhumants peuvent utiliser des paysages différents à différents moments de l'année, et certains d'entre eux ont des arrangements contractuels avec les agriculteurs pour les pâturages de leur bétail sur les terres en jachère. C'est une pratique très répandue dans les régions de la savane d'Afrique Occidentale. Toulmin (1992) a montré comment les ménages d'un village Bambara, au nord du Mali, creusaient des puits à la main dans les années 1970 et 1980, ce afin d'attirer les bergers transhumants Fulani, dont l'élevage aurait alors été parqué dans les champs des propriétaires, pour fournir ainsi du fumier et permettre l'expansion de leur culture. Mais les villageois s'assurent que les éleveurs Fulanis demeurent leurs clients et que si ils s'établissaient dans le voisinage, ils n'aient pas à acquérir des terres sur lesquelles ils pourraient creuser leurs propres puits. Le maintien de cette sécurité de l'accès aux ressources demande beaucoup d'organisation chez les Bambara.

Au sein de toute population indigène, certains possèdent très peu de terres ou n'en possèdent pas du tout. Ils peuvent dépendre des ressources des terres communes ou de presque n'importe quel lieu du paysage. Il est possible que les aliments qu'ils consomment ne soient pas du tout cultivés. Le tableau 13.2, issu du résumé d'un document présenté à Montréal par Farida Ahkter du Centre de recherche sur les politiques alternatives de développement au Bangladesh, décrit graphiquement comment les plus démunies des populations pauvres dépendent de la diversité des paysages agricoles.

### La dimension temporelle

La biodiversité, qu'elle soit dans les agro-écosystèmes ou en dehors, est dans un état de changements permanents. Les variations saisonnières des zones tempérées, les rotations de cultures ordonnées, les exploitations à court terme ainsi que les séquences en jachère peuvent être des types familiers de la variation temporelle dans le secteur agricole du Nord. Mais la complexité temporelle des systèmes de petites exploitations dans les tropiques est souvent peu familière, mal comprise par les scientifiques, et souvent ignorée ou condamnée par les gouvernements.

Parmi les petits modèles les plus couramment étudiés, impliquant généralement à la fois des changements temporels complexes dans la gestion et des niveaux élevés de diversité biologique, figurent la culture sur brûlis ou la culture itinérante. Ces formes d'agriculture paysanne pantropicale et peut-être quasi-globale ont beaucoup varié, mais disposent généralement de la compensation des champs par le découpage et le feu et les alternances d'une phase brève de culture intensive avec des années de mise en jachère de forêt ou de brousse. Jusqu'à récemment, la phase de systèmes itinérants caractérisés par une gestion moins intensive des cultures ou la phase "en jachère", était généralement perçue comme un abandon temporaire. On a supposé que pendant cette partie du cycle, lors de la plantation, le désherbage et la récolte de la plupart des cultures ont été faites, toute gestion active des plantes et des animaux a cessé, et les retombées économiques directes dérivées de la parcelle sont devenues négligeables. En effet, les champs en «jachère» semblent souvent être revenus à une végétation complètement naturelle.

Les recherches effectuées au cours des dernières décennies, en particulier en Amérique du Sud et au Sud Est de l'Asie, ont montré le contraire. Un nombre croissant d'études ont démontré que de nombreux systèmes de culture itinérante sont plus précisément décrits comme l'agroforesterie cyclique et que même si la gestion des brûlis peut changer de façon spectaculaire au fil du temps, de nombreuses parcelles ne sont jamais vraiment abandonnées. Même si une partie substantielle de la végétation semble être sauvage ou spontanée, active et qualifiée, bien que subtile, la gestion peut continuer à façonner les espèces et les fréquences des végétaux et des animaux sur le site. Il est souvent difficile ou impossible de déterminer lequel, parmi les végétaux dans un terrain particulier en jachère, a effectivement été cultivé ou ne l'a pas souvent été. Bien que l'espèce échantillonnée peut ne pas changer, le rapport naturel/cultivé peut changer dès que la régénération naturelle et les bénévoles se joignent ou remplacent les végétaux cultivés au cours des mois ou des années au cours desquels une jachère est subtilement gérée.

Les pressions économiques sont en hausse et les populations rurales augmentent à travers l'Asie tropicale et dans d'autres parties du monde où le brûlis a été une voie commune pour créer un revenu. La gestion des feux de brousse aggrave les effets des changements dramatiques. La gestion de toutes les phases du cycle est de plus en plus intense et visible, avec des espèces axées sur un marché de plus en plus spécialisé. Les formes que ces systèmes intensifiés de culture sur brûlis de jachère sont maintenant entraînés de prendre restent variées, avec des agroforêts souvent dominées par le caoutchouc, les fruits, ou des arbres à bois à croissance rapide. Les

autres systèmes plus intensifs mais quand bien même complexes et cycliques comprennent les jachères dominées par les arbustes ayant une valeur économique, et même par les légumineuses herbacées (Cairns 2006).

Comment pouvons-nous mesurer avec précision la biodiversité dans les systèmes tels que les systèmes agroforestiers sur feux de brousse qui changent en permanence? Prendre l'ensemble du paysage comme une unité de recherche et y inclure les champs et les «jachères» de divers niveaux de gestion et d'âges permet au chercheur de saisir une bonne quantité de la richesse et la complexité de ces modèles agricoles. Le rééchantillonnage au fil du temps est souhaitable pour attraper des variations saisonnières et autres. Le projet PLEC a constaté que dans chaque région, les chercheurs doivent être flexibles dans leurs méthodes, pour leur permettre de s'adapter aux conditions locales. Ils doivent également comprendre les limites de leurs données lorsque les recherches à long terme et le rééchantillonnage ne sont pas possibles.

La complexité temporelle prend de nombreuses formes, et soulève donc de nombreuses difficultés pour le chercheur. Dans la plaine inondable du fleuve Amazone, où le PLEC a plusieurs sites de recherche, des parcelles de terrain traversent annuellement des phases à la fois terrestres et aquatiques. Les parcelles des agriculteurs sont envahies par les eaux du fleuve durant la crue annuelle, normalement d'environ 10 mètres de haut dans la partie supérieure de la rivière au Pérou. Les champs qui apparaissent plusieurs mois après la décrue sont modifiés, non seulement en termes de couverture végétale, mais souvent en termes de taille, type de sol, et d'autres qualités qui déterminent les deux utilisations actuelles et futures agricole. Ce qui rend la question plus complexe pour le chercheur est le fait que si une parcelle est sous l'eau et que sa biodiversité change radicalement, elle n'est souvent pas improductive, mais traverse simplement une autre phase aquatique. Beaucoup de fermiers des plaines inondables dans le site Muyuy du PLEC au Pérou gèrent, par exemple, la végétation riveraine et celle au bord du lac, cette végétation comprend aussi les arbres fruitiers, non seulement pour produire des fruits pour les consommateurs humains lors de la phase terrestre, mais aussi pour attirer le poisson pendant la saison des inondations (Pinedo-Vasquez et al. 2003b). La gestion polyvalente des phases aquatiques et terrestres développée par les paysans d'Amazonie est difficile à observer pour les chercheurs en agriculture, encore moins appréciée; ses composants de la biodiversité sont sans doute difficiles à mesurer.

La multifonctionnalité et la gestion simultanée de l'agriculture, l'agroforesterie, et des ressources forestières dans un seul champ sont communes

aux entreprises de petits exploitants à travers les tropiques. En dépit de leur omniprésence, ces approches sont rarement mentionnées dans la littérature et semblent être invisibles à la plupart des chercheurs. Beaucoup d'agriculteurs gèrent par exemple les cultures annuelles de leurs champs pour la récolte d'ici quelques mois, tout en tendant des plants d'arbres entremêlés à découper en 30 ans ou plus. Les plants d'arbres peuvent être spontanés ou volontaires, délibérément plantés ou transplantés provenant de forêts voisines ou des jardins. Alors que les cultures sont plantées, désherbées et récoltées, les arbres à croissance plus lente peuvent recevoir un peu plus d'attention qu'un nettoyage superficiel et un élagage occasionnel. Le caractère non mécanisé de l'agriculture paysanne sous les tropiques rend une telle diversité possible. Le fait de savoir que les agriculteurs indigènes ont des connaissances relatives aux caractéristiques de croissance de nombreux organismes et de leurs combinaisons, ainsi que concernant les capacités et les limitations spécifiques de chaque coin de leurs champs, fait qu'une telle gestion complexe soit rentable. L'encadré 13.3 démontre le résultat final d'un tel processus de gestion dans la plaine amazonienne inondable du Brésil, à partir de la phase de cultivation sur brûlis en plantant ou en nourrissant les plants d'arbres évalués, en continuant par l'étape de jachère jusqu'à l'incorporation définitive dans la forêt développée.

Le dynamisme peut être facilement mal interprété, en particulier dans les systèmes qui sont riches en diversité et gérés par les agriculteurs ou les communautés qui sont politiquement marginales ou culturellement distinctes. Les travaux des anthropologues Fairhead et Leach (1996) en Guinée illustrent ce point dans ce qui est maintenant devenu un cas célèbre. Ils décrivent une situation dans laquelle il est généralement reconnu que les champs, les forêts et les prairies de la province du Kissidougou sont actuellement, et ce depuis longtemps, en flux. Toutefois, les ententes officielles et locales de la direction de ces changements, et de la nature essentielle des interactions homme-forêt à Kissidougou, sont en désaccord complet. Si l'affirmation locale que la plupart des diverses et grandes îles-forêts qui parsèment le paysage sont des créations humaines largement acceptées, les mesures de l'agrobiodiversité régionale et des notions de manipulation humaine des paysages locaux sont essentiellement opposées à celles suggérées si le scénario concurrent de la déforestation avancée est confirmé. En faisant un usage efficace des preuves modernes de la photographie aérienne et la télédétection, ainsi que des descriptions antérieures, Fairhead et Leach ont confirmé les interprétations locales.

Dans une autre partie du monde, Yin (2001) a montré comment les agriculteurs, dans les systèmes de culture sur brûlis subsistants dans le

**Encadré 13.3** La biodiversité à l'étape Forêt sur deux sites de la basse Amazonie au Brésil

Dans les deux sites nous avons constaté que les zones forestières qui font partie de la propriété foncière des petits exploitants résultent des opérations de gestion successives qui ont commencé lors la phase terrain et poursuivies durant les phases de jachère et de forêt. Les inventaires réalisés sur un échantillon de 10 ha (5 ha à Mazagão et 5 ha à Ipixuna) montrent une grande diversité d'espèces (tableau de l'encadré 13.3). Dans les deux sites, les forêts contiennent des niveaux élevés de richesse et de régularité des espèces. Toutefois, le nombre moyen d'espèces présentes dans les forêts de Mazagão (51) est légèrement supérieur à la moyenne constatée à Ipixuna (36). En revanche, les forêts échantillonnées d'Ipixuna ont davantage d'arbres (moyenne 1117) que celles échantillonnées à Mazagão (moyenne 1041). Ces résultats reflètent l'histoire de la gestion et de l'extraction des ressources pratiquées par les petits exploitants dans les deux sites. À Mazagão, la communauté se consacre plus à des activités forestières, et a tendance à continuellement enrichir sa forêt avec des espèces médicinales, produisant du bois et fruitières. Les agriculteurs d'Ipixuna se consacrent plus à l'agroforesterie et à la collecte des produits fruitiers et médicinaux qu'à l'extraction du bois.

Malgré les différences dans les usages et la gestion des forêts pratiqués par les habitants de Mazagão et d'Ipixuna, les forêts dans les deux sites démontrent une très grande diversité ou indice de Shannon. Se basant sur des indices de diversité estimés, les forêts de Mazagão ont des valeurs plus élevées (en moyenne  $H' = 2,59$ ) que les forêts d'Ipixuna (moyenne  $H' = 1,77$ ). Ces résultats sont très similaires à l'indice de Shannon rapporté et estimé pour les zones forestières dans d'autres régions de la plaine inondable estuarienne de la *Varzea* (Anderson et Ioris 1992).

TABLEAU DE L'ENCADRÉ 13.3 Diversité dans les échantillons de la forêt comparant le nombre d'espèces, le nombre d'individus et de l'indice Shannon (H):

Parcelle-échantillon	Mazagão			Ipixuna			
	Nombre d'espèces	Nombre d'individus	H	Parcelle-échantillon	Nombre d'espèces	Nombre d'individus	H
1	48	892	2.96	6	26	623	1.66
2	55	1,096	2.66	7	41	1,032	1.91
3	54	1,118	2.43	8	38	1,610	1.68
4	45	778	2.66	9	43	1,696	1.80
5	55	1,322	2.26	10	34	923	1.80

*Encadré 13.3, suite à la page suivante*

Bien que les forêts de Mazagão soient plus riches en espèces que celles d'Ipixuna, les deux espèces les plus commercialement valorisées (*Euterpe oleraceae* et *Calycophyllum spruceanum*) sont parmi les plus dominantes et abondantes dans les deux sites. Cela indique que les habitants encouragent la repousse et la croissance de cesa dernières ainsi que d'autres espèces estimées dans leurs forêts. De même, la présence d'un nombre élevé d'espèces produisant du bois, à fruits, et médicinales indique l'intensité et la fréquence de la gestion par les populations indigènes dans les deux sites. Les données de l'inventaire montrent aussi que les agriculteurs maintiennent un faible nombre d'individus de plusieurs espèces non commerciales. Parmi ces espèces on retrouve des espèces pionnières, telles que *Cecropia palmata* et *Croton* sp., qui jouent un rôle important pour attirer le gibier. L'indice de valeur d'importance estimé montre que 8 des 10 espèces les plus importantes trouvées dans les forêts de Mazagão et Ipixuna engendrent des produits commerciaux. Comme dans le cas de la gestion des jachères, les populations sont également en train d'adapter et de développer de nouvelles technologies de gestion qui correspondent à des conditions environnementales et économiques spécifiques. L'abondance et la dominance d'espèces économiquement importantes sont entretenues par de petits exploitants grâce à l'application des opérations de gestion qui promeuvent la régénération des espèces sous de différentes conditions lumineuses et environnementales. Par exemple, la majorité des agriculteurs effectuent des opérations de pré-récolte pour éviter des dommages excessifs à la forêt, optimisant ainsi la production.

La diffusion des semences ou le semis d'espèces précieuses, avant de couper les arbres pour exploiter leur bois, font partis des opérations de pré-récolte les plus récentes et innovantes. La plupart des plants proviennent d'autres parties de la forêt, mais les jeunes plants d'andiroba (*Carapa guianensis*) sont produits principalement dans les jardins familiaux.

Source: Pinedo-Vásquez et al. (2003c).

Yunnan, en Chine, ont considérablement modifié leurs systèmes, certains d'entre eux l'ont fait récemment, d'autres il ya longtemps. Les cultures et les méthodes de culture ont été changées, les rotations ont été réduites et les moyens ont été trouvés pour soutenir la fertilité des sols dans ces rotations raccourcies. Aussi, les cultures de rente ont été introduites ou bien des utilisations commerciales ont été trouvées pour les plantes antérieurement utilisées uniquement pour la subsistance. Les cultures en terrasses ont même été introduites. Pourtant, malgré les adaptations hautement qualifiées qui ont été faites et continuent à l'être, de nombreux fonctionnaires et certains scientifiques continuent à considérer que tout ce que les

agriculteurs cultivent sur brûlis s'avère primitif, et est à remplacer rapidement. Ce n'est qu'avec la satisfaction moderne des atouts écologiques de l'agroforesterie qu'une nouvelle compréhension des compétences traditionnelles a commencé tardivement à se développer.

Les changements dans les agro-écosystèmes des petits exploitants se produisent souvent par étapes semblablement incrémentielles et disjointes (Doolittle 1984; Padoch et al 1998), ce qui ajoute, une fois encore, une dose de complexité et d'ambiguïté.

Les limitations du travail humain et des autres ressources disponibles pour les ménages ruraux, afin de produire d'importantes modifications environnementales, rendent à long terme, les démarches des fermes échelonnées nécessaires. Au sein des milieux agricoles marginaux, la création même des terres arables peut prendre des années et plusieurs opérations de travail intensif. La conversion des marécages tourbeux en des vergers de noix de coco ou en jardins de ramboutan productifs sur les côtes de la province indonésienne de l'Ouest du Kalimantan, par exemple, demande des années de creusages de fossés, de drainages, de création et ensuite de destruction de plusieurs formes de plantation de riz avant qu'un verger rentable ne soit établi. Un paysage typique dans une telle région peut comprendre une multitude de parcelles à utilisation, gestion et diversité variées. Toutes les composantes de cette mosaïque de paysages font partie d'un système diversifié, complexe et dynamique de petites exploitations de cultures arboricoles.

A l'intérieur des terres et à partir des marécages tourbeux du Kalimantan, le changement d'un système à l'autre se déroule dans ce qui est aussi un processus discontinu, incrémentiel et visuellement confus. Padoch et d'autres ont décrit comment les villageois Dayak passent de l'agriculture sur brûlis du riz pluvial à la riziculture irriguée (Padoch et al. 1998). Le processus de changement crée de multiples étapes intermédiaires, nombre d'entre elles sont diverses, et chacune d'elles diffèrent en termes de productivité et d'apparence. L'étude de l'agrobiodiversité dans de tels systèmes dynamiques pose des défis aux scientifiques qui veulent représenter avec exactitude leur richesse.

## Conclusion

La biodiversité à l'échelle du paysage présente un certain nombre de défis à la fois dans la mesure et dans l'interprétation. Comme l'enquête exhaustive est logistiquement impossible à cette échelle, la nature de la base de sondage est centralement importante et cela crée certaines difficultés, en



particulier dans la définition des échantillons emboîtés. Un élément fort téléologique est presque toujours présent. Au PLEC, nous avons sélectionné des champs dans les types de terrains et globalement échantillonné des quadrants sur ces mêmes terrains, ainsi que des jardins familiaux entiers. Dans les travaux européens, des efforts ont été déployés pour trouver des indicateurs permettant de surmonter le problème de topographie à l'échelle du paysage d'ensemble mais aucun n'a été trouvé qui soit universellement applicable. Puisque le but est d'évaluer le succès des améliorations de la gestion, une combinaison de certains indicateurs biotiques avec les aspects structurels de la matrice de l'agriculture et même les caractéristiques spécifiques de gestion, semble être la meilleure manière de procéder. Modifiée, une telle approche pourrait être applicable dans les pays en développement.

Bien qu'il puisse être difficile de mesurer d'une manière scientifiquement défendable, reconnaître la biodiversité agricole à l'échelle du paysage est nécessaire pour la compréhension de nombreux atouts de l'agriculture paysanne, en particulier dans les pays en développement. Une grande partie de la diversité gérée, si elle n'est pas directement plantée, se trouve dans les marges des champs, le long des chemins, entre les maisons et le long des cours d'eau. Ces parcelles de végétation sont régulièrement récoltées et leurs fruits sont consommés, vendus et utilisés pour combler une centaine de besoins économiques. Lorsque les agriculteurs sont privés de ces ressources invisibles, leur régime alimentaire et leurs revenus se détériorent souvent, et leur capacité à faire face aux perturbations climatiques ou économiques sont souvent perdues.

De plus grandes questions sont soulevées par l'élément temporel de la gestion de la biodiversité par les agriculteurs. L'alternance des phases aquatiques et terrestres dans les plaines inondables annuellement inondées a été discutée en détail, mais la grande question est la gestion téléologique de la terre à une étape d'utilisation du sol pour créer une biodiversité modifiée dans un stade ultérieur de l'utilisation des terres ou, en d'autres termes, la biodiversité différente qui résulte des changements délibérés dans l'usage fait du sol. Ces séquences sont essentielles à la compréhension du niveau de gestion du paysage, et elles révèlent comment la gestion peut avoir de grands effets sur la biodiversité. Ce chapitre a examiné la modification de la biodiversité par une gestion, à la fois délibérée pour affecter la biodiversité et indirecte via les changements uniquement déterminés par les besoins de production. Le flux constant de la biodiversité apparaît comme la conclusion centrale qui met en doute toutes les notions de la conservation «statiques» des conditions des plants, les assemblages de plantes, et les paysages aménagés.

## Note

1. La diversité Alpha est la diversité au sein d'un site ou d'un quadrant (c.-à-d, la diversité locale), la diversité bêta est le changement dans la composition des espèces d'un site à l'autre (c.-à-d le renouvellement des espèces), et la diversité gamma est la diversité d'un paysage ou de tous les sites combinés (c.-à-d, la diversité régionale).

## Références

- Anderson, A. and E. Ioris. 1992. The logic of extraction: Resource management and resource generation by extractive producers in the estuary. In K. Redford and C. Padoch, eds., *Conservation of Neotropical Forests*, 175–199. New York: Columbia University Press.
- Blaikie, P. M. and H. Brookfield. 1987. *Land Degradation and Society*. London: Routledge.
- Brookfield, H. 2001. *Exploring Agrodiversity*. New York: Columbia University Press.
- Brookfield, H. and C. Padoch. 1994. Appreciating agrodiversity: A look at the dynamism and diversity of indigenous farming practices. *Environment* 36(5):6–11, 37–45.
- Brookfield, H., M. Stocking, and M. Brookfield. 2002. Guidelines on agrodiversity assessment. In H. Brookfield, C. Padoch, H. Parsons, and M. Stocking, eds., *Cultivating Biodiversity: Understanding, Analysing and Using Agricultural Diversity*, 41–56. London: ITDG Publishing.
- Büchs, W. 2003. Biotic indicators for biodiversity and sustainable agriculture: Introduction and background. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 98:1–16.
- Bureau, J.-C. 2003. *Enlargement and Reform of the EU Common Agriculture Policy: Background Paper* [mimeo]. Washington, dc: Inter-American Development Bank.
- Cairns, M. 2006. *Voices from the Forest: Farmer Solutions Towards Improved Fallow Husbandry in Southeast Asia*. Washington, dc: Resources for the Future Press.
- Coffey, K. 2000. *PLEC Agrodiversity Database Manual*. New York: New York Botanical Garden for the United Nations University.
- Coffey, K. 2002. Quantitative methods for the analysis of agrodiversity. In H. Brookfield, C. Padoch, H. Parsons, and M. Stocking, eds., *Cultivating Biodiversity: Understanding, Analysing and Using Agricultural Diversity*, 78–95. London: ITDG Publishing.
- Dao, Z., H. Guo, A. Chen, and Y. Fu. 2003. China. In H. Brookfield, H. Parsons, and M. Brookfield, eds., *Agrodiversity: Learning from Farmers Across the World*, 195–211. Tokyo: United Nations University Press.
- Dauber, J., M. Hirsch, D. Simmering, R. Waldhardt, A. Otte, and V. Wolters. 2003. Landscape structure as an indicator of biodiversity: Matrix effects on species richness. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 98:321–329.

- Doolittle, W. E. 1984. Agricultural change as an incremental process. *Annals of the Association of American Geographers* 82:369–385.
- Duelli, P. 1997. Biodiversity evaluation in agricultural landscapes: An approach at two different scales. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 62:81–91.
- Fairhead, J. and M. Leach. 1996. *Misreading the African Landscape: Society and Ecology in a Forest–Savanna Mosaic*. Oxford, uk: Clarendon Press.
- Forman, R. T. 1995. *Land Mosaics: The Ecology of Landscapes and Regions*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Guo, H., C. Padoch, Y. Fu, Z. Dao, and K. Coffey. 2002. House hold- level biodiversity assessment. In H. Brookfield, C. Padoch, H. Parsons, and M. Stocking, eds., *Cultivating Biodiversity: Understanding, Analysing and Using Agricultural Diversity*, 70–125. London: ITDG Publishing.
- Haines- Young, R. H., C. Barr, H. Black, D. Briggs, R. Bunce, R. Clarke, A. Cooper, F. Dawson, L. Firbank, R. Fuller, M. Furse, M. Gillespie, R. Hill, M. Hornung, D. Howard, T. McCann, M. Morecroft, S. Petit, A. Sier, S. Smart, G. Smith, A. S. Stott, R. Stuart, and J. Watkins. 2000. *Accounting for Nature: Assessing Habitats in the U.K. Countryside*. London: Department of Environment, Transport and Regions.
- Hill, P. 1963. *The Migrant Cocoa- Farmers of Southern Ghana: A Study in Rural Capitalism*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Hoffmann- Kroll, R., D. Schäfer, and S. Seibel. 2003. Landscape indicators from ecological area sampling in Germany. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 98:363–370.
- Kaihura, F. B. S. 2002. Working with expert farmers is not simple: The case of plec Tanzania. In H. Brookfi eld, C. Padoch, H. Parsons, and M. Stocking, eds., *Cultivating Biodiversity: Understanding, Analysing and Using Agricultural Diversity*, 132–144. London: ITDG Publishing.
- Kaihura, F. B. S., P. Ndongi, and E. Kemikimba. 2002. Agrodiversity assessment and analysis in diverse and dynamic small- scale farms in Arumeru, Arusha, Tanzania. In H. Brookfi eld, C. Padoch, H. Parsons, and M. Stocking, eds., *Cultivating Biodiversity Understanding, Analysing and Using Agricultural Diversity*, 153–166. London: ITDG Publishing.
- Leach, M., R. Mearns, and I. Scoones. 1999. Environmental entitlements: Dynamics and institutions in community- based natural resource management. *World Development* 27:225–247.
- Magurran, A. E. 1988. *Ecological Diversity and Its Measurement*. Princeton, nj: Princeton University Press.
- OECD. 1997. *Environmental Indicators for Agriculture*, Vol. 1, *Concepts and Framework*. Paris: Organisation for Economic Cooperation and Development Publications Service.

- Opperman, R. 2003. Nature balance for farms: Evaluation of the ecological situation. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 98:463-475.
- Osinski, E. 2003. Operationalisation of a landscape- oriented indicator. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 98:371-386.
- Padoch, C., E. Harwell, and A. Susanto. 1998. Swidden, sawah and in- between: Agricultural transformation in Borneo. *Human Ecology* 26:3-20.
- Pinedo- Vasquez, M., K. Coffey, L. Enu- Kwesi, and E. Gyasi. 2003a. Synthesizing and evaluating plec work on biodiversity. *PLEC News and Views NS* 2:3-8.
- Pinedo- Vasquez, M., P. P. del Aguila, R. Romero, M. Rios, and M. Pinedo- Panduro. 2003b. Peru. In H. Brookfi eld, H. Parsons, and M. Brookfi eld, eds., *Agrodiversity: Learning from Farmers Across the World*, 232-248. Tokyo: United Nations University Press.
- Pinedo- Vasquez, M., D. G. McGrath, and T. Ximenes. 2003c. Brazil (Amazonia). In H. Brookfi eld, H. Parsons, and M. Brookfi eld, eds., *Agrodiversity: Learning from Farmers Across the World*, 43-78. Tokyo: United Nations University Press.
- Piorr, H.- P. 2003. Environmental policy, agri- environmental indicators and landscape indicators. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 98:17-33.
- Sowei, J. and B. Allen. 2003. Papua New Guinea. In H. Brookfi eld, H. Parsons, and M. Brookfi eld, eds., *Agrodiversity: Learning from Farmers Across the World*, 212-231. Tokyo: United Nations University Press.
- Toulmin, C. 1992. *Cattle, Women and Wells: Managing House hold Survival in the Sahel*. Oxford, uk: Clarendon Press.
- Waldhardt, R. 2003. Biodiversity and landscape: Summary, conclusions and perspectives. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 98:305-309.
- Waldhardt, R. and A. Otte. 2003. Indicators of plant species and community diversity in grasslands. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 98:339-351.
- Waldhardt, R., D. Swimmering, and H. Albrecht. 2003. Floristic diversity at the habitat scale in agricultural landscapes of central Eu rope: Summary, conclusions and perspectives. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 98:79-85.
- Whittaker, R. H. 1972. Evolution and measurement of species diversity. *Taxon* 21:213-251.
- Yin, S. 2001. *People and Forests: Yunnan Swidden Agriculture in Human-Ecological Perspective*. Kunming, Yunnan, China: Yunnan Education Publishing House.
- Zarin, D. J., H. Guo, and L. Enu- Kwesi. 2002. Guidelines for the assessment of plant species diversity in agricultural landscapes. In H. Brookfield, C. Padoch, H. Parsons, and M. Stocking, eds., *Cultivating Biodiversity: Understanding, Analysing and Using Agricultural Diversity*, 57-69. London: ITDG Publishing.

## 14 La diversité et l'innovation dans les petites exploitations face aux changements d'ordre environnemental et économique

---

K. RERKASEM et M. PINEDO-VÁSQUEZ

Dans un monde où la majorité des produits agricoles sont industriellement produits, les petits agriculteurs des régions tropicales représentent l'un des rares groupes qui pratiquent la plantation et la gestion d'une grande diversité de cultures ainsi que d'autres ressources biologiques se trouvant dans leurs exploitations. Les experts ont identifié les espèces et les variétés de cultures les plus rares et ont lancé un appel en faveur de leur préservation. Les dangers menaçant l'agriculture mondiale tels que la perte de la diversité des cultures et de la flexibilité qu'ils offrent sont bien connus, et les programmes de conservation de ces ressources inestimables in situ et ex situ ont été mis en place. Cependant, en se basant sur l'expérience du projet PLEC, nous soutenons que l'importante contribution des petits exploitants n'a pas été bien résumée dans le tableau des cultures et des variétés dans lesquelles leurs fermes se spécialisent. Les petits agriculteurs ont aussi créé et continuent à développer une grande abondance de systèmes divers et complexes d'utilisation des ressources qui elles aussi, sont importantes et menacées. La biodiversité significative de ces systèmes de production reflète et intègre à la fois des ressources biologiques et technologiques. La conservation de la biodiversité agricole évoluera si les systèmes de l'exploitation des ressources fournissant les produits de valeur sont rédigés, testés, améliorés et promus avec autant de diligence que les autres produits.

Dans ce chapitre, nous examinons ces systèmes d'exploitation des ressources et la manière des petits agriculteurs à les produire et à les modifier constamment. Nous nous concentrons particulièrement sur les technologies de production et de gestion des petits exploitants. Les technologies en question sont celles qui ne relèvent pas des catégories strictes de commu-

nautés autochtones ou non autochtones, modernes ou traditionnelles. Les expériences effectuées sur le terrain montrent qu'un large éventail de petits exploitants maintient des systèmes de grande valeur en termes de biodiversité, et que la classification des technologies utilisées par les exploitants dans de telles catégories est souvent impossible ou inutile. Le répertoire des technologies, complexes et diverses, d'exploitation des ressources et des pratiques de conservation que nous examinons crée et maintient des milieux hébergeant une grande diversité de cultures ainsi que d'autres organismes cultivés et gérés. Nous savons que les niveaux élevés de biodiversité agricole et des autres formes de diversité biologique gérés par les petits exploitants sont parmi les atouts économiques les plus importants dans le milieu des petits agriculteurs. Nous avançons que la diversité agricole des petits exploitants reflète et soutient leur capacité à réagir sur les plans technologique et économique, et à s'adapter également au nombreux processus écologiques et sociaux caractérisant leurs milieux et sociétés à l'évolution rapide.

A l'appui de nos généralisations, nous présentons, analysons et discutons certaines des données empiriques concernant l'agriculture dynamique, l'agroforesterie, les technologies de gestion des forêts ainsi que les pratiques de conservation à partir des sites témoins de PLEC situés partout dans les tropiques. Le projet PLEC est effectué dans les propriétés foncières des petits agriculteurs en Chine, en Papouasie-Nouvelle-Guinée, en Tanzanie, au Kenya, en Ouganda, au Ghana, en Guinée, au Mexique, en Jamaïque, au Pérou et au Brésil (voir aussi chapitre 13). L'approche PLEC focalise sur la diversité et le dynamisme des stratégies des agriculteurs et la biodiversité agricole qui en résulte, et elle ne les traite pas seulement en tant que produits traditionnels de longue histoire d'expérience communautaire, mais aussi en tant que résultats de créativité et de décisions individuelles prises face à la relâche des changements environnementaux, sociopolitiques et économiques. Les changements que nous discutons ici proviennent d'une grande variété de causes, souvent combinées, et ils varient en termes de temps, de gravité et de configuration. Nous nous concentrons sur les changements et les réactions qui touchent le niveau local. En d'autres termes, nous n'examinons pas les réactions aux désastres qui ont fait l'objet d'une attention mondiale, et nous ne généralisons pas les réactions des petits exploitants quant à la généralité qu'est la mondialisation, bien que plusieurs de nos exemples contiennent des cas pouvant être qualifiés de « catastrophes », à savoir : « un évènement désastreux et soudain qui cause d'importants dommages, pertes ou destruction » (Merriam-Webster dictionnaire en ligne), et ils montrent les fluctuations des

prix et des marchés relatifs aux relations internationales. L'effondrement de plusieurs villages dans les eaux tourbillonnantes de l'Amazonie semble être une catastrophe, tout comme l'apparition d'une nouvelle maladie qui détruit la source principale de revenus ou cause la chute des prix des récoltes importantes de café. Cependant, les cas d'études, que nous traitons et qui comprennent des événements brusques et désastreux, sont observés à l'échelle locale et sont décrits avec attention, tant sur le plan général que spécifique. L'« invisibilité » des catastrophes que nous traitons reflète, non seulement leur échelle limitée et leur positionnement rural, mais aussi la flexibilité et la diversité essentielles que les petits exploitants ont démontré pour affronter ces événements.

Les systèmes des petites exploitations peuvent être variables, idiosyncrasiques, et spécifiques aux sites. Toutefois, nous soulignons qu'habituellement, de tels systèmes ont tendance à intégrer plutôt que de séparer les nombreux types de technologies d'exploitation des ressources et de pratiques de conservation. Le type de technologie qui vise non seulement à exploiter, mais aussi à conserver les ressources chez les petits exploitants, continue à être sous-estimé. Nous concluons par quelques observations générales et recommandations concernant les stratégies de recherche et développement.

Nous croyons fermement que si nous cherchons à aider les pays pauvres à exploiter leur diversité biologique d'une manière durable et à améliorer le sort de certains de leurs agriculteurs les plus pauvres, nous devons valoriser et intégrer les ressources technologiques et les pratiques de conservation qui constituent la base d'une biodiversité agricole de haut niveau trouvée dans les paysages de production conçus et gérés par les petits exploitants pendant des siècles et jusqu'à présent.

### **Biodiversité agricole: procédés et produits**

Une focalisation sur le produit plutôt que sur les processus a sans doute contribué à masquer le dynamisme des systèmes développés par les petits exploitants. De même, l'accent mis par plusieurs chercheurs (dont quelques uns, ironiquement, valorisent au plus haut point les petits exploitants) sur la persistance et l'adaptation à long terme, implique que ces systèmes ne changent jamais. Nous reconnaissons certainement l'importance de la vision à long terme de nombreux villageois et le fondement de l'expérience à long terme qui caractérise la production des petits exploitants. Toutefois, nous affirmons également que la capacité des petits agriculteurs à générer

des technologies et des stratégies innovantes peut être leur atout le plus important quand il s'agit de traiter les problèmes et de profiter des opportunités générées par les changements économiques et environnementaux. La diversité, qu'elle soit biologique ou technologique, est souvent la clé de cette adaptabilité. Les nombreuses « manières intégrées par lesquelles les agriculteurs utilisent la diversité naturelle de l'environnement de production, à savoir leurs choix des cultures, la gestion de leurs terres, l'eau et la biote en tant qu'ensemble », autrement dit « la diversité agricole » (Bookiel et Padoch 1994 ;8), est essentielle pour permettre aux petits exploitants de faire face aux changements à la fois positifs et négatifs dans leur milieu social et naturel.

Les chercheurs ont longtemps étudiés l'adaptation technologiques et l'innovation en termes de systèmes de production au sein des sociétés des petits exploitants comme une réaction aux changements. Par exemple, il est possible que l'œuvre la plus influente dans le domaine des quatre dernières décennies soit « les conditions de la croissance agricole » de Boserup, qui a établi un lien entre l'intensification de l'utilisation des terres et la croissance des populations (Brookfield, 2001). Cependant, avec quelques exceptions remarquables (Richards, 1993; Scoones et Thompson, 1994), la plupart des chercheurs considèrent les changements technologiques chez les petits exploitants comme étant, des changements évolutifs ou, à défaut, brusque abandon forcé, la dégradation, ou l'effondrement du système. Nous nous concentrons plutôt sur le changement et l'adaptation qui ont été et doivent être une constante dans la production faite par les petits agriculteurs s'ils espèrent persister, et sur l'agrodiversité qui a été l'outil essentiel de l'agriculteur qui fait preuve d'adaptation.

De riches données sur l'agrodiversité recueillies pendant plusieurs années par des chercheurs PLEC montrent que les agriculteurs ne cessent d'innover et d'adapter les technologies afin de profiter des possibilités qui s'offrent à eux et de résoudre les problèmes (voir Brookfield et al. 2002, 2003 pour un échantillon plus large de ces données). Nous présenterons plusieurs exemples permettant d'illustrer la grande variété des systèmes utilisés et des difficultés à surmonter. Par exemple, les agriculteurs en Amazonie brésilienne ont mis au point un système agro-forestier appelé « *banana Emcapoeirada* » qui permet de produire des bananes en dépit de l'infestation par une maladie bactérienne qui détruit les bananes plantées dans les systèmes de plantation à monoculture (Pinedo-Vasquez et al. 2002b). Une augmentation de la demande du marché pour les légumes sauvages et les changements des politiques foncières ont incité les agriculteurs pauvres dans le nord de la Thaïlande à développer un système d'agricul-



ture de bord (Rerkasem et al. 2002). Une baisse des prix du café au Kenya a poussé les producteurs à développer un système de culture qui permet de cultiver plusieurs espèces et variétés de cultures annuelles et semi pérennes, tout en préservant une culture de café de taille convenable (kang'ara et al. 2003). L'érosion des rives, qui représente une catastrophe potentielle, a été gérée par les agriculteurs qui ont développé une « habitude de changement » afin de produire une récolte et gérer les cadres dynamiques, économiques et biophysiques (Pinedo- Vasquez et al. 2002a).

## La diversité agricole et la variation des réactions des agriculteurs face aux changements

Il y a deux décennies environ, les feux de brousse durant une année El Niño, ont gravement endommagé le cacao ainsi que d'autres espèces plantées dans les domaines des petits agriculteurs ghanéens. Cet évènement a eu lieu dans un contexte économique où le cacao devenait déjà une culture peu rentable : le prix des fèves de cacao était faible, et la plupart des agriculteurs ghanéens faisaient face à une transition rapide ayant commencé par un boom pour arriver à une période de récession de l'économie du cacao. Ils ont constaté que la majorité des agriculteurs ont réussi à préserver la diversité nécessaire au changement de leur système de production en rotations comprenant le maïs et le manioc (Gyasi et al. 2003). De grandes étendues de zones rurales au Ghana se sont transformées d'un paysage dominé par les plantations de cacao en une mosaïque de petites fermes où une grande diversité de plantes a été cultivée. Dans ce milieu de production, les agriculteurs ont continué à introduire de nouveaux produits, à savoir les poulets et même les escargots. Une grande variété d'ignames a été réintroduite, cette dernière avait presque disparu suite à l'essor de la production de cacao (encadré 14.1).

Le passage de la monoculture à la diversité agricole effectué par les agriculteurs ghanéens, s'est avéré important sur le plan économique pour plusieurs d'entre eux lorsque les prix des fèves de cacao ont chuté et lorsque les récoltes de cacao ont été ravagées par les incendies lors de l'année El Niño (Gyasi et Uitto 1997). Cependant, le paysage de production diverse qui en a résulté avait d'autres fonctions importantes. Il a permis aux agriculteurs de réduire les risques d'incendies et a rétabli et maintenu une couverture végétale qui, à son tour, a restauré une variété de services des écosystèmes qui avaient été gravement endommagés par l'extension des plantations de cacao. Les changements, au niveau des produits et des systèmes de pro-

### Encadré 14.1 Les systèmes de rotation de cultures au Ghana

Les systèmes de rotation de cultures permettent aux agriculteurs de planter davantage d'espèces et de variétés de cultures dans leurs domaines et dans les champs agro-forestiers (Encadré 14.1). Actuellement, les agriculteurs sont en train de planter et de conserver une moyenne de 13 variétés de manioc et 140 cultivars d'ignames dans leurs exploitations. Les systèmes complexes de rota-

TABEAU DE L'ENCADRÉ 14.1. Les systèmes de rotation de cultures et leurs avantages

Pratiques ou Régime	Caractéristiques principales et avantages
Rotation des terres en jachère en utilisant le feu pour défricher la terre.	Un moyen de régénérer la fertilité des sols et de préserver les plantes dans la nature.
Travail minimal du sol, et utilisation du feu contrôlée afin de supprimer la végétation.	Érosion limitée du sol et du biote.
Cultures mixtes, rotation des cultures et polyculture.	Maximise l'usage des nutriments du sol, maintient la biodiversité des cultures, limite le risque de la perte complète de la récolte, améliore la diversité des variétés d'aliments et de la nutrition, favorise la régénération des sols.
Agroforesterie mixte : cultiver des plantes entre les arbres laissés sur place.	Préserve les arbres, régénère la fertilité des sols par la biomasse des déchets. Certains arbres renforcent la capacité productive du sol par la fixation de l'azote.
<i>Oprowka</i> , pratique agricole qui n'a pas recours au feu et qui implique le paillage en laissant la végétation éliminée se décomposer sur place.	Préserve la fertilité du sol en conservant et en stimulant les microbes, et en augmentant l'humus à travers la végétation en décomposition ; conserve les propagules des plantes, y compris ceux dans le sol, à l'abri du feu.
Usage des ordures ménagères et du fumier se trouvant dans les jardins familiaux.	Assure la durabilité de la productivité du sol.

Encadré 14.1, suite à la page suivante

Encadré 14.1, suite

Prácticas o Régimen	Principales Características y Ventajas
Usage du Nyabatso ( <i>Neubouardia laevis</i> ) comme piquet vivant pour soutenir l'igname.	Le système d'enracinement essentiellement vertical de nyabatso favorise l'expansion des tubercules d'ignames, et la canopée fournit de l'ombre, des paillis de feuilles mortes et l'humus. Le nyabatso serait capable aussi de fixer l'azote.
Récolte des cultures à roulement.	Assure une disponibilité à long terme de la nourriture.
Stockage des produits, notamment des espèces d'ignames, dans le sol pour de futures récoltes.	Améliore la sécurité alimentaire et sécurise les stocks de semences.
Préservation de la forêt dans son jardin.	Préserve les espèces forestières, source immédiate de plantes médicinales, favorise l'apiculture, l'élevage des escargots et les cultures d'ombres comme l'igname.

Source: Gyasi et al. (2003).

tion permettent aussi aux agriculteurs d'intercaler plusieurs variétés de niébé qui fixe l'azote, de maïs, de piments, de légumes et de légumineuses, avec des espèces de fruits telles que la mangue, l'avocat, les agrumes, la noix de coco et le caïmite (*Chrysophyllum albidum*).

duction utilisés en tant que stratégie permettant de surmonter la perte des marchés de cultures de rente et des produits forestiers subie par les communautés Hmong dans les montagnes de la Thaïlande, est un exemple de plus illustrant le recours des agriculteurs à la diversité agricole pour tirer profit de ces changements. Les agriculteurs Hmong plantent des choux à commercialiser en utilisant un système complexe de rotation de cultures (Rerkasem et al. 2002). La fonction essentielle d'un tel système de rotation permet aux agriculteurs Hmong de maintenir un niveau élevé de biodiversité agricole en réorganisant leurs cultures à l'échelle spatio-temporelle, afin d'optimiser la production et l'efficacité du travail et de minimiser les effets néfastes des fertilisants et des pesticides dans leurs champs et dans les environnements qui les entourent. La multitude des produits des systèmes

de rotation permet aux agriculteurs de faire face aux variations des prix de choux et de réaliser des bénéfices même en cas de baisse de marchés (Rerkasem et al. 2002). L'identification et la documentation des variations touchant la manière des petits exploitants à faire face aux changements touchant le PLEC, ont généré une riche variété de technologies et de pratiques de production, de gestion et de conservation des cultures, ainsi que d'autres formes de diversité biologique dans une ferme, au sein d'un ménage ou encore au niveau du paysage. Nous avons constaté que malgré les différences importantes caractérisant les réactions d'ordre technologique des petits agriculteurs face aux changements, celles-ci ont tendance à être remarquablement différentes des solutions proposées par les experts.

Un système à multicouches et à usages multiples développé par les petits agriculteurs en Chine afin de reboiser les pentes ainsi que d'autres zones déboisées (encadré 14.2) représente un exemple qui illustre ce contraste (Guo et al. 2003).

Les petits exploitants dans le nord-ouest de la Chine participent à des programmes de reboisement approuvés par l'état. Ces programmes encouragent la plantation de deux espèces à croissance rapide qui apportent peu d'avantages aux agriculteurs. Les agriculteurs ont plutôt introduit plusieurs espèces d'arbres indigènes dans le cadre d'un système à multicouches et à usages multiples. L'ajout d'espèces d'arbres indigènes a d'abord été considéré bizarre et inhabituel, étant donné que la rotation des récoltes dure trois fois plus que celle des espèces recommandées par les spécialistes forestiers. Le travail sur le terrain a permis aux chercheurs du PLEC de constater que les agriculteurs qui plantent les espèces indigènes ne sont pas obligés d'attendre la fin de la rotation pour en tirer les avantages (Dao et al. 2001). Les espèces indigènes créent des habitats pour les insectes ainsi que pour les herbacées qui favorisent l'apparition des champignons et des légumes sauvages et même l'élevage des poulets. En revanche, les zones qui ont été reboisées avec les espèces recommandées par les spécialistes forestiers seulement, ne comprennent pas assez d'espèces d'insectes et ne fournissent pas d'habitat favorable à l'apparition des champignons et des légumes sauvages. Cet exemple de la Chine représente l'un des nombreux cas documentés par les membres du PLEC qui ont observé et sauvé des technologies localement développées afin de faire face aux changements imposés. La diffusion des techniques utilisées par les agriculteurs chinois pour reboiser leurs terres avec des espèces autochtones a clairement facilité l'introduction d'autres agriculteurs aux programmes de reboisement. Ce cas illustre notre affirmation selon laquelle, la concentration sur les pratiques développées par les agriculteurs n'est pas une approche retardée et

#### Encadré 14.2 Systèmes de reboisement à multicouches et à usages multiples au Baihualing, Baoshan en Chine

Le système de reboisement à multicouches et à usages multiples élaboré par les agriculteurs chinois représente une amélioration de leur systèmes agro-forestiers traditionnels. Certaines des espèces d'arbres les plus répandues et qui sont plantées ou protégées sont les suivantes:

- *Phoebe puwenensis*: une espèce de bois à croissance rapide et à régénération naturelle.
- *Alnus nepalensis*: une espèce souvent cultivée dans les champs agro-forestiers. Elle fournit une couverture nécessaire à la régénération des espèces d'arbres dans les parcelles reboisées.
- *Toona sianensis*: une espèce de bois et des espèces d'arbres sauvages produisant des légumes.
- *Toona ciliata*: une espèce de bois de feuillus à croissance lente.
- *Cunninghamia lanceolata*: un bois et une espèce de bois à brûler.
- *Punica Granatu*: un bois et une espèce de bois à brûler.
- *Pinus armandii*: une espèce de bois à croissance rapide.
- *Lindera communis*: une espèce de bois à croissance rapide.
- *Trachycarpus fortune*: un arbre qui produit des fibres pour le tissage et une fleur comestible.
- *Crateva unilocularis*: une espèce de bois à croissance rapide produisant une fleur comestible.
- *Paris sp.*: une espèce de bois utilisée en médecine.

Une fois ces espèces établies, les agriculteurs enrichissent les domaines en plantant des noix, des châtaignes, des variétés de poire ainsi que quelques espèces de plantes médicinales telles que : *Dendrobium candidum*, une espèce d'orchidée médicinales. Au cours du processus d'enrichissement de leurs forêts, ils créent de petits amas (1.5 × 3m de long généralement) où ils plantent et protègent les légumes sauvages. De plus, les branches des espèces de bois sont stockées à la base des plus grands arbres afin de favoriser la poussée des champignons. Les parcelles reboisées exploitées grâce au système de multicouches à usage multiple, comprennent 73 espèces, dont 52 (soit 71%) sont économiquement importantes.

Sources: Dao et al. (2001, 2003).

ne se limite pas aux pratiques traditionnelles. En effet, plusieurs paysans pauvres sont dynamiques et prospectifs.

Nous avons constaté que les agriculteurs pauvres ne cessent de créer et de fournir à la société de nouvelles technologies avantageuses à court et à long terme, sans pour autant radicalement affecter les processus écologiques importants, comme c'est le cas avec les systèmes de production

modernes. En conservant les segments de végétation développés sur différents stades et interconnectés avec des champs d'agriculture, les agriculteurs pauvres ont souvent tendance à maintenir les services importants de l'écosystème et à préserver les sols, l'eau et la biodiversité.

Ces systèmes développés à l'échelle locale offrent aussi des solutions prêtes, accessibles et pratiques face à des problèmes pouvant être dévastateurs tels que les maladies et les changements rapides. Deux exemples tirés des travaux du PLEC en Amazonie, illustrent la manière adoptée par les agriculteurs pour profiter de la diversité agricole et de leurs connaissances concernant les fonctions et les services de l'écosystème, afin de faire face aux catastrophes imminentes.

Plusieurs villages dans la plaine inondable de l'estuaire de l'Amazone étaient les exportateurs de bananes les plus importants jusqu'à une période récente. Les agriculteurs de la région ont non seulement fournis des bananes aux marchés urbains de l'état d'Amapa, mais ont aussi exporté vers Belém, une ville amazonienne très importante. Cependant, la production des bananes dans la région a été complètement anéantie, au cours des dernières, par la maladie de Mokko localement appelée « *febre de banana* ».

La maladie, courante dans de nombreux domaines de production de bananes, peut être contrôlée par une campagne concertée et très coûteuse, qui sert à détruire les plantes infectées, une désinfection répétée de tous les outils de travail et une inspection permanente de toutes les plantations (Stiver et Simmonds 1987). Ces mesures de contrôle ne sont pas viables sur le plan économique pour les producteurs indigènes de bananes. Les villageois indigènes ou les *ribeirinhos*, ont développé un système agro-forestier, localement connu sous le nom du système *banana emcapoeirada*, à l'aide duquel les agriculteurs gèrent la maladie même s'ils ne l'éliminent pas.

Le système agro-forestier "*emcapoeirada*" représente une nouvelle adaptation pour un système qui combine à la fois les techniques agro-forestières et les pratiques de gestion des forêts. Plusieurs discussions portant sur systèmes agro-forestiers amazoniens (y compris la manière des amazoniens à adapter les moyens traditionnels à des besoins et opportunités modernes) sont disponibles (Padoch et al. 1985, Padoch et De Jong 1987, 1995, Penevan et Padoch 1988, Irvine 1989, Posey 1992). Cependant, ces études ne permettent pas d'examiner les systèmes agro-forestiers en tant que ressources qui contrôlent les maladies des plantes comme la « *febre de banana* ».

En Amapa, les agriculteurs cultivent actuellement des bananes et encouragent la régénération naturelle et la croissance du socoraca et de piri, deux espèces sauvages autochtones de la famille des Musaceae. Les

**Tableau 14.1.** Hausse du rendement et de la variété de bananes utilisée dans le système agroforestier banana emcapoeirada\*.

Année	Rendement	Les variétés de bananes plantées
1997	63	3 (variétés locales qui résistent à l'ombre)
1998	165	3 (variétés locales qui résistent à l'ombre)
1999	247	5 ((3 locales et 2 ramenées de la région de Santarem)
2000	284	6 (3 locales, 2 ramenées de la région de Santarem et 1 d'Obidos)
2001	332	9 (3 locales, 2 ramenées de la région de Santarem, 1 d'Obidos et 3 Embrapa)
2002	378	9 (3 locales, 2 ramenées de la région de Santarem, 1 d'Obidos et 3 Embrapa)

\*Le système de production des bananes, connue localement sous le nom de banana emcapoeirada est parallèlement utilisé pour la gestion des espèces de bois.

villageois affirment que ces deux espèces (*brigar*, en termes familiers) avec les bananes. Ils servent plutôt à protéger les plantations de bananes de la dispersion de la maladie. En dehors de ces deux espèces, les plantations de *banana emcapoeirada* comprennent un grand nombre d'autres plantes et disposent d'une apparence ressemblante à celle des forêts. Depuis l'adoption de ce système, le rendement des bananes par hectare ont augmenté de 500% (tableau 14.1).

De l'autre extrémité du fleuve Amazone, le secteur Muymuy fait partie de la pleine inondable au Pérou (Kalliola et al 1993). La région comprend de paysages hétérogènes comportant une grande diversité de regroupement humains, de formations terrestres, d'eau, et de couverture végétale. Sur la base d'un examen effectué sur trois ensembles d'images diffusées par Landsat, des changements majeurs ont eu lieu de 1987 jusqu'en 2000 dans la direction de la rivière et dans la localisation des caractéristiques structurelles (Pinedo Vasques et al 2002a).

Durant cette période, un nouveau lac a été formé, un canal secondaire a été sédimenté, et le Fleuve d'Amazone a changé de cours d'une manière significative, réduisant Padre, une grande île peuplée. Deux des cinq villages situés sur l'île se sont déplacés à l'autre côté du fleuve, et deux autres villages se sont formés. Beaucoup d'agriculteurs ont complètement perdu

leurs champs, et les changements de la région ainsi que des reliefs et des ruisseaux ont engendré plusieurs autres changements économiques.

Ceci a attribué des changements au niveau des populations de poisson et a augmenté les barres de limon disponibles pendant les saisons sèches et les grandes levées. Vis-à-vis de ces changements extrêmes, les villageois ont réagi non seulement en déplaçant des villages, mais aussi en diversifiant leur vaste répertoire agricole. Ils ont planté du riz ainsi qu'une multitude d'autres cultures annuelles dans les lacs asséchés et sur l'étendue des digues faibles. Ils ont aussi utilisé les hautes digues émergentes pour planter des arbres fruitiers ainsi que d'autres cultures agro-forestières. La richesse de la biodiversité agricole (par exemple, 18 variétés d'haricots pouvant être plantées dans plusieurs conditions de croissance) et des technologies (qui aurait au moins 12 systèmes agricoles différents [Padoch et Jong, 1989]) disponible à l'exploitation de plusieurs terrains représente la ressource la plus importante des villageois dans cet environnement dynamique.

En plus des changements qui affectent l'agriculture, il existe un courant puissant qui élimine la végétation le long des nouveaux ruisseaux, formant un nombre de petits canaux qui facilitent l'accès aux ressources forestières à l'intérieur de la grande île. La facilitation d'accès à ce domaine a conduit à l'augmentation de l'extraction de catahua (*hura capitans*) et d'autres espèces. Cela incite les villageois à contrôler l'accès aux ressources et l'extraction.

A titre d'exemple; les règles communautaires ont été mises en place pour interdire les étrangers d'extraire le bois du territoire de la communauté, et les résidents ont limité leurs extractions à quatre arbres adultes (diamètre à hauteur supérieure à 55cm) par an. De tels changements illustrent la manière dont les *riberenos*, comme les habitants du fleuve d'Amazonie sont connus au Pérou, réagissent aux changements d'une manière efficace non seulement en diversifiant les techniques d'exploitation, mais aussi en transformant les règles sociales de manière à s'adapter aux nouvelles opportunités d'exploitation.

## Appréciation du changement et de l'hybridité

Il existe plusieurs raisons pour lesquelles il est difficile aux chercheurs et aux techniciens de valoriser les systèmes de production des agriculteurs pauvres même lorsqu'ils sont rentables et riches en terme de biodiversité. Un problème fréquent est que plusieurs technologies développées par les agriculteurs dans les tropiques confondent les catégories et les concepts



qui sont familiers avec ceux qui étudient, développent et répandent les innovations agricoles. Même quelques termes communs utilisés pour la description de la manière dont les agriculteurs organisent leurs cultures (exp; monoculture, polycultures, ou cultures intercalaires) révèlent peu de choses sur la diversité au sein des fermes de plusieurs petits exploitants (Scoones et Thompson 1994). Les visions sur les réactions locales développées à l'égard des changements sont difficiles à obtenir sans l'observation d'une diversité technique des tâches qui semblent classiques et on site parmi elles : la compensation, le binage, le labour, les semis, le désherbage, la protection et la mise en jachère des champs (Agrwal, 1997). Ces catégories d'activités agricoles peuvent cacher autant qu'elles ne révèlent.

Plusieurs systèmes ayant été à la fois utilisés par les petits exploitants et promus par le PLEC semblaient être invisibles ou incompréhensibles aux yeux des experts en agriculture et ce, pour plusieurs raisons. En effet, la diversité agricole peut être ambiguë autant sur le plan visuel que sur le plan conceptuel. Les systèmes biologiquement divers sont difficiles à comprendre, notamment pour ceux qui sont formés sur la base de l'ordre, de la simplicité et de l'uniformité dans les entreprises agricoles. Plusieurs des systèmes de gestion favorisés par le PLEC ont été, à la base, assez difficiles pour être reconnus en tant que systèmes de gestion. Le dynamisme peut également être mal interprété. Parmi le personnel de développement qui se préoccupe de l'environnement et qui se focalise sur les intérêts engendrés par la production durable, le dynamisme peut facilement être confondu avec la dégradation. En outre, les technologies utilisées par les petits exploitants combinent régulièrement des pièces locales et des pièces empruntées, afin de les attribuer à des ensembles hybrides inattendus. Ces technologies de production sont donc souvent ignorées ou dénigrées non seulement par les défenseurs des autochtones et les indigènes, mais aussi par ceux qui défendent les technologies modernes. Naturellement, la combinaison entre nouveaux et anciens, locaux et étrangers caractérise toutes les connaissances et toutes les pratiques de gestion des ressources. Dans notre monde de «paquets de production» et d'idéologies modernistes (et conversationnistes). En revanche, de tels systèmes manifestement mélangés, sont parfois critiqués voir même invisibles. Ces technologies continuent à refléter des connaissances profondes et localement développées concernant des sols spécifiques, les cours d'eau, les climats, sans oublier la biodiversité et la gestion des processus écologiques (encadré 14.3). Par contre, ces technologies ont été mises à jour et hybridées par des connaissances et des pratiques que les agriculteurs ont acquis à l'extérieur de leurs villages (Fairhead 1993).

### Encadré 14.3 Composantes de l'écosystème en tant qu'instruments des pratiques culturelles pour la conservation *in situ* de l'agrobiodiversité agricole

L'objectif de cette étude était de comprendre l'influence des composantes de l'écosystème, sur les facteurs socioculturels qui affectent la prise de décision des agriculteurs, par rapport à la gestion de leurs ressources phytogénétiques. En effet, six espèces cultivées ont fait l'objet d'une étude : le sorgho (*Sorghum bicolor*), le mil (*Pennisetum glaucum*), l'arachide (*Arachis hypogaea*), le niébé (*Vigna unguiculata*), le gombo (*Abelmoschus esculentus*) et des pommes de terres frafra ou fabirama (*Solenostemon rotundifolius*).

L'étude a été réalisée dans trois zones agroécologiques différentes du Burkina Faso : aunord, (moins de 500 mm de précipitations annuelles, le village d'Ouahigouya), au centre nord (de moins de 400mm à moins de 600mm de précipitations annuelles, le village de Tougouri) et au sud est (plus de 1000 mm, village de Thiougou).

Une équipe multidisciplinaire a administré des questionnaires auprès d'agriculteurs sur trois sites différents. Un site dans chaque zone agroécologique a été choisi selon les critères suivants : l'importance de l'agriculture pour les populations indigènes, le degré d'érosion génétique en cours, le rôle des espèces étudiées dans la vie des populations indigènes, l'impact de l'environnement sur la préservation de la biodiversité agricole et l'importance de l'interdépendance des phénomènes sociologiques avec le développement de l'agriculture. Les données recueillies sur les trois sites provenaient des observations des agriculteurs concernant les plantes (phénologie), le comportement des animaux (éthologies), le mouvement des étoiles, et les changements atmosphériques relatifs à leurs prédictions sur la nature des saisons pluvieuses et agricoles à venir. Les agriculteurs ont considéré deux groupes de signes des saisons à venir : les différents stades de développement des plantes et les signes relatifs au comportement des animaux, à savoir l'apparition ou la durée du chant de certains oiseaux, leur manière de construire un nid et sa position, le déplacement des reptiles. le mouvement et les cris des batraciens (tableau encadré 14.3). Ces signes servent à prédire les saisons pluvieuses à venir. Le groupe suivant le plus utilisé concerne le mouvement de certaines étoiles comme « la petite ours », la direction des vents, la consultation des calendriers lunaires traditionnels, et la prévision de la personne habituellement responsable (appelée Tengsoba) du groupe éthique des gnignonsés.

Une bonne compréhension du rôle des composants de l'écosystème, en tant que base de la prévision, est un élément vital pour les agriculteurs burkinabés. Les écosystèmes agricoles étant très variables, les agriculteurs sont conscients de la nécessité de disposer d'une diversité et de la maintenir en fonction de leur interprétation des signes de la nature, grâce auxquels ils recommandent les variétés à semer par la suite, choisissent les méthodes de culture à utiliser, déterminent les dates de semis et arrivent à prévoir si les récoltes vont être bonnes ou mauvaises. Ces pratiques jouent un rôle important dans le contrôle de l'environnement agroécologique à travers les connaissances portant sur les

TABLEAU ENCADRÉ 14.3. Signes environnementaux utilisés par les agriculteurs pour prévoir les saisons pluvieuses au Ghana.

Plantes	Animaux	Les étoiles et le climat	Les rites
Bonne fleuraison du kapokier ( <i>Ceiba pentandra</i> ).	Chant prolongé des <i>frouko</i> et des <i>falaogo</i> .	Les premières pluies d'automne tombent tard la nuit.	Selon les prévisions des « faiseurs de pluie ».
Bonne apparition des graines.	De son nid, la cigogne <i>wadli</i> a la tête dirigée vers l'ouest. Le <i>taba</i> construit des nids sur la cime des arbres. Une seule cigogne vole autour du village.	Le vent souffle violemment du sud vers le nord.	Les prévisions des propriétaires des terres.
Fructification uniforme de <i>Xemenia americana</i> , <i>Ficus platyphylla</i> , <i>Diospiros mespiliformis</i> , <i>Vatalaria paradoxa</i> , <i>Scerocary birrea</i> , <i>Heeria insignis</i> (lebnoré) et <i>Lannea microcarpa</i> .	Apparition du <i>taba</i> . Le crapaud buffle regarde vers l'ouest.	A partir de décembre, la saison froide débute et dure 3 mois.	
Fortes pluies le jour du Bèga (foire traditionnelle).	Bonne chasse des oiseaux sauvages de guinée et des varans. Les chenilles rouges arrivent au village.	Apparition des mirages d'eau pendant la journée.	
Bonne feuillaison du rônier (palmier de Borassus, <i>Borassus aethiopum</i> Mart).	Abondance de <i>womonwondo</i> . Les termites commencent à construire de nombreuses termitières.	Les premières pluies sont réparties sur toute la superficie du pays. Les flux d'eau se dirigent de l'ouest vers l'est (dans le village de Koungny).	
Signes qui indiquent l'arrivée d'une bonne saison pluvieuse	Les grillons creusent, puis ferment leurs trous, puis les bouchent de janvier à février		
	L'apparition de trois différents types de <i>yantyaaki</i>		

Tableau encadré 14.3, suite

Plantes	Animaux	Les étoiles et le climat	Les rites
Faible pousse des plantes de jardins commercialisées..	De son nid, le Waali dirige son regard vers l'est.	La saison froide (l'hiver) dure moins de 3 mois.	Prévisions basées sur les « faiseurs de pluie ».
Flétrissement des premières feuilles du rônier et de la <i>Heeria insignis</i> (lebnoré).	Les <i>falaogo</i> chantent moins.	Le vent souffle dans toutes les directions (« folie des vents »).	Consultation des calendriers lunaires.
Production faible et non uniforme du karité, du raisinier, du / des <i>Kuma</i> (s) et du nobga ( <i>Sclerocarya birrea</i> ).	Les oiseaux ont orienté leurs nids vers l'ouest.	Le vent de mousson souffle de l'est vers l'ouest.	
Bonne fructification du tamarin et des figuiers tout en gardant leur feuilles.	Présence de plusieurs cigognes dans le village.	Le flux de l'eau de l'inondation de la plaine se dirige vers l'ouest.	
Chute prématurée des fruits de raisiniers et de karité.	La chasse aux perdrix.	Tonnerre excessif accompagnant les premières pluies.	
Deuxième feuillaison tardive du karité.	Les tortues dirigent leur regard vers l'est. Le crapaud buffle regarde vers l'est.	Le début de la saison des pluies s'accompagne d'un vent violent chargé de poussière rouge.	
Floraison faible des kapokiers.	Apparition précoce des criquets. Les grillons ne bouchent pas leurs trous.		
	Les termites se déplacent vers les arbres.		
	Passage répété des Mimimanas.		

*Encadré 14.3, suite*

conditions climatiques, les sols et les facteurs biotiques. Ceci montre que les systèmes autochtones de la gestion environnementale garantissent le maintien de la diversité biologique agricole qui existe. Les agriculteurs ont leurs propres critères de gestion dont l'utilisation varie selon les régions, les groupes ethniques, l'environnement, les cultures et les rites et les activités agricoles. Les méthodes suivantes assurent le maintien de la variabilité génétique des plantes cultivées de manière évolutive, ce qui permet aussi de garantir un flux de gènes entre les cultivars indigènes et leurs parents sauvages. Il est donc vital, pour la conservation des ressources phylogénétiques à la ferme, que les composantes de l'écosystème, telles que les arbres et les animaux, soient également conservées. L'écosystème est donc inséparable de la vie des agriculteurs.

*Source:* Sawadogo et al. (2005).

Les systèmes hybrides introduisent généralement des niveaux de biodiversité plus élevées dans les systèmes de monoculture. Un exemple récemment reconnu implique les systèmes surnommés par les chercheurs du Centre international de la recherche agroforestière en Asie « jungle rubber » « jungle de caoutchouc ». Ces systèmes de production combinent la plantation des arbres à caoutchouc avec la gestion de plusieurs autres espèces dans des domaines qui imitent les forêts naturelles et qui offrent une grande partie des services de l'écosystème fournis par les forêts existantes. La jungle de caoutchouc est probablement le produit des deux modèles les plus communs de la formation des systèmes hybrides qui sont : d'une part l'intégration des connaissances acquises, suite à l'écart salarial réalisé à partir des fermes des petits exploitants, et d'autre part l'adaptation des systèmes de production modernes et les techniques introduites via les agences de développement.

### Réactions aux priorités de préservation

Les petits exploitants ont démontré une capacité à réagir rapidement et d'une manière adéquate aux nouveaux problèmes et aux nouvelles opportunités, qu'ils soient d'ordre environnemental, économique ou politique (Agrwal 1997). Les réactions ont tendance à comprendre la diversification du mix de l'exploitation des ressources, la localisation de leurs activités

économiques, leurs modes de résidence, l'organisation de leur travail et tous les éléments de la biodiversité.

Dans certains domaines où les priorités de conservation de la biodiversité sont sous forme de zones protégées, la biodiversité agricole a aussi aidé les petits exploitants à s'adapter.

La multiplicité des alternatives économiques identifiées et créées par les exploitants indigènes a permis à ces derniers de réagir d'une manière efficace aux changements imposés par les programmes de préservation, à savoir le zonage de leurs territoires, les restrictions sur l'utilisation des ressources, et l'élargissement des populations d'animaux sauvages.

L'importance des systèmes de production des petits exploitants pour la préservation de la biodiversité prend plusieurs formes. Cependant, les tentatives d'interprétation et de compréhension de la valeur de la conservation des technologies des petits agriculteurs ont souvent tendance à les surevaluer ou à trop les simplifier. À titre d'exemple, plusieurs experts fondent leurs conclusions sur la valeur de conservation d'un système de production uniquement au niveau de la diversité des cultures incorporées (Brush 2000 ; Hamlin et Salick 2003). Les données recueillies sur la diversité agricole et les observations du terrain montrent que, dans plusieurs cas, que la valeur de conservation de la diversité agricole ne peut pas être mesurée par un simple compte de culture, notamment parce que celles-ci peuvent changer fréquemment. L'exemple chinois précédemment cité, illustre bien ce point.

Le renforcement des systèmes mis en place par les agriculteurs a une valeur plus élevée que celle proposée par les forêts, non seulement au niveau économique, mais aussi en termes de biodiversité. Le nombre additionnel d'espèces de bois plantées ainsi que l'augmentation indirecte de la biodiversité des plantes associées et des animaux doivent être pris en compte. La complexité va de même lorsque le revenu ou la valeur économique est mesuré dans ses systèmes ; ces valeurs sont souvent à la fois difficiles à mesurer et à identifier avec précision.

La valeur de conservation de la diversité agricole dans les sociétés des petits agriculteurs peut aussi être mesurée à travers la création, le maintien et la gestion des créneaux dans les frontières des domaines, les jachères, les forêts et les ruisseaux. De nombreux systèmes agricoles riches en biodiversité agricole ont été observés et documentés en Chine, en Tanzanie, en au Kenya, et dans d'autres sites du PLEC, où les cultures sont plantées sur les digues et le long des limites des domaines irriguées. L'importance économique et écologique de ces systèmes est appréciée par les communautés indigènes mais reste largement inconnue à l'extérieur.

Dans certains cas, l'importance de ces systèmes de plantation sur les bords a été négligée vu que ces derniers n'ont probablement pas été qualifiés en tant que sources significatives durant les années ou les récoltes étaient faibles. Peut être que, si l'analyse de ses systèmes avait pris en compte leurs valeurs sociales et écologiques en plus de leur valeur économique, leur importance serait tout à fait évidente.

## Conclusion

Nous n'avons illustré que quelques unes des raisons les principales pour lesquelles la focalisation sur le maintien de la biodiversité des cultures des petits exploitants, et non sur leurs produits seulement, a été la priorité de plus de 200 chercheurs impliqués dans les projets du PLEC. Nous nous sommes concentrés sur la diversité autant que sur le dynamisme qui caractérise ces systèmes. Les petits agriculteurs et leurs communautés maintiennent habituellement des productions basées sur des paysages fragmentés où les parcelles de forêts peuvent être aussi importantes que les domaines cultivés en tant que moyen de subsistance et de préservation des cultures et des autres formes de diversité biologique. Nous avons mis l'accent sur le rôle des technologies et des produits divers, dans le maintien des foyers des petits exploitants et leur manière de réagir aux nouveaux problèmes et opportunités d'une manière efficace.

Notre focalisation sur l'importance du découpage des paysages de production, du système d'hybridité et des changements peut apparaître contradictoire par rapport à quelques préoccupations de plusieurs, dans la société de la biodiversité. Bien que nous ne nions pas que la fragmentation de l'écosystème, la production non durable et la destruction des systèmes et des espèces traditionnelles ou autochtones soient en train de causer des problèmes dans quelques contextes, ces concepts ne doivent pas être détournés ou mal compris. Plusieurs des systèmes décrits et promus par les scientifiques du PLEC sont trop modernes pour ceux qui se préoccupent de la préservation culturelle, trop traditionnels pour ceux qui préfèrent la modernisation et trop axés sur la production pour les écologistes. Ces systèmes défient les catégories des scientifiques et échappent à la compréhension des chercheurs. Pourtant, dans leur manque d'ordre, ces systèmes préservent la biodiversité dont l'agriculture moderne dépend encore, répondent aux besoins d'un milliard de personnes, et leur permettent de s'adapter à un environnement en perpétuel changement. Nos politiques

et nos programmes doivent, au moins, éviter de détruire ces ressources de grande importance.

## Remerciements

Nous tenons à remercier Christine Padoch pour ses commentaires et observations critiques. La plupart des informations rapportées et analysées au cours de ce chapitre ont été fournies par nos collègues du PLEC. Nous leurs sommes très reconnaissants et nous espérons avoir bien présenté leur travail. Nous tenons aussi à remercier l'Université des Nations Unies pour leurs supports financiers et administratifs. Le travail sur le terrain a été rendu possible grâce aux fonds provenant du Fond pour l'environnement mondial. Nous voulons aussi remercier les réviseurs et l'éditeur pour leurs précieux commentaires.

## Références

- Agrawal, A. 1997. *Community in Conservation: Beyond Enchantment and Disenchantment*. Gainesville, FL: Conservation & Development Forum.
- Brookfield, H. 2001. *Exploring Agrodiversity*. Nueva York: Columbia University Press.
- Brookfield, H. and C. Padoch. 1994. Appreciating agrodiversity: A look at the dynamism and diversity of indigenous farming practices. *Environment* 36(5):6-11, 37-45.
- Brookfield, H., C. Padoch, H. Parsons and M. Stocking. 2002. *Cultivating Biodiversity: The Understanding, Analysis and Use of Agrodiversity*. London: ITDG Publications.
- Brookfield, H., H. Parson and M. Brookfield. 2003. *Agrodiversity: Learning from Farmers Across the World*. Tokyo: United Nations University Press.
- Brush, S. 2000. *Genes in the Field: On-Farm Conservation of Crop Diversity*. Rome: IPGRI; Ottawa: IDRC; Boca Ratón, FL: Lewis Publishers.
- Dao, Z., X. H. Du, H. Guo, L. Liang and Y. Li. 2001. Promoting sustainable agriculture: The case of Baihualing, Yunnan, China. *PLEC News and Views* 18:34-40.
- Dao, Z., H. Guo, A. Chen and Y. Fu. 2003. China. En H. Brookfield, H. Parson and M. Brookfield, eds., *Agrodiversity: Learning from Farmers Across the World*, 195-211. Tokyo: United Nations University Press.
- Denevan, W. M. and C. Padoch. 1988. Swidden-fallow agroforestry in the Peruvian Amazon. *Advances in Economic Botany* 5.



- Fairhead, J. 1993. Representing knowledge: The “new farmer” in research. In J. Pottier, ed., *Practicing Development: Social Science Perspectives*, 187–204. London: Routledge.
- Feder, G. and G. T. O’Mara. 1981. Farm size and the adoption of green revolution technology. *Economic Development and Cultural Change* 30:59–76.
- Guo, H., Z. Dao, X. H. Du, L. Liang and L. Yingguang. 2003. China. En H. Brookfield, H. Parson and M. Brookfield, eds., *Agrodiversity: Learning from Farmers Across the World*, 195–211. Tokyo: United Nations University Press.
- Gupta, A. 1998. *Postcolonial Developments: Agriculture in the Making of Modern India*. Raleigh, NC: Duke University Press.
- Gyasi, E. A., W. Oduro, L. Enu-Kwesi, G. T. Agyepong and J. S. Nabila. 2003. Ghana sub-cluster final report. In H. Brookfield, H. Parson and M. Brookfield, eds., *Agrodiversity: Learning from Farmers Across the World*, 79–109. Tokyo: United Nations University Press.
- Gyasi, E. A. and J. I. Uitto, eds. 1997. *Environment, Biodiversity and Agricultural Change in West Africa*. Tokyo: United Nations University Press.
- Hamlin, C. C. and J. Salick. 2003. Yanesha agriculture in the Upper Peruvian Amazon: Persistence and change fifteen years down the “road.” *Economic Botany* 57:163–180.
- Irvine, D. 1989. Succession management and resource distribution in an Amazonian rain forest. *Advances in Economic Botany* 7:223–237.
- Kalliola, R., M. Puhakka and W. Danjoy. 1993. *Amazonía Peruana: Vegetación húmeda tropical en el llano subandino*. Jyväskylä, Finlandia: Gummer Press.
- Kang’ara, J. N., E. H. Ngoroi, C. M. Rimui, K. Kaburu and B. Okoba. 2003. Kenya. In H. Brookfield, H. Parson and M. Brookfield, eds., *Agrodiversity: Learning from Farmers Across the World*, 154–168. Tokyo: United Nations University Press.
- Padoch, C., J. Chota Inuma, W. de Jong and J. Unruh. 1985. Amazonian agroforestry: A market-oriented system in Peru. *Agroforestry Systems* 3:47–58.
- Padoch, C. and W. de Jong. 1987. Traditional agroforestry practices of native and ribereño farmers in the lowland Peruvian Amazon. In H. L. Gholz, ed., *Agroforestry: Realities, Possibilities and Potentials*, 179–194. Dordrecht, The Netherlands: Martinus Nijhoff/Dr. W. Junk Publishers.
- Padoch, C. and W. de Jong. 1989. Production and profit in agroforestry: An example from the Peruvian Amazon. In J. Browder, ed., *Fragile Lands of Latin America*, 102–113. Boulder, CO: Westview Press.
- Padoch, C. and W. de Jong. 1995. Subsistence-and market-oriented agroforestry in the Peruvian Amazon. In T. Nishizawa and J. I. Uitto, eds., *The Fragile Tropics of Latin America: Sustainable Management of Changing Environments*, 226–237. New York: United Nations University Press.

- Pinedo-Vásquez, M., J. Barletti Pasqualle, D. Del Castillo Torres and K. Coffey. 2002a. A tradition of change: The dynamic relationship between biodiversity and society in Sector Muyuy, Peru. *Environmental Science & Policy* 5:43–53.
- Pinedo-Vásquez, M., C. Padoch, D. McGrath and T. Ximenes. 2002b. Biodiversity as a product of smallholders' strategies for overcoming changes in their natural and social landscapes. In H. Brookfield, C. Padoch, H. Parsons and M. Stocking, eds., *Cultivating Biodiversity: The Understanding, Analysis and Use of Agrodiversity*, 167–178. London: ITDG Publications.
- Posey, D. 1992. Interpreting and applying the “reality” of indigenous concepts: What is necessary to learn from the natives? In K. Redford and C. Padoch, eds., *Conservation of Neotropical Forests: Working from Traditional Resource Use*, 21–34. Nueva York: Columbia University Press.
- Rerkasem K., N. Yimyam, C. Korsamphan and B. Rerkasem. 2002. Agrodiversity lessons in mountain land management. *Mountain Research and Development* 22:4–9.
- Richards, P. 1993. Cultivation: Knowledge or performance? In M. Hobart, ed., *An Anthropological Critique of Development: The Growth of Ignorance*, 61–78. London: Routledge.
- Sawadogo, M., J. Ouedrago, M. Belem, D. Balma, B. Dossou and D. Jarvis. 2005. Influence of ecosystem components on cultural practices affecting the in situ conservation of agricultural biodiversity. *Plant Genetic Resources Newsletter* 141: 19–25.
- Scoones, I. and J. Thompson. 1994. Knowledge, power and agriculture: Towards a theoretical understanding. In I. Scoones and J. Thompson, eds., *Beyond Farmers First: Rural People's Knowledge, Agriculture Research and Extension Practice*, 16–32. London: Intermediate Technology Publications Ltd.
- Stiver, R. H. y N. W. Simmonds. 1987. *Bananas*. Tropical Agriculture Series. Rome: FAO.

## 15 Biodiversité agricole, régime alimentaire et santé humaine

---

T. JOHNS

La biodiversité végétale est essentielle pour la santé humaine. Les plantes fournissent à la fois des éléments nutritifs et des agents médicinaux, forment des composantes d'écosystèmes solides, et contribuent au bien-être socioculturel. Les valeurs traditionnelles et les conceptions scientifiques s'accordent sur la nécessité de la diversité alimentaire, en particulier celle des fruits et légumes, pour la santé. Face à des changements économiques et environnementaux, le recours croissant à des régimes alimentaires simplifiés et basés sur un nombre limité d'aliments riches en énergie constitue un handicap à un bon état de santé. La connaissance culturelle des propriétés des plantes se dégrade en même temps. La conservation de la biodiversité et la connaissance de son utilisation préservent donc les leçons acquises du passé en matière d'adaptation et fournissent les ressources nécessaires à la santé présente et future.

Les considérations nutritionnelles et sanitaires forment un lien solide entre les impératifs pour assurer le bien-être et la conservation de la biodiversité. En conséquence, une perspective nutritionnelle nous renseigne sur les façons de penser en ce qui concerne les ressources phylogénétiques. Aussi, la nutrition peut occuper une place importante dans le cadre des efforts fournis afin d'assurer leur conservation et leur utilisation. Bien que les liens entre la biodiversité agricole, la diversité alimentaire, et la santé semblent logiques, en principe, les données empiriques sur la validité des approches fondées sur l'alimentation pour la santé s'avèrent nécessaires pour convaincre les décideurs que les relations de travail dans la pratique sont inadéquates. Ces données sont également essentielles pour la mise en œuvre de stratégies qui favorisent la conservation des ressources phylogé-

nétiques en renforçant leur utilisation et leur valeur pour les producteurs et les consommateurs dans les pays en développement. Plus important encore, la recherche empirique et participative sur les liens entre la diversité alimentaire, la santé et la biodiversité, peut servir de base pour la conception de programmes qui permettent aux pays en voie de développement de répondre efficacement aux problèmes actuels et aux changements futurs des systèmes alimentaires, de l'environnement, et des modèles de diagnostic de la maladie .

## Diversité alimentaire et santé

Quelques études épidémiologiques mettent l'accent sur le respect de la sagesse conventionnelle énoncée dans les directives alimentaires concernant les avantages d'une alimentation variée (Johns 2003; Johns et Sthapit 2004). Par exemple, les femmes américaines (âge moyen, 61 ans) ayant consommé un plus grand nombre d'aliments recommandés avaient un risque plus faible de mortalité (Kant et al. 2000). Les femmes qui se positionnent dans le quartile le plus élevé (le score de la variété médiane est de 15) avaient un ratio de mortalité dans une période de 5,5 ans de 0,69 par rapport au quartile le plus bas (score de variété 7). L'association de la diversité alimentaire avec la longévité et les taux réduits de maladies chroniques dégénératives comme les maladies cardiovasculaires, le diabète et le cancer chez les hommes et les femmes a été montré dans des travaux antérieurs de Kant et al. (1995).

Dans une étude italienne, la diversité alimentaire, surtout à travers la consommation des fruits et légumes, a été associée avec une incidence plus faible du cancer de l'estomac (La Vecchia et al. 1997). Cela coïncide avec la relation reconnue des avantages de l'alimentation méditerranéenne dans la réduction des risques de maladies chroniques dégénératives à travers la consommation de fruits et légumes (Trichopoulou et Vasilopoulou 2000). De même, Drewnowski et al. (1996) montrent que, bien que les régimes français soient plus riches en matières grasses que ceux des États-Unis et donc inférieurs en termes d'indices de qualité de l'alimentation, la diversité globale explique probablement leurs avantages reconnus.

Peu de données existent pour soutenir la contribution de la diversité alimentaire à la santé dans les pays en voie de développement (Johns 2003). Cependant, la diversité alimentaire a été liée à une meilleure croissance chez les enfants âgés entre un et trois ans au Kenya (Onyango et al. 1998). Au Mali, Hatløy et al. (1998) ont démontré une forte corrélation entre la

diversité des fruits et légumes avec l'adéquation des éléments nutritifs ainsi que l'ensemble des nutriments spécifiques tels que les vitamines A et C.

On remarque après avoir consulté différentes études, qu'en ce qui concerne la mesure de la diversité, l'insuffisance des indices portant sur le nombre d'aliments consommés individuellement et le nombre d'aliments de qualité complique l'établissement de comparaisons et l'élaboration de conclusions générales. Néanmoins, les données extraites de différentes approches soutiennent considérablement l'hypothèse que la diversité des fruits et des légumes contribue à une bonne nutrition et à une meilleure santé.

## Fonctionnalité des aliments en relation avec la diversité alimentaire

La qualité de l'alimentation qui contribue à une bonne santé à partir d'une alimentation diversifiée peut être attribuée en partie, mais pas exclusivement, à la teneur en éléments nutritifs. La qualité nutritionnelle de l'alimentation ne s'améliore qu'avec la consommation d'un plus grand nombre d'aliments diversifiés (Hatløyet al. 1998; Johns 2003). Cependant, la teneur en vitamines, éléments minéraux, protéines, et énergie ne suffit pas à expliquer les avantages associés aux régimes méditerranéen, Coréen (Kim et al. 2000), ou autres régimes. Divers éléments non nutritifs comme des composés phytochimiques et des fibres, ainsi que la qualité des sources d'énergie, jouent également un rôle important (Trichopoulou et Vasilopoulou 2000).

Ces connaissances scientifiques ont stimulé l'attention sur ce qu'on appelle des aliments fonctionnels (Johns et Romeo 1997; Hasler 1998; Milner 2000), surtout dans les pays développés, où la demande des consommateurs et les initiatives entrepreneuriales suscitent de plus en plus d'intérêt. La licence de FOSHU (Foods of Specific Health Use) débutant au Japon à partir de 1991 (Arai 2000; Arai et al. 2001) et l'acceptation des réclamations de l'Agence fédérale américaine des produits alimentaires et médicamenteux en matière de santé en vertu du « Nutrition Labeling and Education Act » de 1990 ([www.cfsan.fda.gov/~dms/lab-hlth.html](http://www.cfsan.fda.gov/~dms/lab-hlth.html); Ross 2000) fournissent des sanctions et renforcent la reconnaissance de la capacité des aliments pour promouvoir la santé au-delà de leur contribution à la nutrition de base. En parallèle, de nombreux compléments alimentaires et des produits de santé naturels vendus sous forme posologique, tels que les semences d'ail et de raisin, visent les maladies et certaines conditions liées au régime alimentaire (Blumenthal et al. 2000). Ces produits proviennent des aliments conventionnels et des sources à base de végétaux et

**Tableau 15.1.** Exemples d'aliments, de boissons et de condiments fonctionnels d'origine végétale

Végétal	Effets physiologiques	Constituants actifs connus	Références
Melon amer	Hypoglycémique		Marles et Farnsworth (1995)
Bleuets, myrtille	Antioxydants	Polyphénols	Wang et al. (1999)
Chou et autres crucifères	Anticancéreux	Indole-3 carbinol, isothiocyanates	Hasler (1998)
Agrumes	Anticancéreux	Limonoides	Montanari et al. (1997)
Canneberge	Infections des voies urinaires	Proanthocyanidole	Howell et al. (1998)
Fenugrec	hypoglycémique	Précurseurs de Lignan $\alpha$ - acide linoléique	Marles et Farn Sworth (1995)
Graines de lin	Anticancéreux, ostrogénique et hypocholestérolémiant	$\beta$ - glucanes	Hasler (1998), Blumenthal et al. (2000)
Ail	Hypolipémiants antihypertension antibactérien	Thiosulfates	Hasler (1998), Blumenthal et al. (2000)
Avoine	Hypocholestérolémiant	$\beta$ - glucanes	Hasler (1998),
Huile d'olive	Réduction des risques de maladies cardiovasculaires	Acide Oleique, Polyphénols	Visioli and Galli (1998)
Raquette de figuier de barbarie ( <i>Opuntia</i> spp)	Antidiabétique	Fibre Soluble	Trejo-Gonzalez et al. (1996)
Psyllium	Réduction des risques de maladies cardiovasculaires	Fibre Soluble	Hasler et al. (2000)
Rooibos ( <i>Aspalathus linearis</i> )	Antioxydant, Antimutagène	Polyphénols	Standley et al. (2001)

Tableau 15.1, suite à la page suivante

Tableau 15.1, suite

Végétal	Effets physiologiques	Constituants actifs connus	Références
Soja	Réduction des risques de maladies cardiovasculaires, hypocholestérolémiant ostrogénique	Protéine de soja Isoflavones	Hasler (1998)
Thé	Antioxydant	Polyphenols	Mukhtar et Ahmad (2000)
Thym	Antioxydant, bronchospasmodique	Phénols : thymol, carvacrol	Nakatani (1997); Blumenthal et al. (2000)
Tomate	Antioxydant, anticancéreux	Lycopène	Hasler (1998)
Vin et raisin	Antioxydant, réductions des maladies cardiovasculaires	Polyphenols	Hasler (1998)

contribuent ensemble à la profusion grandissante de la diversité végétale ingérée par les consommateurs dans les pays développés.

Beaucoup de ces produits ont une réputation traditionnelle de longue date en termes de consommation dans diverses parties du monde. Des exemples pertinents d'aliments et de boissons comprennent des produits de base comme le soja, le thé, le lin, et les tomates, ainsi que des espèces produites localement telles que *Vaccinium* (airelles, myrtilles et bleuets), la maca (*Lepidium meyenii*) (Johns 1981; Quiros et Aliaga-Cardenas 1997), le rooibos (*Aspalanthus* sp.) (Standley et al. 2001), la feuille du figuier de Barbarie (*Opuntia ficus-indica*), l'huile de poisson, ainsi que d'autres aliments d'origine marine.

Le tableau 15.1 énumère des exemples d'importants aliments fonctionnels commercialisés. Dans de nombreux cas, des activités fonctionnelles peuvent être attribuées à certains composants chimiques spécifiques (Johns et Romeo 1997). Par exemple, de nombreux composés phénoliques (par exemple, les flavonoïdes), les caroténoïdes, et d'autres produits phytochimiques sont des antioxydants ayant un rôle important dans le métabolisme des lipides en tant qu'agents antimutagène.

Ces activités diminuent le risque de maladies cardiovasculaires, de cancer et autres maladies. D'autres agents anticancéreux incluent l'indole et

l'isothiocyanates de légumes crucifères, les phytoestrogènes tels que les iso flavonoïdes et lignanes respectivement du soja et du lin. Les phytostérols, qui sont omniprésents dans les plantes et les thiosulfates (allicine et ses dérivés) des espèces du genre *Allium*, semblent réduire le risque de maladie coronarienne en abaissant les lipides sanguins. En outre, la nature de la composition en lipides des aliments, en particulier la longueur de la chaîne et des acides gras insaturés, peuvent servir de médiateur d'effets de santé. L'acide oléique, un acide gras mono-insaturé de 18 carbones, a une contribution remarquable aux bienfaits de l'huile d'olive. Les longues chaînes d'acides gras polyinsaturés, qui sont préformés dans les aliments d'origine animale, ont un certain nombre d'autres fonctions métaboliques importantes et liées à la santé qui sont influencées par leur métabolisme d'eicosanoïdes (Simopoulos 1994). Les fibres alimentaires, particulièrement celles qui sont solubles, contribuent au rôle des céréales telles que l'avoine et le psyllium ainsi que d'autres fruits et légumes dans la réduction du risque de maladies coronariennes et du cancer. Les fibres solubles et insolubles, les phytochimiques inhibiteurs de la capacité de digestion dans les aliments et la nature des carbohydrates particuliers, améliorent le contrôle de la glycémie et réduisent l'hyperlipidémie chez les patients diabétiques (Johns et Chapman 1995; McIntosh et Miller 2001).

Des milliers de composés phytochimiques comprenant divers types de structures et de composés individuels varient à la fois au sein et entre les végétaux. Peu d'aliments ont été complètement caractérisés pour la catégorie et la fonctionnalité de leurs constituants chimiques, mais quand il y a une augmentation des données, la liste des aliments fonctionnels et des composés associés devrait augmenter aussi. Des recherches ciblées sur les diverses plantes traditionnelles ingérées sous forme de nourriture et de médicaments dans les pays en développement, tels que les légumes-feuilles (Chweya et Eyzaguirre 1999; Trichopoulou et al. 2000), en dehors de l'expansion de la liste des espèces les plus connues dans le tableau 15.1, renforcerait considérablement la compréhension de leur importance dans les systèmes traditionnels de subsistance (Johns et Sthapit 2004).

## Le changement planétaire, l'alimentation et la santé

La rapidité des processus de changement, dans les pays industrialisés et en développement, qui modifient profondément les relations entre les humains et les écosystèmes dans lesquels ils vivent, ont des implications diététiques. Les systèmes de subsistance traditionnels représentent souvent, de manière



précise et unique, les interactions des ressources humaines garantissant la satisfaction des besoins nutritionnels et sanitaires (Johns, 1996; Kuhnlein et Receveur 1996). Les perturbations dans l'intégrité de l'environnement, à leur tour affecte les tendances sanitaires, pathologiques et l'état nutritionnel humains (Johns et Eyzaguirre 2000). L'insuffisance alimentaire, y compris la perte de la diversité, représente un des principaux résultats de changement, car il précipite directement les défis pour la santé humaine. La dégradation de l'alimentation couplée aux contraintes environnementales défie la santé des communautés humaines de façon sans précédent, notamment par la malnutrition, l'immunité et les infections, les toxines environnementales, et le stress oxydatif.

### *Malnutrition*

La surpopulation et les facteurs menant à la destruction de la biodiversité et des écosystèmes qui réduisent la capacité de produire des aliments, conduisent à un apport insuffisant ou à la consommation d'aliments pauvres en éléments nutritifs, pouvant même engendrer un manque en éléments protéino-énergétique.. La malnutrition en micronutriments peut refléter une perturbation des schémas traditionnels de subsistance, résultant de l'accès réduit à l'apport et de certaines ressources biologiques.

Les formes de subsistances traditionnelles allient des dépenses d'énergie de l'approvisionnement alimentaire et d'autres activités avec l'apport d'aliments à faible densité énergétique. En plus de la surconsommation d'énergie, le recours accru aux aliments transformés peuvent affecter la santé en réduisant l'apport de nutriments et des composés fonctionnels qui protègent la santé de manière plus subtile (Johns 1999).

Les données sur les habitudes alimentaires de la plupart des populations sont insuffisantes pour établir des changements dans la diversité de chacun des fruits et légumes au fil du temps. Cependant, les tendances de la consommation nationale dans de nombreux cas sont suffisamment profondes pour souligner les phénomènes des maladies émergentes telles que le diabète et les maladies coronariennes (Popkin et al. 2001b). Les bilans alimentaires de l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) ([apps.fao.org/](http://apps.fao.org/)), pour plusieurs pays d'Afrique orientale au cours des 35 dernières années, particulièrement au Kenya, montrent une forte réduction de la consommation par habitant de légumineuses, avec une augmentation dans la consommation d'énergie à partir d'huiles comestibles (figure 15.1). Compte tenu de la reconnaissance nutritionnelle (fer, fibres, protéines) et fonctionnelle (Milner 2000) des haricots

et des légumineuses, l'impact sur la santé publique émerge en termes de carences en protéines et en micronutriments, comme de maladies et de la surconsommation d'énergie, pourraient être considérables, malgré les effets possibles de médiation de la diversité des fruits et légumes dans l'alimentation. Les moyens classiques permettant de faire face aux carences nutritionnelles, y compris les suppléments diététiques et cliniques et les fortifiants alimentaires transformés (Allen et Gillespie 2001), bien qu'il soient efficaces quand ils sont justifiés et contrôlés, peuvent représenter des solutions incomplètes, dans des circonstances normales, pour les personnes dans les pays en développement et ce pour des raisons économiques, techniques et culturelles. En outre, des réponses simples à des carences en nutriments identifiables, et malgré leur caractère convenable dans l'immédiat, peuvent entraîner de multiples carences en général plus énigmatiques, sans fournir l'équilibre nécessaire pour la santé à long terme.

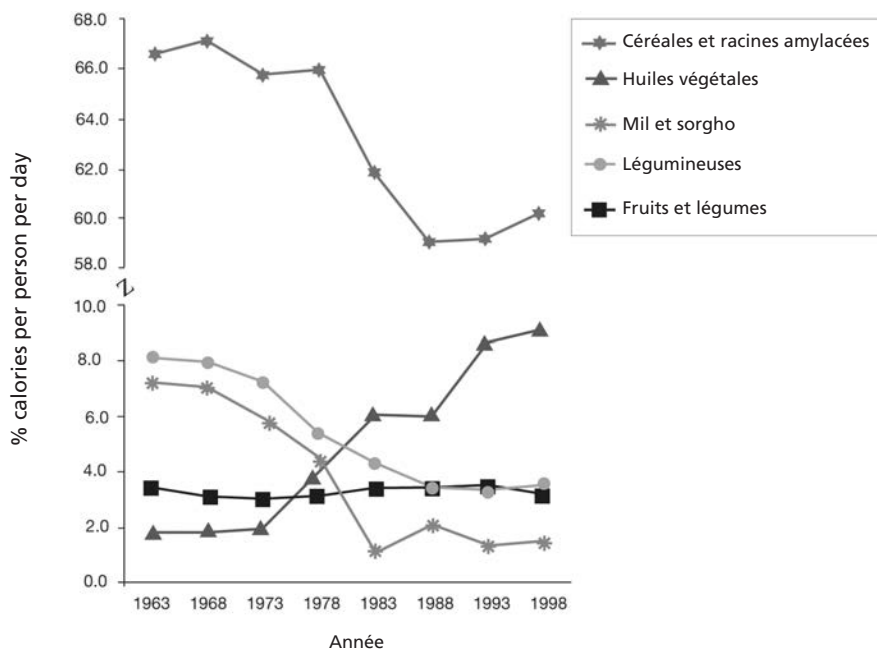


FIGURE 15.1. Comparaison des aliments disponibles pour la consommation au Kenya (1963-1998). Présentation de moyennes triennales (année  $\pm$  1), à partir des bilans alimentaires de la FAO ([apps.fao.org/default.jsp](http://apps.fao.org/default.jsp)).

Les solutions basées sur l'alimentation, en plus d'accroître la disponibilité et l'apport en vitamines A et C, acide folique, fer et autres micronutriments, sont raisonnablement susceptibles d'être soutenues (Allen et Gillespie 2001), surtout si elles sont écologiquement et culturellement appropriées. Toutefois, l'évaluation des programmes d'intervention fondée sur l'alimentation a été insuffisante et devrait être une priorité pour toute tentative visant à utiliser les ressources phytogénétiques pour atteindre cet objectif.

### *Immunité et infections*

Les facteurs des maladies d'origine environnementale compromettent le statut nutritionnel, qui à son tour joue un rôle essentiel dans la gravité et la prévalence des maladies. La perturbation des écosystèmes naturels peuvent entraîner des taux élevés de maladies infectieuses en augmentant l'exposition aux maladies à transmission vectorielle comme le paludisme, la leishmaniose et la dengue (Spielman et James 1990), ou par ses impacts sur les facteurs de densité-connexes tels que l'assainissement direct et de transmission de personne en personne. Les principaux problèmes de santé publique d'importance mondiale comme la tuberculose, les maladies gastro-intestinales, la rougeole et les maladies respiratoires, reflètent toutes l'interaction de facteurs nutritionnels et environnementaux (Platt 1996). La malnutrition peut entraîner des carences en micronutriments comme la vitamine A et en fer qui affectent le système immunitaire et composent ces maladies et d'autres (Tomkins 2000), comme le VIH et le SIDA. L'impact des propriétés potentiellement fonctionnelles (comme immunostimulants et antioxydants) dans les régimes alimentaires et les médicaments traditionnels est beaucoup moins bien compris.

### *Le statut oxydatif*

Le statut oxydatif joue un rôle important dans de nombreux états pathologiques, y compris les maladies chroniques comme le diabète, les maladies cardiovasculaires et le cancer, à la fois comme un facteur causal et une issue défavorable. La contamination de l'environnement par des produits chimiques industriels et agricoles, tels que les métaux lourds, les organochlorés et les radionucléides, compromet l'état nutritionnel (Kuhnlein et Chan 2000) et a des impacts locaux et mondiaux sur l'alimentation et la santé, y compris en tant que contributeurs graves au stress oxydatif. Les antioxydants exogènes, vitamines et non nutritifs notamment, forment

un élément clé de la défense normale contre le stress oxydatif. La réduction de l'apport de la diversité végétale alimentaire a donc encore d'autres conséquences négatives, tandis que l'utilisation accrue offre des solutions positives.

## L'urbanisation et la transition nutritionnelle

Les populations urbaines influencent toujours plus l'environnement, à travers la demande du marché, en s'installant dans les zones naturelles et agricoles, et par la pollution associée à la croissance industrielle et les déchets urbains. Dans cette situation, les citoyens pauvres sont doublement touchés par les carences du régime alimentaire et par les conséquences négatives de la vie dans des conditions insalubres. Tout en sécurisant un plus grand nombre de personnes en termes d'énergie, le haut niveau d'intrants, l'agriculture à haut rendement et le transport à longue distance qui augmentent la disponibilité et l'accessibilité des hydrates de carbone raffinés (blé, riz, sucre) et les huiles comestibles (OMS, 2003) ont également soutenu la transition nutritionnelle (Popkin et al. 2001a, Chopra et al. 2002, Popkin 2002). En outre, la mondialisation de la culture et le commerce favorise une occidentalisation des systèmes et régimes alimentaires des pays en développement. Les populations urbaines dépendent, dans une plus large mesure, des aliments achetés que les populations rurales, tout en ayant moins accès aux diverses nourritures sauvages et cultivées localement. Le choix des aliments achetés est déterminé par leur disponibilité et abordabilité. Ainsi, dans les villes pauvres, il y a probablement une plus grande limite à la diversité alimentaire que dans les systèmes de subsistance traditionnels. Parallèlement, les producteurs ruraux deviennent de plus en plus dépendants des marchés urbains qui assurent leur subsistance, la faible demande des produits qui dépassent les moyens de la majorité des consommateurs réduit d'avantage le volume du marché, rendant la production moins rentable.

### *Transition nutritionnelle*

La consommation d'aliments de densité énergétique très élevée, d'origine végétale et animale, coïncide avec une faible dépense énergétique. La plus grande diversité, y compris les fruits et légumes, généralement à la disposition des populations urbaines, ne se traduit pas nécessairement par leur consommation (Popkin et al. 2001b), en particulier pour les pauvres. Les

aliments transformés et commercialisés grâce aux systèmes actuels du marché, bien que potentiellement variables dans la marque et la formulation, peuvent limiter la diversité biologique, souvent liée à l'utilisation de substituts importés pour des aliments locaux. Cette transition nutritionnelle conduit à l'apparition de nouvelles épidémies de diabète de type 2, maladies cardiovasculaires, obésité, cancer et autres maladies chroniques non transmissibles, même dans les pays pauvres (Popkin et al. 2001a; Chopra et al. 2002; Popkin 2002; OMS 2003). Les conséquences d'un taux élevé d'hydrate de carbone et d'un régime riche en graisses sont encore plus compliquées et aggravées chez les personnes défavorisées dans les pays en développement, où les changements de régime alimentaire en combinaison avec la pauvreté, des taux élevés de maladies infectieuses et la dénutrition créent une double charge (Popkin et al. 2001a; Popkin 2002).

L'énergie des aliments bon marché, combinée avec une faible diversité et une mauvaise qualité nutritionnelle produit une tendance à l'obésité, en particulier des femmes, en combinaison avec la sous-alimentation des ménages (Doak et al. 2000). La malnutrition infantile précoce (programmation fœtale), augmente probablement la sensibilité aux conditions de diabète et autres maladies plus tard dans la vie (Popkin et al. 2001a). Les épidémies de maladies non transmissibles chroniques peuvent s'accélérer d'avantage dans les pays avec des populations vieillissantes. La Stratégie mondiale sur l'alimentation, l'activité physique et la santé (OMS 2003) affirme le rôle central des approches basées sur l'alimentation à la lutte contre les maladies non transmissibles.

Les quelques études alimentaires menées dans des villes africaines ont des tendances semblables à celles qui sont déjà bien connus en Asie et en Amérique latine: la diminution de la dépense énergétique s'accouple avec la dépendance accrue aux aliments frits provenant des féculents comme le manioc, le blé et les pommes de terre et une diminution de la consommation de fruits et légumes frais (Mennen et al. 2000). Pour les segments les plus pauvres et les plus vulnérables de la population, ces produits prennent souvent la forme d'aliments de rue (Van't Riet et al. 2001) de faible valeur nutritive. En conséquence, en Afrique, pour de larges segments de la population, les conditions de la surconsommation d'énergie coexisteront probablement avec les carences classiques en éléments nutritifs et avec des maladies infectieuses (Bourne et al. 2002; Johns 2003).

Le Sénégal montre une augmentation encore plus allarmante de la consommation d'huile comestible qu'au Kenya (Figure 15.1), avec moins de calories disponibles à partir d'huiles et de graisses alimentaires ayant augmenté entre 1963 et 1998 de 8% à 20% (figure 15.2). Bien que l'aug-

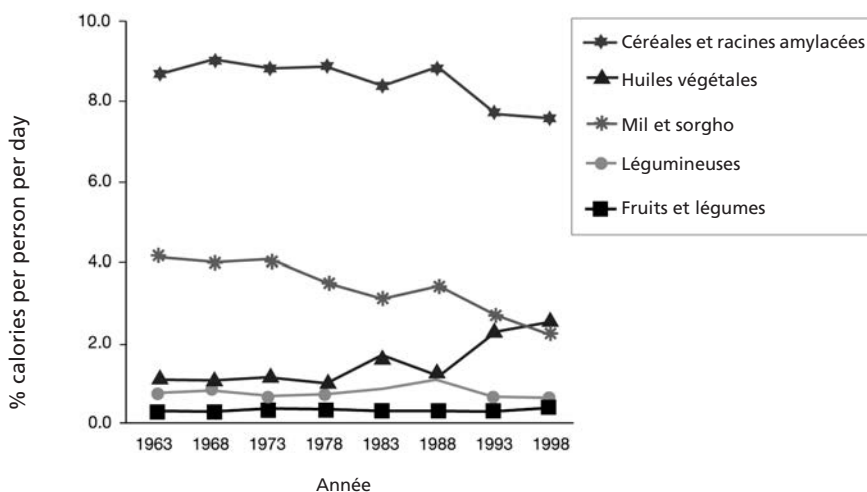


FIGURE 15.2. Comparaison des aliments disponibles pour la consommation au Sénégal (1963-1998). Présentation de moyennes triennales (année  $\pm$  1), à partir des bilans alimentaires de la FAO ([apps.fao.org / default.jsp](http://apps.fao.org/default.jsp)).

mentation des graisses soit bénéfiques dans les régimes pauvres pour augmenter l'énergie et faciliter la disponibilité de la vitamine A, l'augmentation du total des calories disponibles à partir des graisses dans le régime sénégalais de 18% à 29%, en d'autres termes à des niveaux égaux aux recommandations dans les pays développés, suggère qu'un nombre important de personnes consomment beaucoup plus qu'il n'est recommandé. Parallèlement, il semble y avoir une baisse de la moitié (et par une proportion encore plus élevée au Kenya) de la consommation de céréales traditionnelles de mil et de sorgho. Bien que ces aliments soient sous-optimaux dans leur teneur en éléments nutritifs, digestibilité et palatabilité, ils offrent des bénéfices potentiels comme antioxydants (Sripriya et al. 1996) et hypoglycémiques par rapport aux céréales exotiques de blé, le riz et le maïs. Avec l'urbanisation en Afrique sub-saharienne projetée par le «United Nations Human Settlements Program ([www.unchsp.org / CNUEH/english/stats/table2.htm](http://www.unchsp.org/CNUEH/english/stats/table2.htm)) à 4% par an, pour atteindre 50% de la population de la région les 15 prochaines années, des solutions pour prévenir l'impact sur la nutrition et la santé de cette tendance sont extrêmement nécessaires. Dans cette région et ailleurs, une plus grande utilisation de la biodiversité végétale basée sur une évaluation scientifique de ses propriétés, des programmes de soutien culturel, l'éducation alimentaire, les

innovations et la commercialisation fournissent des pistes pour atténuer les répercussions du changement.

## Importance de la diversité des cultures et des espèces négligées et sous-exploitées

### *L'érosion de la diversité des cultures alimentaires*

Bien que plus de 7.000 espèces végétales aient été traditionnellement utilisées pour l'alimentation, trois espèces seulement, à savoir le riz, le blé, et le maïs représentent 60% de l'apport calorique total dans l'alimentation humaine d'aujourd'hui (Eyzaguirre et al. 1999).

L'agriculture mondiale moderne est généralement centrée sur les rendements de quelques cultures. Des années de recherche en matière d'amélioration génétique ont amené à avoir des variétés d'espèces alimentaires distinctes (un petit nombre), à haut rendement, résistantes aux ravageurs et à la sécheresse. L'ampleur de l'effort agricole appliqué aux trois principales cultures a conduit à une baisse de la consommation de céréales plus diversifiées. Il y a eu une baisse dans la variété des espèces de légumes et de fruits consommés. Le changement culturel et celui de l'urbanisation ont expliqué cette tendance (Chweya et Eyzaguirre 1999). En outre, de nombreux aliments traditionnels sont désormais associés à la pauvreté. Le résultat est la perturbation des habitudes alimentaires ainsi que la perte de la diversité alimentaire. On connaît mal l'impact de ces modifications du régime alimentaire sur la nutrition humaine et la santé d'une manière générale.

### *Espèces négligées et sous-utilisées*

Compte tenu des principes pris en considération à propos de la diversité alimentaire, une variété d'aliments contribue sans aucun doute à une alimentation équilibrée au sein des collectivités indigènes (Padulosi 1999). En Afrique, par exemple, les espèces négligées et sous-utilisées (NUSS) connues pour leur importance alimentaire locale incluent les cultures de céréales comme le fonio (*Digitaria exilis*), les racines et tubercules comme l'igname, les légumes secs et graines oléagineuses telles que le voandzou (*Vigna subterranea*) (Heller et al. 1997), les légumes-feuilles (Chweya et Eyzaguirre 1999), et les fruits tropicaux comme les pruniers africains (*Dacryodes edulis*) ou la mangue sauvage (*Irvingia gabonensis*).

Bien que l'importance de la diversité ainsi que la sagesse inhérente aux systèmes traditionnels qui intègrent les espèces négligées et sous-utilisées puissent être appréciées, même sans connaissance des constituants nutritifs spécifiques des différents composants de l'alimentation, les données existantes sur quelques espèces peuvent fournir des indications utiles sur la façon avec laquelle ils contribuent à un meilleur état de santé. Par exemple, le baobab (*Adansonia digitata*), dont les jeunes feuilles et les fruits sont consommés, est d'une importance alimentaire locale dans plusieurs pays africains (Diouf et al. 1999). La pulpe du fruit et ses feuilles séchées qui sont ajoutées aux potages, se préparent en sauces, et sont ajoutées directement à des plats cuisinés (Diouf et al. 1999; Maundu et al. 1999), sont de bonnes sources de calcium (West et al. 1988; Glew et al. 1997; Boukari et al. 2001). En outre, ils associent fer et vitamine C en quantités qui peuvent interagir pour augmenter l'absorption du fer et prévenir ainsi l'anémie. Même sans études approfondies, nous savons que les légumes à feuilles en général apportent une contribution importante en provitamine A, vitamine C, folate, fer, calcium, fibres et en protéines (West et al. 1988; Uiso et Johns, 1996; Chweya et Eyzaguirre 1999), en dépit controverses récentes au sujet de la bio-disponibilité de la provitamine A (Salomonet Bulux 1997; de Pee et al. 1998.).

### *Valeur nutritive des espèces et variétés comestibles traditionnelles*

Bien que la biodiversité sauvage et cultivée dans la plupart des régions en développement soit ignorée dans les enquêtes alimentaires, les analyses de la composition, les bilans alimentaires de la FAO, les politiques et la prise de décision (Johns, 2003), ces ressources constituent sans aucun doute une contribution essentielle à l'adéquation alimentaire (Chweya et Eyzaguirre 1999; Johns 2003; Burlingame 2000; Kuhnlein et Johns, 2003). Les études sur les jardins familiaux ont établi des liens entre la diversité et l'état nutritionnel (Marsh 1998; Johns 2003). Dans certains cas, les contributions des espèces réunies pour donner naissance à des nutriments spécifiques sont clairement démontrés (Ogle et al, 2001a, 2001b.). De plus, de nombreuses espèces autochtones s'avèrent avoir des propriétés nutritionnelles exceptionnelles (Rodriguez-Amaya 1999; Johns 2003).

La documentation de la contribution de la diversité intra-spécifique à la nutrition et la santé a reçu peu d'attention et de peu de ressources analytiques. Les recherches basées sur les agriculteurs démontrent la richesse des connaissances et des croyances traditionnelles concernant la santé, ainsi



que les propriétés culinaires et sensorielles des variétés végétales indigènes (FAO 2001).

Le dépistage des grandes cultures (Fassil et al. 2000; Graham et Rosser 2000; FAO 2001; Johns 2003; Johns et Sthapit 2004), quoique incomplet, met en évidence d'importantes variations dans les propriétés nutritionnelles et fonctionnelles qui a sans aucun doute des répercussions sur l'état nutritionnel des populations et des consommateurs individuels (en plus de son utilité pour les sélectionneurs de semences). La variation du potentiel génétique de la composition des éléments nutritifs dans les espèces négligées et sous-utilisées (cf. Calderon et al. 1991; Chweya et Eyzaguirre 1999; Burlingame 2000) a été aussi moins documenté.

### *La diversité intra-spécifique*

Du point de vue de la conservation et l'utilisation des ressources phyto-génétiques, la variation intra-spécifique dans la composition des éléments nutritifs et non nutritifs des végétaux cultivés est d'un intérêt particulier. Bien que peu de données ont été compilées de manière systématique, les variations dans la composition du  $\beta$ -carotène dans les patates douces (Huang et al. 1999; Ssebuliba et al. 2001.) et des caroténoïdes dans le maïs (Kurilich et Juvik 1999), fournissent des exemples de la fourchette probable de la diversité fonctionnelle qui existe au sein des espèces. Dans les systèmes agro-alimentaires traditionnels, les pommes de terre présentent un cas intrigant. Les Andins maintiennent un grand nombre de génotypes distincts au sien de la ferme et aussi dans l'alimentation, variant surtout dans les pigments caractérisés par des poly-phénols et xanthophylles (lutéine et zéaxanthine), les caroténoïdes (Brown et al. 1993) dont on connaît les propriétés fonctionnelles et donc par extension, leurs implications sur la santé.

### La diversité fonctionnelle dans un contexte mondial de développement

Les concepts traditionnels de l'alimentation comprennent souvent des associations à la santé qui, en général, ne se réfèrent pas à des éléments nutritifs, mais plutôt à des propriétés fonctionnelles spécifiques. Certains concepts traditionnels, comme les toniques ou les renforçateurs peuvent être assimilés en termes nutritionnels. Les autres attributs d'aliments rapportent à des propriétés physiologiques et pharmacologiques et peuvent être soutenus par des recherches scientifiques dans ces domaines. Bon

nombre des avantages du régime alimentaire ne relevant pas des nutriments, peuvent dépasser ceux qui sont attribuables aux éléments nutritifs. Par exemple, les régimes à base de légumes qui apportent une contribution modeste à l'amélioration des conditions de la vitamine A, produisent une augmentation significative des taux sériques de la lutéine (de Pee et al. 1998), un antioxydant pour laquelle des prestations de protection en ce qui concerne les maladies oculaires (Sommerburg et al. 1998; Brown et al. 1999; Gale et al. 2001), ainsi que les maladies cardiovasculaires et le cancer, sont de plus en plus reconnus comme important pour la santé dans les pays développés. De telles connaissances pourraient avoir des conséquences dans les pays tropicaux tels que certains d'Afrique, où les cataractes sont une cause majeure de cécité (Lewallen et Courtright 2001). Bien que les compilations de données sur les xanthophylles (Holden 1999; O'Neill et al. 2001) mettent l'accent sur la richesse des légumes à feuilles en caroténoïdes, l'extension de ces analyses pour les aliments à base de végétaux autochtones est nécessaire. À la lumière de cette importante activité fonctionnelle, l'attention visant uniquement les limites de légumes-feuilles et autres aliments végétaux comme source de provitamine A (Salomon et Bulux 1997; de Pee et al. 1998) semble limitée. Les fonctions potentielles liées à la santé attribuées aux végétaux indigènes alimentaires comprennent leurs propriétés antibiotiques, immunostimulantes, anti-inflammatoires, antigoutte, antioxydantes, glycémiques et hypo-lipidémiques, leur influence sur le système nerveux et la désintoxication. Le travail ethno-botanique et analytique du Centre «Indigenous Peoples 'Nutrition and Environment » et l'Université McGill, parmi de nombreux autres groupes, a abordé un certain nombre de ces avantages pour la santé fonctionnelle des plantes alimentaires traditionnelles. Par exemple, les Luos de l'ouest du Kenya et de la Tanzanie attribuent des actions contre les troubles gastro-intestinaux aux légumes à feuilles, qui sont une composante importante de leur alimentation traditionnelle. Parmi ces derniers, *Solanum nigrum*, en particulier, pour son effet contre le parasite protozoaire *Giardia lamblia* (Johns et al. 1995).

En outre, nous avons fait rapport sur l'activité antioxydante des composés phénoliques (Lindhorst 1998) et l'activité de cholestérol de liaison de saponines (Chapman et al. 1997; Johns et al. 1999.) dans les racines et les écorces que les bergers Massaï ajoutent aux potages gras et au lait, l'activité hypolipidémiques potentiel de gommages mâchées par les Masai (Johns et al. 2000), l'activité antioxydante des traitements des maladies du cœur du Tibet (Owen et Johns 2002), et les remèdes antidiabétiques des peuples autochtones des forêts boréales de l'est de l'Amérique du

Nord (McCune et Johns 2002). Nous avons également identifié l'activité de la xanthine oxydase dans les remèdes traditionnels pour la goutte et les symptômes associés au sein de cette dernière région (Owenet Johns 1999) et dans les additifs alimentaires des Massaïs (résultats non publiés). Parce que ces effets fonctionnels sur la santé humaine peuvent être attribuables à des constituants phytochimiques de ces végétaux, la diversité fonctionnelle ainsi que la composition chimique ajoutent d'autres dimensions de la diversité inhérente à la nourriture et aux plantes médicinales utilisées dans le monde.

Malgré le potentiel de génération de revenus qui vient avec la commercialisation de certains aliments traditionnels et médicaments, la fonctionnalité a généralement une signification différente, pour répondre aux besoins de la majorité des populations des pays en développement, qu'en Europe, Amérique du Nord, ou au Japon. Que ce soit pour la subsistance en milieu rural ou pour l'alimentation des populations urbaines, les espèces culturellement significatives ont une importance biologique et sociale immédiate pour la santé actuelle et future de la population des pays en développement, garantissant ainsi la recherche et l'appui nécessaires aux programmes appropriés.

### Adaptation et optimisation diététiques

L'utilisation rationnelle des ressources alimentaires et l'application des connaissances sur leur valeur peuvent définir un cours pour une adaptation optimale aux changements que rencontrent les populations du monde entier (Johns et Eyzaguirre 2002). Compte tenu de l'ampleur et la nature sans précédent des changements du style de vie, connaissances scientifiques sur les relations entre l'environnement, l'alimentation, la santé et la conséquence néfastes des changements en cours et l'évaluation scientifique des propriétés des aliments d'origine végétale et animale, semblent des outils essentiels pour parvenir à des solutions nouvelles aux problèmes contemporains. Dans ce processus d'adaptation, cependant, les leçons du passé représentées par la richesse des connaissances autochtones des ressources biologiques et des écosystèmes, ainsi que la diversité des ressources elles-mêmes, sont indispensables. Ainsi, la documentation et l'étude de la diversité bioculturelle dans le monde devrait avoir une haute priorité.

## Développement de liens entre la nutrition, la santé et la conservation des ressources phylogénétiques

Nutrition et santé offrent plusieurs points d'entrée possibles dans les programmes et les activités sur les ressources phylogénétiques. De même, les liens entre la nutrition et les ressources phylogénétiques peuvent agir simultanément sur plusieurs fronts. Compte tenu de l'impératif d'assurer un bien-être humain tout en conservant la biodiversité, la conservation et l'utilisation de la biodiversité et des besoins locaux et mondiaux de l'homme offrent des approches distinctes mais complémentaires. Dans le premier cas, les activités liées à la nutrition peuvent être définies dans la conservation *ex situ* et *in situ* dans les stratégies de conservation et l'utilisation des ressources phylogénétiques. En retour, les besoins nutritionnels et de santé des agriculteurs et consommateurs, ainsi que les questions scientifiques et de santé publique de portée mondiale, peuvent guider les activités sur les ressources phylogénétiques.

Avec une plus grande prise de conscience des priorités de la nutrition et de la santé dans l'agriculture et les sciences de l'environnement et du rôle de la biodiversité végétale dans la communauté sanitaire internationale, les scientifiques et les institutions travaillant dans l'agriculture, la conservation de l'environnement et la santé, pourront mieux affronter les problèmes contemporains en créant et en tirant parti des possibilités à collaborer.

### Définir les priorités pour la nutrition et la recherche en santé

Dans les domaines liés à la santé, les ressources phylogénétiques offriront des perspectives utiles sur un certain nombre de questions d'une importance scientifique et de santé publique, comme les carences en micronutriments et les stratégies alimentaires pour faire face aux multiples carences simultanées : biodisponibilité de la provitamine A, du fer et autres nutriments contenus dans les fruits et légumes, la nutrition et la maladie, la transition nutritionnelle et les plantes médicinales en tant que médiateurs physiologiques de la santé.

Dans le cadre de ces priorités de santé, les activités de recherche reliant la nutrition et les ressources phylogénétiques (Johns 1999, 2002) pourraient comprendre une analyse de laboratoire d'identification des variétés de cultures et des cultures mineures avec des atouts nutritionnels sélectifs

(cf. Booth et al. 1994.); des bases de données sur la composition en mettant l'accent sur la diversité intraspécifique; et des activités à la ferme et communautaires axées sur les connaissances autochtones des propriétés liées à la santé des ressources végétales, la formulation et l'élaboration de critères et d'indicateurs pour évaluer la qualité des consommateurs (p.e., sensorielles, nutritionnelles, culinaires, toxicologiques et propriétés médicinales) pour la conservation et l'utilisation in situ et ex situ des ressources phytogénétiques; les indices de diversité alimentaire pour continuer à établir l'importance des ressources phytogénétiques et servir d'indicateurs simples et à faible coût de l'état nutritionnel dans les pays en voie de développement (Hatløy et al. 1998), ainsi que la recherche concernant la santé publique (OMS 2003).

Parce que la pauvreté est le déterminant individuel le plus important de la malnutrition et la maladie, une meilleure compréhension des synergies entre la conservation de la biodiversité, l'économie, et la nutrition est essentielle (Johns et Sthapit 2004).

## Conclusion

La diversité des ressources végétales joue un rôle essentiel en permettant aux populations humaines de satisfaire leurs besoins alimentaires, sanitaires et socioculturels. La biodiversité implique la notion de diversité alimentaire, qui équivaut à la santé. Dans le monde contemporain, où le changement global affecte l'écologie traditionnelle d'une manière qui menace la biodiversité et en même temps compromet la survie des humains, la santé est une raison essentielle pour la gestion de la biodiversité et la conservation des ressources phytogénétiques.

Les ressources végétales, couplées avec la sagesse bioculturelle inhérentes aux systèmes traditionnels, peuvent aider à résoudre les graves problèmes d'insécurité alimentaire et la malnutrition face à laquelle sont confrontés les pays en développement. En même temps, la biodiversité végétale demeure une ressource essentielle pendant que les regroupements humains s'adaptent aux différents changements, en particulier ceux liés à l'urbanisation. À cet égard, des liens ruraux-urbains sont d'une importance cruciale. Les diverses fonctions de la nutrition et de la santé que les plantes assurent dans la culture traditionnelle, et les connaissances autochtones de la diversité végétale, proposent des solutions potentiellement précieuses qui permettent à la biodiversité de résoudre les problèmes uniques auxquels fait face la société contemporaine.

Les principales initiatives internationales en matière de nutrition, de sécurité alimentaire et d'agriculture mettent généralement l'accent sur les caractéristiques uniques de la nourriture ou sur quelques espèces et génotypes. Bien que compréhensible, étant donné la gravité des problèmes de carences en micronutriments et l'insécurité alimentaire pour les segments de population importante, de telles approches ciblées ne prennent pas en compte la nature complexe des relations entre les êtres humains et l'environnement, ni la nature multifactorielle des maladies et la santé humaines. La diversité du régime alimentaire est une mesure directe de la qualité alimentaire. Par conséquent, une insistance exagérée sur la quantité du rendement plutôt que sur la qualité de la production, sur des apports nutritifs déterminés ou un nombre limité d'aliments dans les programmes de biofortification ou de modification de l'alimentation, peuvent être à très courte portée. Les résultats positifs immédiats peuvent échouer ou produire des effets néfastes à long terme, puisqu'ils limitent la complexité et la diversité fonctionnelles de l'alimentation, et pourraient précipiter des états malades.

En outre, le succès à court terme pour répondre aux besoins nutritionnels pourrait avoir des conséquences négatives sur l'érosion de la biodiversité, les savoirs autochtones de son utilisation et les valeurs socioculturelles qui favorisent son maintien. À son tour, la perte de diversité contribue à l'aggravation de problèmes de santé majeurs tels que le diabète. Dans le manque de possibilités économiques et technologiques des pays en développement, les conséquences d'un changement vers la simplification alimentaire sont susceptibles d'être amplifiées, car elles limitent la capacité des personnes à s'adapter aux circonstances changeantes.

L'accent mis sur les solutions technologiques crée une dépendance de la technologie qui est susceptible de ne pas être disponible pour régler les problèmes consécutifs. Sans réduction de la pauvreté ou l'attention à des facteurs économiques limitant la disponibilité de régimes diversifiés, les bénéfiques dans les systèmes alimentaires traditionnels ne peuvent pas être soutenus. Seule une approche globale se basant sur la diversité alimentaire et soutenant la grande disponibilité de la diversité des cultures et des végétaux comestibles, peut élever le statut nutritionnel de la population et la santé d'une manière durable.

Les ressources phylogénétiques dans l'alimentation humaine et la médecine, ainsi que la connaissance ancrée dans la culture comme une composante intégrante de la complexité des systèmes écologiques humains, s'avèrent des régulateurs historiquement confirmés résistant aux changements destructeurs. Les approches immédiates ne fournissent des solutions ni optimales ni ultimes. La santé souhaitée pour tous les habitants de la

planète est beaucoup plus qu'une simple absence de maladie ou d'infirmité (OMS, 1946). Comme la santé humaine est reconnue comme un état de bien être intégral, autant physique, que mental et social, elle se connecte intrinsèquement avec la santé des écosystèmes dans lesquels nous vivons. À cette fin, les ressources phytogénétiques ont à la fois une utilité et une valeur inhérente profondes.

## Remerciements

Le Conseil des sciences naturelles et d'ingénierie du Canada, l'Institut international des Ressources phytogénétiques (IPGRI), le Fonds québécois de la recherche sur la nature et les technologies, et le Fonds de la recherche en santé du Québec ont fourni l'appui financier nécessaire à la réalisation de cette étude. Pablo Eyzaguirre, Mikkel Grum, et d'autres chercheurs de l'IPGRI ont contribué au développement des idées explorées dans ce chapitre.

## Références

- Allen, L. H. and S. R. Gillespie. 2001. *What Works? A Review of the Efficacy and Effectiveness of Nutrition Interventions*. Geneva: accl/scn.
- Arai, S. 2000. Functional food science in Japan: State of the art. *Biofactors* 12:13-16.
- Arai, S., T. Osawa, H. Ohigashi, M. Yoshikawa, S. Kaminogawa, M. Watanabe, T. Ogawa, K. Okubo, S. Watanabe, H. Nishino, K. Shinohara, T. Esashi, and T. Hirahara. 2001. A mainstay of functional food science in Japan: History, present status, and future outlook. *Bioscience, Biotechnology and Biochemistry* 65:1-13.
- Blumenthal, M., A. Goldberg, and J. Brinckmann. 2000. *Herbal Medicine: Expanded Commission E Monographs*. New York: American Botanical Council.
- Booth, S., T. Johns, J. A. Sadowski, and N. W. Solomons. 1994. Phylloquinone as a biochemical marker of the dietary intake of green leafy vegetables of the K'ekchi people of Alta Verapaz, Guatemala. *Ecology of Food and Nutrition* 31:201-209.
- Boukari, I., N. W. Shier, X. E. Fernandez R., J. Frisch, B. A. Watkins, L. Pawloski, and A. D. Fly. 2001. Calcium analysis of selected western African foods. *Journal of Food Composition and Analysis* 14:37-42.
- Bourne, L. T., E. V. Lambert, and K. Steyn. 2002. Where does the black population of South Africa stand on the nutrition transition? *Public Health Nutrition* 5(1A):157-162.

- Brown, C. R., C. G. Edwards, C. P. Yang, and B. B. Dean. 1993. Orange flesh trait in potato: Inheritance and carotenoid content. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 118:145-150.
- Brown, L., E. B. Rimm, J. M. Seddon, E. L. Giovannucci, L. Chasan-Taber, D. Spiegelman, W. C. Willet, and S. E. Hankinson. 1999. A prospective study of carotenoid intake and risk of cataract extraction in US men. *American Journal of Clinical Nutrition* 70:517-524.
- Burlingame, B. 2000. Wild nutrition. *Journal of Food Composition and Analysis* 13:99-100.
- Calderon, E., J. M. Gonzalez, and R. Bressani. 1991. Características agronomicas, fisicas, quimicas y nutricias de quince variedades de amaranto. *Turrialba* 41:458-464.
- Chapman, L., T. Johns, and R. L. A. Mahunnah. 1997. Saponin-like in vitro characteristics of extracts from selected non-nutrient wild plant food additives used by Maasai in meat and milk based soups. *Ecology of Food and Nutrition* 36:1-22.
- Chopra, M., S. Galbraith, and I. Darnton-Hill. 2002. A global response to a global problem: The epidemic of overnutrition. *Bulletin of the World Health Organization* 80:952-958.
- Chweya, J. A. and P. B. Eyzaguirre, eds. 1999. *The Biodiversity of Traditional Leafy Vegetables*. Rome: IPGRI.
- de Pee, S. C., W. West, D. Permaesih, S. Martuti, and J. G. A. J. Hautvast. 1998. Orange fruit is more effective than are dark-green, leafy vegetables in increasing serum concentrations of retinol and beta-carotene in schoolchildren in Indonesia. *American Journal of Clinical Nutrition* 68:1058-1067.
- Diouf, M., M. Diop, C. Lo, K. A. Drame, E. Sene, C. O. Ba, M. Gueye, and B. Faye. 1999. Sénégal. In J. A. Chweya and P. B. Eyzaguirre, eds., *The Biodiversity of Traditional Leafy Vegetables*, 111-154. Rome: IPGRI.
- Doak, C. M., L. S. Adair, C. Monteiro, and B. M. Popkin. 2000. Overweight and underweight coexist within house holds in Brazil, China and Russia. *Journal of Nutrition* 130:2965-2971.
- Drewnowski, A., S. A. Henderson, A. B. Shore, C. Fischler, P. Preziosi, and S. Herberg. 1996. Diet quality and dietary diversity in France: Implications for the French paradox. *Journal of the American Dietetics Association* 96:663-669.
- Eyzaguirre, P. B., S. Padulosi, and T. Hodgkin. 1999. IPGRI's strategy for neglected and underutilized species and the human dimension of agrobiodiversity. In S. Padulosi, ed., *Priority-Setting for Underutilized and Neglected Plant Species of the Mediterranean Region*, 1-19. Rome: IPGRI.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2001. *Specialty Rices of the World: Breeding, Production and Marketing*. Rome: FAO.



- Fassil, H., L. Guarino, S. Sharrock, Bhag Mal, T. Hodgkin, and M. Iwanaga. 2000. Diversity for food security: Improving human nutrition through better evaluation, management, and use of plant genetic resources. *Food Nutrition Bulletin* 21:497–502.
- Gale, C. R., N. F. Hall, D. I. Phillips, and C. N. Martyn. 2001. Plasma antioxidant vitamins and carotenoids and age-related cataract. *Ophthalmology* 108: 1992–1998.
- Glew, R. H., J. VanderJagt, C. Lockett, L. E. Grivetti, G. C. Smith, A. Pastuszyn, and M. Millson. 1997. Amino acid, fatty acid, and mineral composition of 24 indigenous plants of Burkina Faso. *Journal of Food Composition and Analysis* 10:205–217.
- Graham, R. D. and J. M. Rosser. 2000. Carotenoids in staple foods: Their potential to improve human nutrition. *Food Nutrition Bulletin* 21:405–409.
- Hasler, C. M. 1998. Functional foods: Their role in disease prevention and health promotion. *Food Technology* 52:63–70.
- Hasler, C. M., S. Kundrat, and D. Wool. 2000. Functional foods and cardiovascular disease. *Current Atherosclerosis Reports* 2:467–475.
- Hatløy, A., L. E. Torheim, and A. Oshaug. 1998. Food variety: A good indicator of nutritional adequacy of the diet? A case study from an urban area in Mali, West Africa. *European Journal of Clinical Nutrition* 52:891–898.
- Heller, J., F. Begemann, and J. Mushonga, eds. 1997. *Bambara Groundnut Vigna subterranea (L.) Verdc.* Rome: IPGRI.
- Holden, J. M. 1999. Carotenoid content of U.S. foods: An update of the database. *Journal of Food Composition and Analysis* 12:169–196.
- Howell, A. B., N. Vorsa, A. Der Marderosian, and L. Y. Foo. 1998. Inhibition of the adherence of p-fimbriated *Escherichia coli* to uroepithelial-cell surfaces by proanthocyanidin extracts from cranberries. *New England Journal of Medicine* 339:1085–1086.
- Huang, A. S., L. Tanudjaja, and D. Lum. 1999. Content of alpha-, beta-carotene, and dietary fiber in 18 sweetpotato varieties grown in Hawaii. *Journal of Food Composition and Analysis* 12:147–151.
- Johns, T. 1981. The ñu and the maca. *Journal of Ethnobiology* 1:208–212.
- Johns, T. 1996. Phytochemicals as evolutionary mediators of human nutritional physiology. *International Journal of Pharmacognosy* 34:327–334.
- Johns, T. 1999. The chemical ecology of human ingestive behaviors. *Annual Review of Anthropology* 28:27–50.
- Johns, T. 2002. Plant genetic diversity and malnutrition: Practical steps for developing and implementing a global strategy linking plant genetic resource conservation and nutrition. *African Journal of Food and Nutritional Sciences* 2(2):98–100.
- Johns, T. 2003. Plant biodiversity and malnutrition: Simple solutions to complex problems. *African Journal of Food, Agriculture, Nutrition and Development* 3:45–52.

- Johns, T. and L. Chapman. 1995. Phytochemicals ingested in traditional diets and medicines as modulators of energy metabolism. In J. T. Arnason and R. Mata, eds., *Phytochemistry of Medicinal Plants*, Recent Advances in Phytochemistry 29, 161–188. New York: Plenum.
- Johns, T. and P. B. Eyzaguirre. 2000. Nutrition for sustainable environments. *SCN News* 21:24–29.
- Johns, T. and P. B. Eyzaguirre. 2002. Nutrition and the environment. In *Nutrition: A Foundation for Development*. Geneva: acc/scn.
- Johns, T., G. M. Faubert, J. O. Kokwaro, R. L. A. Mahunnah, and E. K. Kimanani. 1995. Anti-giardial activity of gastrointestinal remedies of the Luo of East Africa. *Journal of Ethnopharmacology* 46:17–23.
- Johns, T., R. L. A. Mahunnah, P. Sanaya, L. Chapman, and T. Ticktin. 1999. Saponins and phenolic content of plant dietary additives of a traditional subsistence community, the Batemi of Ngorongoro District, Tanzania. *Journal of Ethnopharmacology* 66:1–10.
- Johns, T., M. Nagarajan, M. L. Parkipuny, and P. J. H. Jones. 2000. Maasai gummi-vory: Implications for Paleolithic diets and contemporary health. *Current Anthropology* 41:453–459.
- Johns, T. and J. T. Romeo, eds. 1997. *Functionality of Food Phytochemicals*, Recent Advances in Phytochemistry 31. New York: Plenum.
- Johns, T. and B. R. Sthapit. 2004. Biocultural diversity in the sustainability of developing country food systems. *Food and Nutrition Bulletin* 25:143–155.
- Kant, A. K., A. Schatzkin, B. I. Graubard, and C. Schairer. 2000. A prospective study of diet quality and mortality in women. *JAMA* 283:2109–2115.
- Kant, A. K., A. Schatzkin, and R. G. Ziegler. 1995. Dietary diversity and subsequent cause-specific mortality in the nhanesi epidemiologic follow-up study. *Journal of the American College of Nutrition* 14:233–238.
- Kim, S., S. Moon, and B. M. Popkin. 2000. The nutrition transition in South Korea. *American Journal of Clinical Nutrition* 71:44–53.
- Kuhnlein, H. V. and H. M. Chan. 2000. Environment and contaminants in traditional food systems of northern indigenous peoples. *Annual Review of Nutrition* 20:595–626.
- Kuhnlein, H. V. and T. Johns. 2003. Northwest African and Middle Eastern food and dietary change of indigenous peoples. *Asia Pacific Journal of Clinical Nutrition* 12:344–349.
- Kuhnlein, H. V. and O. Receveur. 1996. Dietary change and traditional food systems of indigenous peoples. *Annual Review of Nutrition* 16:417–442.
- Kurilich, A. C. and J. A. Juvik. 1999. Quantification of carotenoid and tocopherol antioxidants in *Zea mays*. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 47:1948–1955.
- La Vecchia, C., S. E. Munoz, C. Braga, E. Fernandez, and A. Decarli. 1997. Diet diversity and gastric cancer. *International Journal of Cancer* 72:255–257.

- Lewallen, S. and P. Courtright. 2001. Blindness in Africa: Present situation and future needs. *British Journal of Ophthalmology* 85:897-903.
- Lindhorst, K. 1998. *Antioxidant Activity of Phenolic Fraction of Plant Products Ingested by the Maasai*. MSc thesis, McGill University, Montreal, Canada.
- Marles, R. J. and N. R. Farnsworth. 1995. Antidiabetic plants and their active constituents. *Phytomedicine* 2:137-189.
- Marsh, R. 1998. Building traditional gardening to improve house hold food security. *Food, Nutrition and Agriculture* 22:4-14.
- Maundu, P. M., G. W. Ngugi, and C. H. S. Kabuye. 1999. *Traditional Food Plants of Kenya*. Nairobi: National Museums of Kenya.
- McCune, L. M. and T. Johns. 2002. Antioxidant activity in medicinal plants associated with the symptoms of diabetes mellitus used by the indigenous peoples of the North American boreal forest. *Journal of Ethnopharmacology* 82:197-205.
- McIntosh, M. and C. Miller. 2001. A diet containing food rich in soluble and insoluble fiber improves glycemic control and reduces hyperlipidemia among patients with type 2 diabetes mellitus. *Nutrition Reviews* 59:52-55.
- Mennen, L. I., J. C. Mbanya, J. Cade, B. Balkau, S. Sharma, S. Chungong, and J. K. Cruickshank. 2000. The habitual diet in rural and urban Cameroon. *European Journal of Clinical Nutrition* 54:150-154.
- Milner, J. A. 2000. Functional foods: The US perspective. *American Journal of Clinical Nutrition* 71:1654S-1659S.
- Montanari, A., W. Widmer, and S. Nagy. 1997. Health promoting phytochemicals in citrus fruit and juice products. In T. Johns and J. T. Romeo, eds., *Functionality of Food Phytochemicals*, Recent Advances in Phytochemistry 31, 31-52. New York: Plenum.
- Mukhtar, H. and N. Ahmad. 2000. Tea polyphenols: Prevention of cancer and optimizing health. *American Journal of Clinical Nutrition* 71:1698S-1702S.
- Nakatani, N. 1997. Antioxidants from spices and herbs. In F. Shahidi, ed., *Natural Antioxidants: Chemistry, Health Effects, and Applications*, 64-75. Champaign, IL: aocs Press.
- Ogle, B. M., N. N. X. Dung, T. T. Do, and L. Hambraeus. 2001a. The contribution of wild vegetables to micronutrient intakes among women: An example from the Mekong Delta, Vietnam. *Ecology of Food and Nutrition* 40:159-184.
- Ogle, B. M., P. H. Hung, and H. T. Tuyet. 2001b. Significance of wild vegetables in micronutrient intakes of women in Vietnam: An analysis of food variety. *Asia Pacific Journal of Clinical Nutrition* 10:21-30.
- O'Neill, M. E., Y. Carroll, B. Corridan, B. Olmedilla, F. Granado, I. Blanco, H. Van den Berg, I. Hininger, A.- M. Rousell, M. Chopra, S. Southon, and D. I. Thurnham. 2001. A European carotenoid database to assess carotenoid intakes and its use in a five- country comparative study. *British Journal of Nutrition* 85:499-507.

- Onyango, A., K. Koski, and K. Tucker. 1998. Food diversity versus breastfeeding choice in determining anthropometric status in rural Kenyan toddlers. *International Journal of Epidemiology* 27:484-489.
- Owen, P. and T. Johns. 1999. Xanthine oxidase inhibitory activity of northeastern North American plant remedies for gout. *Journal of Ethnopharmacology* 64:149-160.
- Owen, P. and T. Johns. 2002. Antioxidants in medicines and spices as cardioprotective agents in Tibetan highlanders. *Pharmaceutical Biology* 40:346-357.
- Padulosi, S., ed. 1999. *Priority- Setting for Underutilized and Neglected Plant Species of the Mediterranean Region*. Rome: IPGRI.
- Platt, A. E. 1996. *Infecting Ourselves: How Environmental and Social Disruptions Trigger Disease*. Washington, dc: Worldwatch Institute.
- Popkin, B. M. 2002. An overview of the nutrition transition and its health implications: The Bellagio meeting. *Public Health and Nutrition* 5:93-103.
- Popkin, B. M., S. Horton, and S. Kim. 2001a. The nutrition transition and prevention of diet- related diseases in Asia and the Pacific. *Food and Nutrition Bulletin* 22:S1-58.
- Popkin, B. M., S. Horton, S. Kim, A. Mahal, and J. Shuigao. 2001b. Trends in diet, nutritional status, and diet- related non- communicable diseases in China and India: The economic costs of the nutrition transition. *Nutrition Reviews* 59:379-390.
- Quiros, C. F. and R. Aliaga- Cardenas. 1997. Maca. *Lepidium meyenii* Walp. In M. Hermann and J. Heller, eds., *Andean Roots and Tubers: Ahipha, Arracacha, Maca and Yacon*, 173-197. Rome: IPGRI.
- Rodriguez- Amaya, D. B. 1999. Latin American food sources of carotenoids. *Archivos Latinoamericanos de Nutricion* 49:74S-84S.
- Ross, S. 2000. Functional foods: The Food and Drug Administration perspective. *American Journal of Clinical Nutrition* 71:1735S-1738S.
- Simopoulos, A. P. 1994. Fatty acids. In I. Goldberg, ed., *Functional Foods: Designer Foods, Pharmafoods, Nutraceuticals*, 355-392. New York: Chapman and Hall.
- Solomons, N. W. and J. Bulux. 1997. Identification and production of local carotenoid- rich foods to combat vitamin A malnutrition. *European Journal of Clinical Nutrition* 51:S39-S45.
- Sommerburg, O. E., J. E. Keunen, A. C. Bird, and F. J. van Kuijk. 1998. Fruits and vegetables that are sources for lutein and zeaxanthin: The macular pigment in human eyes. *British Journal of Ophthalmology* 82:907-910.
- Spielman, A. and A. A. James. 1990. Transmission of vector- borne disease. In K. S. Warren and A. A. F. Mahmoud, eds., *Tropical and Geographical Medicine*. New York: McGraw- Hill Information Services Company.
- Sripriya, G., K. Chandrasekharan, V. S. Murty, and T. S. Chandra. 1996. ESR spectroscopic studies on free radical quenching action of finger millet (*Eleusine coracana*). *Food Chemistry* 57:537-540.

- Ssebuliba, J. M., E. N. B. Nsubuga, and J. H. Muyonga. 2001. Potential of orange and yellow fleshed sweetpotato cultivars for improving vitamin A nutrition in central Uganda. *African Crop Science Journal* 9:309-316.
- Standley, L., P. Winterton, J. L. Marnewick, W. C. A. Gelderblom, E. Joubert, and T. J. Britz. 2001. Influence of processing stages on antimutagenic and antioxidant potentials of rooibos tea. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 49:1114-1117.
- Tomkins, A. 2000. Malnutrition, morbidity and mortality in children and their mothers. *Proceedings of the Nutrition Society* 59:135-146.
- Trejo- Gonzalez, A., G. Gabriel- Ortiz, A. M. Puebla- Perez, M. D. Huizar- Contreras, M. del R. Munguia- Mazariegos, S. Mejia- Arreguin, and E. Calva. 1996. A purified extract from prickly pear cactus (*Opuntia fuliginosa*) controls experimentally induced diabetes in rats. *Journal of Ethnopharmacology* 55:27-33.
- Trichopoulou, A. and E. Vasilopoulou. 2000. Mediterranean diet and longevity. *British Journal of Nutrition* 84:S205-S209.
- Trichopoulou, A., E. Vasilopoulou, P. Hollman, C. Chamalides, E. Foufa, T. Kaloudis, D. Kromhout, P. Miskaki, I. Petrochilou, E. Poulima, K. Stafi lakis, and D. Theophilou. 2000. Nutritional composition and flavonoid content of edible wild greens and green pies: A potential rich source of antioxidant nutrients in the Mediterranean diet. *Food Chemistry* 70:319-323.
- Uiso, F. C. and T. Johns. 1996. Consumption patterns and nutritional contribution of *Crotalaria brevidens* in Tarime District, Tanzania. *Ecology of Food and Nutrition* 35:59-69.
- Van t' Riet, H., A. P. den Hartog, A. M. Mwangi, R. K. N. Mwadime, D. W. J. Foeken, and W. A. van Staveren. 2001. The role of street foods in the dietary pattern of two low- income groups in Nairobi. *European Journal of Clinical Nutrition* 55:562-570.
- Visioli, F. and C. Galli. 1998. The effect of minor constituents of olive oil on cardiovascular disease: New findings. *Nutrition Reviews* 56:142-147.
- Wang, M., J. Li, Y. Shao, T. C. Huang, M. T. Huang, C. K. Chin, R. T. Rosen, and C. T. Ho. 1999. Antioxidative and cytotoxic components of highbush blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.). In F. Shahidi and C.- T. Ho, eds., *Phytochemicals and Phytopharmaceuticals*, 271-277. Champaign, IL: aocs Press.
- West, C. E., F. Pepping, and C. R. Temalilwa. 1988. *The Composition of Foods Commonly Eaten in East Africa*. Wageningen, The Netherlands: Wageningen Agricultural University.
- WHO. 1946. Preamble to the Constitution of the World Health Organization as adopted by the International Health Conference, New York, June 19-22, 1946.
- WHO. 2003. *WHO Global Strategy on Diet, Physical Activity and Health*. Geneva: WHO.

## 16 Comparaison des choix des agriculteurs et des sélectionneurs

---

### La valeur des variétés indigènes de riz au Népal

D. GAUCHAN et M. SMALE

Le Népal constitue un important centre de la diversité pour *Oryza sativa* (riz «asiatique»). Au début, le riz asiatique a probablement été cultivé dans la région géographiquement et culturellement diversifiée qui s'étend du Népal jusqu'au nord du Vietnam (Vaughan et Chang, 1992). Les variétés de riz des agriculteurs (appelées ici variétés indigènes) occupent toujours plus de 30% de la superficie totale cultivée de riz au Népal (APSD 2001). Elles sont généralement plus hétérogènes que les variétés modernes qui sont cultivées de manière uniforme dans la stature et sélectionnées sur la base de critères de performance particuliers. Elles sont aussi souvent adaptées aux besoins spécifiques locaux de l'homme et des niches écologiques (Simmonds 1979). Environ 2.000 variétés locales de riz sont entretenues par les agriculteurs dans différentes régions du Népal en liaison avec leurs parents sauvages et adventices (Shrestha et Vaughan, 1989; Upadhyay et Gupta, 2000). Ces variétés ont évolué en réponse à de grandes variations de conditions édaphiques (du sol), topographiques et climatiques, combinées à la sélection attentive de semences et de méthodes de gestion par les agriculteurs. Dans certains endroits, l'éloignement des marchés a poussé les agriculteurs à compter sur leurs propres sources de semences et récoltes pour satisfaire les besoins alimentaires et renforcer ce processus.

La conservation à la ferme fait appel aux décisions des agriculteurs de continuer à cultiver et gérer les variétés indigènes dans les agroécosystèmes et des communautés où elles ont évolué, comme par exemple celles du Népal. Les agriculteurs choisissent de maintenir les variétés indigènes qu'ils valorisent en plantant les graines, en sélectionnant les semences de la récolte ou en les échangeant avec d'autres agriculteurs, et en les replantant

(voir chapitre 4). Leurs choix déterminent également si les ressources génétiques à valeur sociale destinées à l'amélioration des cultures continuent à être cultivées in-situ. Les agriculteurs peuvent choisir de cesser l'exploitation de certaines variétés, si des changements dans l'environnement de production ou du marketing leur font perdre leur valeur relative.

Les sélectionneurs professionnels des végétaux ont également pris des décisions qui influent sur la conservation de la biodiversité des cultures dans les exploitations agricoles. Ils sélectionnent et croisent des matériaux afin de développer de nouvelles variétés. Le choix qu'ils font dresse la gamme des ressources génétiques fournissant aux agriculteurs de nouvelles variétés provenant des marchés des semences. Les sélectionneurs peuvent élargir les options des agriculteurs en introduisant des ressources génétiques, nouvelles ou recombinées, afin de mieux répondre à leurs besoins ou compléter celles déjà cultivées. Les deux ressources génétiques, qu'elles soient conservées ex situ ou cultivées in situ, sont importantes pour le processus d'amélioration des cultures qui génère de la valeur sociale par une meilleure productivité et une baisse des prix des produits alimentaires.

Ce ne sont pas toutes les variétés indigènes qui peuvent être conservées au niveau des fermes, et ce ne sont pas tous les agriculteurs qui ont la possibilité de les conserver en raison des coûts impliqués, y compris les coûts directs et les coûts en termes d'opportunités perdues. Le Népal est l'un des pays les plus pauvres du monde en termes de produit national brut (Banque Mondiale 2003). Le défi pour le gouvernement du Népal est de créer des incitations pour le maintien de la biodiversité du riz, qui va bénéficier aux agriculteurs ainsi qu'à la société d'aujourd'hui et de demain. Bien que les besoins futurs ne puissent être prévus avec certitude, les expertises des sélectionneurs de riz nous fournissent des suppositions raisonnables, mais les sélectionneurs de riz, comme les agriculteurs, ont des points de vue divergents.

Ce chapitre utilise des échantillons de données détaillés provenant d'une recherche au Népal pour étudier la relation entre les choix des agriculteurs et ceux des sélectionneurs pour la conservation in situ de la biodiversité du riz. Plusieurs critères d'éleveurs pour le choix des matériaux à conserver dans les fermes sont avancés. Une approche conceptuelle a été établie à partir d'un modèle micro-économique de la prise de décision des agriculteurs. Elle concerne la probabilité que les agriculteurs continuent à croître l'ensemble des choix définis par ces critères à des facteurs explicatifs qui peuvent être influencés par des investissements publics et politiques.

La relation est alors estimée économétriquement. Si les effets des facteurs explicatifs sont les mêmes quelque soit l'ensemble des choix, nous

pouvons conclure qu'ils sont neutres aux critères de choix. Si elles diffèrent, l'amélioration des perspectives pour la conservation d'un ensemble de choix peut réduire les perspectives de l'autre, ce qui implique des arbitrages politiques.

Certaines études empiriques ont examiné les compromis dans un type de diversité par rapport à un autre lorsque les politiques de promouvoir des changements d'une variable explicative, comme les investissements dans l'éducation et les infrastructures (Van Dusen 2000; Bénin et al. 2003; Smale et al. 2003). Ces analyses sont basées sur des indices qui ne rendent pas compte d'éventuelles différences dans la valeur sociale entre les variétés. L'analyse présentée ici établit explicitement le rapport entre les préférences de sélectionneurs de riz et des défenseurs des ressources naturelles aux préférences des agriculteurs. Le choix des sélectionneurs de riz et les écologistes reflètent leurs opinions sur la valeur potentielle des variétés encore cultivées par les agriculteurs pour la société. Les choix des agriculteurs révèlent leurs préférences face à de nombreuses contraintes économiques et physiques, ce qui indique la valeur privée des variétés. La référence aux résultats d'études sur d'autres cultures dans d'autres contextes économiques dans lesquelles des méthodes similaires ont été appliquées, est également présentée.

La section suivante décrit les sites d'étude et les méthodes utilisées pour recueillir des données. L'approche conceptuelle et les méthodes économétriques sont ensuite résumées, suivie par la présentation de statistiques descriptives et des résultats. Des conclusions sont tirées dans la dernière section.

## Les sites d'études

Cette recherche porte sur deux des trois sites écologiques (éco-sites) du projet intitulé «Conservation *in situ* de la biodiversité agricole à la ferme," au Népal. L'éco-site comprend un bassin hydrographique qui comprend un ensemble de communautés ou villages. Les critères utilisés pour sélectionner les éco-sites comprennent l'importance du riz et de la diversité génétique des cultures, d'autres cibles pour la conservation à la ferme, les caractéristiques agro-écologiques, et les infrastructures de marché. L'éco-site Kaskire présente la zone de collines physiographiques du pays, avec un niveau intermédiaire de l'infrastructure du marché. L'éco-site Bara se trouve dans le *Terai* (plaines) et dispose d'une infrastructure plus développée. Dans les deux éco-sites, le riz est la culture principale dans l'économie alimentaire, et il est soumis à une série de conditions micro-écologiques,



**Tableau 16.1.** La culture de la diversité du riz dans les éco-sites de Bara et de Kaski, Népal.

La culture du riz au au niveau de l'éco-site	Bara (plaines)	Kaski (collines)
Nombre total de cultivars	23	50
Nombre total de variétés indigènes	5	39
Nombre total de variétés modernes	18	11
Part de la zone dans les variétés indigènes (%)	4	72,5
Part de la zone part dans les variétés indigènes	96	27,5

regroupant montagne, plaines, marais palustres se trouvant souvent au sein de la même ferme. Les agriculteurs plantent généralement plusieurs types de variétés en fonction des terres, des sols, des conditions d'humidité, et du recadrage des séquences. Au niveau de l'éco-site, l'échantillon des agriculteurs maintiennent un total de 50 cultivars de riz dans l'éco-site colline et 23 cultivars de riz dans l'éco-site plaine (Tableau 16.1).

Comme prévu, le plus grand nombre de variétés indigènes de riz (39) et la plus importante superficie allouée aux variétés indigènes (72,5% des terres) ont été trouvés dans l'éco-site colline. Bien que les variétés modernes coexistent dans les deux éco-sites, la quasi-totalité de la zone dans les basses terres est occupée par des variétés modernes (96%). Les agriculteurs dans l'éco-site plaine cultivent aussi un plus grand nombre de variétés modernes (18) que ceux dans les collines (11). Le nombre total de variétés de riz dans les collines est deux fois plus élevé que celui constaté dans les basses terres.

## Sources de données

### *Échantillon de l'enquête des ménages rizicoles*

La recherche par sondage des échantillons et l'analyse présentées ici, s'appuient sur plusieurs années de recherche intensive et participative avec les agriculteurs, dans le cadre du projet national du Népal de la conservation in situ. Au départ, l'équipe de recherche a répertorié 1856 ménages au niveau des deux sites. Grâce à des contacts locaux, l'équipe a appris

que certains ménages ne sont plus engagés dans l'agriculture, certains ne sont plus situés dans le règlement d'origine, et quelques-uns n'ont pas de cultures de riz. Un échantillon aléatoire représentant 17,25% de ménages d'agriculteurs actifs, et de cultivateurs de riz a été établi, au nombre de 159 à Kaski et 148 à Bara, pour une taille d'échantillon total de 307.

L'enquête a été conduite sous forme d'un questionnaire avec des entretiens individuels. Les questions portaient sur les caractéristiques sociales, démographiques et économiques des agriculteurs et de leurs foyers, les caractéristiques physiques de leurs exploitations, les aspects économiques de la production de riz, et l'accès au marché. Le chercheur principal a coordonné l'enquête avec l'appui d'un personnel indigène expérimenté. Les hommes ainsi que les femmes impliqués dans les décisions concernant la production et la consommation de riz ont été interrogés. Pour améliorer la qualité des données et l'uniformité, une double révision des questionnaires a été entreprise à intervalles réguliers pour vérifier les erreurs de mesures, les ambiguïtés et les informations manquantes. Les ménages ont été revistés immédiatement pour les informations manquantes et pour préciser les réponses inappropriées au cours de la période d'enquête. Pour assurer l'uniformité dans les unités de mesure et une terminologie uniforme, le chercheur et les enquêteurs et l'équipe d'appui ont révisé les questionnaires sur le site de l'enquête.

### *Enquête auprès des personnes clés de la sélection du riz*

Une enquête auprès des sélectionneurs et des chercheurs impliqués dans le projet national de conservation in situ, ainsi qu'auprès de ceux impliqués dans la recherche sur la sélection du riz au Népal, a été réalisée en deux phases. Dans la première phase, 16 sélectionneurs et chercheurs travaillant sur le projet in situ ont été invités à classer les listes des variétés des agriculteurs identifiés dans l'enquête auprès des ménages, en fonction de leur importance pour la conservation ou l'utilisation future lors d'une sélection végétale. Cette enquête a également permis d'identifier des critères utilisés par les sélectionneurs pour sélectionner des variétés indigènes comme potentiellement utiles. Les critères comprenaient la diversité (comme non uniforme, population hétérogène), la rareté (qui incarnent des traits uniques ou rares), et l'adaptabilité (présentant une large adaptation). Dans la deuxième phase de l'enquête, huit sélectionneurs ont été invités à classer individuellement les variétés locales de riz en fonction de leurs réponses aux critères.

## Approche conceptuelle

L'approche conceptuelle est basée sur la théorie du ménage agricole (Singh et al. 1986.), tel qu'il est appliqué à l'analyse de la biodiversité des cultures par Van Dusen (2000; Van Dusen et Taylor, 2003). D'autres modèles et applications connexes, notamment celles de Brush et al. (1992), Meng (1997), Smale et al. (2001), Bénin et al. (2003), et Birol (2004).

Dans cette approche, présentée ailleurs en termes mathématiques, un ménage agricole maximise l'utilité sur un ensemble de biens de consommation produits à la ferme, un ensemble de biens de consommation achetés sur le marché, et de loisirs. L'utilité du foyer découle des diverses combinaisons, et les niveaux de consommation dépendent des préférences de ses membres. Les préférences dépendent, à leur tour, de diverses caractéristiques sociales et démographiques du foyer, y compris sa dotation en capital humain et d'autres actifs, représentée par le vecteur  $\Omega_{HH}$ .

Les quantités qu'un ménage peut produire sont déterminées par une technologie de production, étant donné les caractéristiques physiques de la ferme ( $\Omega_F$ ). La technologie de production combine des semences et du travail avec d'autres intrants achetés et cultivés sur des superficies à chaque saison ( $A$ ). Le choix de la superficie cultivée et la variété des combinaisons et combien de terres à allouer à chacun détermine les niveaux de produits agricoles que le ménage s'attend à récolter et vice versa. Les parts de zone pour toute culture ou d'une variété, peut varier de zéro (quand il n'est pas cultivé) à un (lorsqu'il n'y a pas d'autres cultures ou variétés cultivées).

Lorsque ces choix sont faits, les dépenses de temps et d'argent ne peuvent pas dépasser le revenu intégral. La totalité du revenu en toute saison se compose des revenus agricoles nets (bénéfices) provenant de la vente de la production agricole et le revenu qui est exogène (extérieure) à la récolte de la saison et les choix de la variété, tels que les stocks de report, les envois de fonds, les pensions et autres transferts de la saison précédente ( $Y^o$ ). Lorsque les marchés ne fonctionnent pas bien pour une culture ou que les échanges sont associés à des coûts de transaction importants ( $\Omega_M$ ), la production et les décisions de consommation ne peuvent pas être traitées séparément, et un prix fictif pour la récolte va servir de guide de prise de décision plutôt que son prix de marché. Les prix fictifs sont liés aux coûts différentiels de transaction sur les marchés qui reflètent les caractéristiques propres aux ménages ( $\Omega_{HH}$ ). Les travaux antérieurs dans la zone d'étude suggèrent que les marchés ne soient pas complets pour les variétés de riz, et surtout les variétés indigènes (Gauchan et al. 2005).

Le modèle d'utilité aléatoire permet l'interprétation statistique de la décision du choix des variétés avec des données d'enquête. Le ménage choisit de cultiver des espèces indigènes sur une partie de la superficie rizicole, si l'utilité que ses membres s'attendent à en tirer est supérieure à celle qu'ils obtiendrait d'autres alternatives disponibles ( $U_i > U_j$  pour tout  $j$  n'est pas égal à  $i$ ). Puisque les niveaux d'utilité ( $U$ ) ne peuvent être observés, les choix observés dans les données révèlent des alternatives qui fournissent la plus grande utilité pour les ménages. La variation de ces choix est expliquée de façon systématique par les préférences des ménages et les contraintes auxquelles ils font face. Les préférences et les contraintes dépendent de variables observables liées aux caractéristiques du ménage, de la ferme, et du marché. Le dessin de données à partir d'un échantillon aléatoire de foyer introduit une composante stochastique, en fournissant un contexte statistique pour prédire la probabilité qu'un ménage développe une variété indigène en fonction de la composante systématique ( $\beta'X$ ) et des erreurs aléatoires ( $\varepsilon$ ):

Probabilité

(variété locale  $i$  choisie) = Probabilité ( $U_i > U_j$ )

$$\begin{aligned}
 &= \beta_0 + \beta_H' \Omega_{HH} + \beta_F' \Omega_F + \beta_M' \Omega_M \\
 &+ \beta_y Y^0 + \beta_a A + \varepsilon.
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

## Méthodes économétriques

L'équation 1 est la base de l'analyse économétrique et des tests d'hypothèses. Un modèle probit a été utilisé pour estimer la régression de la LIMDEP (version 7.0), recoupée dans STATA. Les tests économétriques enquêtent sur les facteurs explicatifs qui sont spécifiés dans le modèle de prise de décision et qui modifient, de manière significative, la probabilité prédite (la probabilité) que le ménage agricole développe des variétés indigènes classés par les sélectionneurs de riz comme génétiquement divers, rares, ou adaptables. Les tests sont mis en œuvre en précisant des régressions avec différentes variables dépendantes (critères de choix) et les mêmes variables explicatives. Les signes et la significativité des coefficients de régression sont comparés.

Les variables dépendantes dans les régressions sont définies en fonction des résultats de l'enquête des informateurs clés (tableau 16.2).

Les variables explicatives et effets hypothétiques sont indiqués dans le tableau 16.3, groupés selon les ensembles de caractéristiques observées qui représentent les variables conceptuelles dans l'équation 1.1 Une brève description de ces variables explicatives suivra.

### Caractéristiques des ménages

Les caractéristiques des ménages influent sur leur choix de variétés indigènes. Ce choix se fait en fonction de leurs préférences et de leurs coûts spécifiques. La composition d'âge, d'éducation et de sexe des membres des foyers influence les préférences et les habitudes. Les agriculteurs plus âgés sont plus susceptibles d'avoir développé une gamme de variétés indigènes de riz et d'être habitués à leur culture.

Quand les décideurs (hommes et femmes) sont plus instruits, leurs capacités au niveau de la production et de la consommation (en général les hommes et les femmes) sont renforcées pour acquérir des informations et de l'expérience, mais est souvent associée à une préférence pour les variétés modernes et la spécialisation. De plus, le travail des adultes actifs permet aux ménages de se livrer à la culture d'un ensemble plus vaste de variétés de riz avec les exigences de gestion différentes.

La proportion des femmes actives peut se rapporter positivement à la croissance de certaines variétés qui ont des attributs de consommation

**Tableau 16.2.** Définition des variables dépendantes dans les modèles de régression probit.

Diversité	Population non uniforme, hétérogène	Oui =1 Sinon 0	Toute variété indigène qui satisfait ce critère de choix
Rareté	Unique, traits peu communs	Oui =1 Sinon 0	Toute variété indigène qui satisfait ce critère de choix
Adaptabilité	Grande adaptation	Oui =1 Sinon 0	Toute variété indigène qui satisfait ce critère de choix

**Tableau 16.3.** Définitions des variables explicatives et effets supposés sur la diversité.

Nom de la variable	Définition	Effets hypothétiques
<b>Caractéristiques des ménages</b>		
AGEPDM	Âge du décideur de production (en années)	( + )
EDUPDM	L'éducation des décideurs de production (en années)	(+, -)
EDUCDM	L'éducation des décideurs de la consommation (en années)	( +, - )
AAGLABR	Adultes actifs travaillant à la ferme (nombre)	( + )
FAADTPCT	Pourcentage des femmes parmi les travailleurs actifs adultes	( + )
LANIMLV	Valeur (en roupies népalaises) des grands animaux (bœufs, vaches laitières)	( + )
TOTEXP	Dépenses moyennes mensuelles des ménages (en roupies népalaises) depuis la dernière récolte avant la saison en cours (revenu exogène)	( +, - )
SBRATIO	Ratio de moyenne sur 5 ans de riz kilogrammes produits au riz kilogrammes consommés	( +, - )
<b>Caractéristiques physiques de la ferme</b>		
IRPCNT	Pourcentage de superficies de riz sous irrigation	( +, - )
LNDTYP	Nombre de types de terrain du riz	( + )
RDPLCULH	Distance de marche totale (en minutes) de la maison et des parcelles de lots riz, divisée par hectares cultivés	( + )
<b>Caractéristiques du marché</b>		
TMKTDS	Éloignement du marché local des parcelles ou de la ferme (en minutes)	( + )
LRSOLD	Grains vendus par ménage durant la saison précédente (kg)	( + )
MVSOLD	Grains d'une variété moderne vendus par les ménages la saison précédente (kg)	( - )

unique. Une étude antérieure de l'équipe du projet a révélé un plus grand rôle des femmes sur l'entretien des semences de riz et la culture (Subedi et al. 2000).

Les ménages qui possèdent un plus grand nombre et une plus haute valeur d'animaux de trait (taureaux) et d'animaux laitiers (buffles, vaches) sont supposés cultiver des variétés plus diversifiées de riz, car ils ont un meilleur accès aux intrants et aux informations, plus de capacité à expérimenter, et une plus grande demande pour les fourrages. Les caractéristiques des bœufs (animaux de trait) permettent également la préparation des terres en temps opportun, le battage et le transport des intrants et des produits récoltés. D'une part, le revenu monétaire externe augmente la capacité des agriculteurs à embaucher la main-d'œuvre, ainsi que leur capacité d'achat; ce qui leur permet de s'engager dans un large éventail d'activités. D'autre part, il peut signifier que les membres du ménage soient impliqués dans des activités non agricoles, et consacrent moins de temps pour les variétés de riz spéciales. Les agriculteurs produisant du riz au-delà de leurs besoins de consommation devraient être en mesure de conserver les variétés indigènes, ou peuvent être ceux qui se spécialisent dans la production des variétés modernes pour le marché.

### *Caractéristiques physiques des fermes*

Dans ce système de main-d'œuvre agricole caractérisée par la très petite taille des exploitations, la fragmentation des parcelles et l'hétérogénéité des types de terres sont des aspects cruciaux de la technologie agricole. Les terres sur lesquelles les paysans cultivent le riz sont distinctes. Plus dispersées sont les parcelles, plus il y a de probabilités qu'elles évoluent en variétés indigènes en fonction de certaines niches saisonnières ou physiques. L'irrigation améliore la validité de l'eau et peut avoir des effets négatifs ou positifs sur la probabilité de la culture de variétés indigènes spécifiques. Un meilleur accès à l'eau peut accroître la spécialisation dans un petit nombre de variétés, en rendant le processus de production plus uniforme, et peut aussi permettre la culture d'un plus large éventail de variétés ayant des besoins en eau et des périodes de maturité différents.

### *Les caractéristiques du marché*

Les variables du marché affectent la diversité à mesure que les ménages échangent leurs cultures de riz et achètent des intrants, aliments et autres

besoins sur le marché. La distance du marché de la ferme est une composante majeure dans la prise en considération du coût, pour s'engager dans des transactions sur le marché. Plus un ménage est éloigné du centre de marché local, plus il est susceptible de s'appuyer sur sa propre production pour répondre à ses besoins de consommation. Les besoins de consommation peuvent inclure toute une gamme de produits alimentaires et de fourrage. Les ventes antérieures de grains des variétés indigènes sont censées se relier positivement aux incitations pour les cultiver. Les précédentes ventes de céréales provenant de la production des variétés modernes peuvent se rapporter à la spécialisation dans certaines variétés modernes plus uniformes.<sup>2</sup>

## Appréciation

### *Statistiques descriptives*

Les ménages des collines les plus isolées (éco-site Kaski) sont beaucoup plus susceptibles que ceux des plaines (éco-site Bara) de cultiver les variétés identifiées, par les sélectionneurs de riz, comme potentiellement utiles pour leur diversité, leur rareté, ou leurs capacité d'adaptation (tableau 16.4)

La structure démographique des foyers producteurs de riz est similaire dans les deux éco-sites en ce qui concerne l'âge et l'éducation du décideur de production, le travail des adultes actifs, et le nombre et la proportion d'hommes et de femmes qui sont activement engagés dans l'agriculture. Cependant dans l'éco-site Bara, les femmes qui décident sont nettement moins scolarisées. Bien que les niveaux du revenu moyen soient similaires, les valeurs liquidatives du bétail sont moindres dans les plaines où les ménages commercialisent beaucoup plus de graines de variétés modernes et, par conséquent, en produisent plus. Ils réussissent en moyenne à mieux répondre à leurs besoins de consommation de riz par leur propre production que ne le font ceux qui sont situés dans les collines. Les différences dans les ventes de céréales pour les populations naturelles ne sont pas significatives, peut-être parce que seul un agriculteur dans l'éco-site Bara a signalé un grand volume de ventes. Les caractéristiques physiques des fermes dans les deux aires écologiques sont similaires en termes de nombre de types de terres cultivées en riz et le pourcentage irrigué, mais les parcelles de riz sont beaucoup moins dispersées et les ménages sont plus proches des marchés dans les plaines.



**Tableau 16.4.** Statistiques sommaires pour les variables dépendantes et explicatives, éco-sites de Bara et Kaski.

Variable	Éco-site		
	Bara (N= 148)	Kaski (N= 159)	Total(N= 307)
<b>Variables dépendantes</b>			
Pourcentage des ménages qui cultivent les multiples variétés indigènes (+)	2	50.9	27.4
Pourcentage des ménages qui cultivent des variétés rares (+)	2.7	20.8	12.1
Pourcentage des ménages qui cultivent des variétés adaptables (+)	0.7	74.8	39.1
<b>Variables explicatives</b>			
AGEPDM	48.27	46.20	47.20
EDUPDM	3.0	3.95	3.52
EDUCDM	0.48**	1.99	1.26
AAGLABR	2.52	2.51	2.52
FAADTPCT	0.27	0.28	0.28
LANIMLV	10,270**	18,490	14,527
TOTEXP	2,483	2,581	2,533
SBRATIO	1.40**	0.76	1.07
IRPCNT	0.42	0.39	0.407
LNDTYP	1.54	1.49	1.517
RDPLCULH	120*	146	134.58
TMKTDS	163**	340	255.14
LRSOLD	16.89	43.68	30.76
MVSOLD	971**	38	487.8

Note: Les tests t par paires montrent des différences significatives des moyens dont \*\*  $p < .01$  et \*  $p < .05$  entre les écosites de Kaski et Bara avec 2 – tests bilatéraux, assumant une variance égale. (+) tests  $\chi^2$  montrent une différence significative ( $p < .05$ ) entre les écosites de Bara et Kaski. Voir le tableau 16.3 pour les définitions des variables explicatives.

## *Résultats économétriques*

Les facteurs qui permettent de prédire si les valeurs privées et les valeurs sociales coïncident sont indiqués dans le tableau 16.5, en fonction de chaque critère de choix (la diversité, la rareté et l'adaptabilité). Ce sont les facteurs qui affectent significativement la vraisemblance que les agriculteurs cultiveront des variétés identifiées par les sélectionneurs de riz comme étant importantes.

Parmi les caractéristiques du ménage, on peut citer l'éducation, la composition du travail, et les actifs du bétail qui sont des prédicateurs statistiques qui signifient que les ménages cultiveront des variétés considérées importantes pour l'amélioration des cultures à venir.

Le capital humain semble être important. Plus le décideur de la consommation de riz (généralement une femme) est instruit, plus la vraisemblance qu'un ménage développe une forme locale qui est génétiquement hétérogène augmente. De plus, le travail des adultes dans l'agriculture a un effet important sur la probabilité que les variétés indigènes d'adaptation soient cultivées. Il contribue également d'une manière significative à la culture de variétés génétiquement diverses. Un pourcentage plus élevé de femmes parmi les adultes actifs dans les ménages signifie que des races primitives rares sont susceptibles d'être cultivées. Plus les ménages sont dotés de bétail (les buffles, les bovins, et les bœufs), plus ils feront cultiver des variétés également choisies par les sélectionneurs de riz aussi diverses ou aptes à l'adaptation.

Le revenu externe est sans signification apparente, car de plus en plus de variétés ne coûtent absolument rien. Le nombre de types de terrains de culture de riz (divers créneaux de production agricole) augmente les chances que des races primitives rares soient cultivées, et la dispersion des parcelles de riz par rapport à la superficie totale cultivée contribue positivement à la croissance de populations naturelles d'adaptation. La localisation dans l'éco-site des collines et l'éloignement des marchés, sont associés à de plus fortes probabilités de cultures de toute race primitive jugée comme potentiellement utile à l'amélioration future des cultures par les sélectionneurs de riz.

Pour des prédicteurs statistiquement significatifs qui sont communs à travers des sous-ensembles de variétés indigènes, la direction de l'effet est la même, bien que l'ampleur de l'effet diffère (emplacement de l'éco-site, la proportion des adultes actifs engagés dans la production agricole, le montant total à distance de marche du marché). Trois facteurs liés à la politique ont des effets non-neutres. Autrement dit, la signification statistique de leur effet dépend du critère de choix des éleveurs: la diversité,

**Tableau 16.5.** Facteurs qui prédisent que les agriculteurs cultiveront des variétés que les éleveurs identifient comme potentiellement utiles dans deux éco-sites du Népal, selon le critère de choix.

Variables explicatives	Critères de sélection des cultivateurs de riz		
	Diversité	Rareté	Adaptabilité
Constant	-0.6221***	-0.4289***	-2.6499***
Site	0.2792***	0.1074***	1.0596***
AGEPDM	-0.000029	-0.00058	0.000387
EDUPDM	-0.0101	0.00212	0.00931
EDUCDM	0.0218**	-0.00483	-0.00679
AAGLABR	0.04315**	0.01702	0.14948***
FAADTPCT	-0.03892	0.13687*	-0.05048
LANIMLV	0.000005*	-0.0000019	-0.000002
TOTEXP	-0.000023	-0.000018	0.0000003
SBRATIO	-0.09510	-0.02833	0.05185
IRPCNT	0.080216	0.005799	0.1390
LNDTYPS	-0.05990	0.06588***	0.03843
RDPLCULH	0.000029	0.000056	0.001112**
TMKTDS	0.00040**	0.000137**	0.000665*
LRSOLD	0.00021	0.000111*	-0.000094
MVSOLD	-0.00004	-0.000005	-0.0001188
Fonction logarithmique de vraisemblance	-93.79	-75.50	-54.65
Pseudo R <sup>2</sup>	0.478	0.734	0.332

*Note:* N= 307. Le modèle de régression utilisé dans tous les cas est un probit. Des tests Z unilatéraux significatif à \*\*\*  $p < 0,01$ , \*\*  $p < 0,05$  et \*  $p < 0,1$ . Voir le tableau 16.3 pour la définition des variables. La statistique Z est pertinente pour l'estimation du maximum de vraisemblance. Les valeurs indiquées dans le tableau sont les effets marginaux qui sont calculés comme le moyen de variables explicatives.

la rareté ou l'adaptabilité. Tout d'abord, l'éducation des femmes et leur implication dans la production agricole prévoit que le ménage développera des variétés rares, diverses ou non, et l'ampleur des effets diffère selon le critère de choix. Deuxièmement, la vente du grain des variétés indigènes est un facteur politique pertinent qui est significativement associé à de

plus en plus de diverses races rares, mais pas par rapport à l'adaptation. Cette découverte suggère que les marchés spécialisés peuvent fournir des incitations pour les agriculteurs de continuer à cultiver des variétés rares. Troisièmement, la dispersion des parcelles agricoles, normalisée par les zones agricoles, est un indicateur que le ménage va développer des variétés adaptables. Les pratiques d'utilisation foncière sont des facteurs qui soutiennent la répartition spatiale des parcelles.

## Les résultats d'études connexes

Les résultats d'études connexes sont présentés dans le tableau 16.6, selon les séries conceptuelles des variables utilisées dans ce chapitre, sous forme hypothétique, pour expliquer les variations dans les niveaux de la diversité des cultures maintenues par les ménages agricoles, ou la probabilité que ces ménages continuent à cultiver les variétés. Dans chaque étude de cas, la base théorique est le modèle du ménage agricole appliquée économétriquement aux données recueillies au sein des ménages et auprès des études de parcelles.

Les pays et les cultures comprennent une gamme de niveaux de revenu et les cultures: les pommes de terre au Pérou, le blé de Turquie (Meng 1997), le maïs, les haricots et les courges au Mexique (Brush et al. 1992.) (Van Dusen 2000; Smale et al. 2001), les cultures de céréales en Éthiopie (Bénin et al. 2003), et les jardins familiaux en Hongrie (Biro 2004). Les signes inscrits dans le tableau indiquent une direction statistiquement significative de l'effet, et un zéro réfère à un coefficient de régression qui n'est pas statistiquement significatif.

Malgré l'application des approches liées, la généralisation n'est pas facile. Une raison est que dans chaque contexte empirique, bien que les variables théoriques soient de la même mesure, des variables dépendantes et explicatives à travers des instruments d'enquête doivent être adaptées au contexte d'étude. Au Pérou, les équations ont été estimées pour prévoir l'adoption des variétés modernes, ainsi que l'effet des variétés modernes sur le nombre de variétés de pommes de terre cultivées. En Turquie, les équations ont été estimées pour prédire les variétés de blé cultivées, et la diversité des variétés de blé a été expliquée avec sursis sur la décision de les cultiver. Dans une étude au Mexique, la richesse totale de maïs, de haricots, et les variétés de courge dans le système milpa a été expliquée. Dans une autre étude, l'attribution de zones cultivables entre les variétés indigènes de maïs a été analysée. L'étude réalisée en Éthiopie a examiné la richesse et la régularité des cultures de céréales et de leurs variétés. Dans

**Tableau 16.6.** Comparaison des résultats à partir des études économiques de la diversité génétique des cultures ou de la diversité des espèces cultivées.

Direction des effets prévus dans les études de cas							
	Pérou: la diversité des variétés indigènes de pommes de terre	Turquie: la diversité des variétés indigènes de blé	Mexique: Système Milpa, diversité totale des cultures et des variétés	Mexique: la diversité des variétés indigènes de maïs	Éthiopie: la diversité des cultures céréalières	Hongrie: Jardins familiaux, diversité des espèces cultivées	Hongrie: Jardins Familiaux, variétés indigènes
Caractéristiques des ménages							
Age du chef de famille	0	0	+	0	+	0	+
Éducation		0	+	0	+	0	
Offre de la main d'œuvre agricole		-	0	+	+	0	+
Éducation et participation des femmes		-	-	0	0	0	+
Revenu hors ferme, migration	-	-	-	0	0	+	0
Caractéristiques des actifs de la ferme	-	-	-	0	+	+	+
Fragmentation	+	-	0	0	+	-	-
Altitude		+	+				
Hétérogénéité du sol, pentes multiples		0	+	+	0	0	+
Potentiel de productivité, qualité du sol			0	0	-	+	+
Infrastructure du marché	-	+	-	-	0	+	+
Variétés modernes cultivées	-	N/A	N/A	N/A	N/A	0	-

Sources : Brush et al. (1992), Meng (1997), Van Dusen (2000), Smale et al. (2001), Benin et al. (2003), Birol (2004).

Note: « 0 » signifie que l'effet n'a pas été statistiquement significatif. Une cellule vide signifie que la variable n'a pas été incluse dans la régression.

l'économie en transition et à revenu élevé de la Hongrie, plusieurs composantes de la biodiversité agricole ont été étudiées, y compris la richesse des espèces cultivées et des cultures indigènes des jardins familiaux.

Comme c'est le cas pour le riz au Népal, l'âge du décideur n'a aucun effet significatif dans les pays à faible revenu comme le Pérou et l'Éthiopie. Dans les pays à revenu moyen et élevé qui sont le Mexique et la Hongrie, les agriculteurs âgés sont plus susceptibles de cultiver des variétés indigènes. Au Népal et en Éthiopie, où les variables liées au sexe ont été mesurées, l'éducation des femmes et leur implication dans la production agricole du ménage influence positivement les niveaux de la diversité génétique des cultures. Dans tous les pays, les niveaux de revenu, les coefficients de main-d'œuvre agricole et non agricole ou du revenu migrant, indiquent que l'emploi alternatif a la diversité des cultures et la diversité génétique des niveaux baisse au niveau des ménages. L'effet prévu de la richesse est ambigu, dans certains cas, les agriculteurs qui sont plus riches en terres, bétail et main-d'œuvre agricole, sont plus aptes à maintenir la diversité.

Bien que les résultats soient mixtes pour les facteurs agro-écologiques, la fragmentation des terres agricoles, l'hétérogénéité du sol, l'altitude et l'agriculture de montagne ont tendance à être associées à une plus grande diversité des cultures et des variétés. Le plus souvent, plus l'infrastructure des marchés locaux est développée, moins important sera le niveau de la diversité des ménages. Toutefois, dans les collines de l'Éthiopie, la proximité des marchés de semences ou de produits apparaît pour permettre l'introduction des cultures et des variétés qui complètent celles entretenues par les agriculteurs. En Turquie, les marchés locaux semblent avoir encouragé la culture des variétés de blé diverses. Au Népal, les ventes de variétés indigènes étaient positivement liées à la probabilité que les agriculteurs cultivent des variétés rares.

## Conclusion

Les agriculteurs déterminent la survie des variétés ou l'entretien de complexes de gènes spécifiques dans une zone donnée, au moment de décider de les cultiver et dans quelles proportions. Le choix qu'ils font aujourd'hui affecte non seulement leur bien-être, mais aussi celui des générations futures. Avec la diminution des populations végétales, certains allèles potentiellement précieux et combinaisons de gènes peuvent être perdus. Les agriculteurs choisissent les variétés à développer en fonction de leur valeur privée, et celle-ci varie dans l'agriculture de semi-subsistance en fonction

de leurs caractéristiques et des conditions du marché, ainsi que par rapport aux caractéristiques physiques de leurs exploitations.

Les phyto-généticiens utilisent des critères de décision, lorsqu'ils choisissent les matériaux à des fins de reproduction ou de conservation, et ceux-ci diffèrent de ceux utilisés par les agriculteurs. Par exemple, ils peuvent identifier les variétés qui sont génétiquement différentes, celles qui ont des traits rares, ou celles qui expriment une grande capacité d'adaptation comme étant potentiellement importantes pour les programmes de sélection et, par conséquent pour la conservation des ressources génétiques. Ce sont des approximations de la valeur sociale des espèces primitives.

L'analyse présentée ici a porté sur la politique des compromis associés au choix des critères de conservation. L'augmentation de la probabilité que les agriculteurs maintiennent des variétés qui sont membres d'un ensemble de choix peut diminuer les chances que les variétés dans les autres séries continuent à être cultivées. Si c'est le cas, les politiques conçues pour atteindre un objectif pourrait avoir des conséquences graves pour d'autres facteurs. Nos résultats ne montrent pas de tels conflits. Toutefois, ils suggèrent que les programmes ou les politiques visant à soutenir la culture continue des variétés rares soient différents de ceux nécessaires aux diverses variétés indigènes qui sont adaptables. En particulier, l'investissement dans l'implication des femmes dans la production de riz et le développement des marchés de niches peut augmenter la probabilité que les ménages cultivent des variétés rares.

Les résultats de la régression et les statistiques sommaires indiquent comment les sites et les ménages pourraient être ciblés pour la conservation de la biodiversité locale de riz. De toute évidence, tous les foyers de culture du riz dans « l'éco-site colline » (Kaski) sont plus susceptibles de développer des variétés génétiquement diverses, rares ou adaptables. Les ménages producteurs de riz dans l'éco-site de plaine (Bara) cultivent et vendent des variétés plus modernes. Ils sont mieux en mesure de satisfaire leurs besoins de consommation par le biais de leur propre production, même si les femmes responsables des prises de décisions sont moins instruites, les ménages à cet endroit sont plus pauvres en actifs, et ils ne sont pas mieux lotis en termes de revenus extérieurs.

Ni tous les ménages, ni toutes les variétés indigènes à Kaski, sont des candidats prometteurs égaux pour la conservation. Les ménages ayant plus d'adultes actifs travaillant dans l'agriculture sont plus susceptibles de maintenir des variétés indigènes de valeur sociale, de sorte que l'accroissement des possibilités d'emploi extra-agricoles peut avoir un impact négatif sur les perspectives de conservation. Les ménages qui maintiennent des

variétés socialement valorisés ont des fermes plus hétérogènes et plus isolées des marchés. La preuve que les agriculteurs sont plus susceptibles de développer des variétés rares et vendre également le grain suggère que le développement local des marchés contrôlés et spécialisés peut constituer une incitation pour le maintien de ces matériaux, bien que la faisabilité et les coûts de mise en œuvre d'un tel programme ne soient pas connus.

Enfin, le ciblage peut impliquer d'autres compromis en termes de considérations d'équité. Les personnes les plus susceptibles de développer socialement des variétés précieuses sont biens fournies en matière d'actifs d'élevage et ont des besoins élevés de production et de consommation. Ces agriculteurs ont aussi une bonne assise en termes de revenus en espèces. Bien que la plupart des agriculteurs sur les collines du Népal soient classés comme pauvres, selon les normes internationales, cibler les lieux et les ménages les plus susceptibles de maintenir les variétés précieuses n'est pas équivalent à cibler les pauvres.

La comparaison des résultats des études économiques relatives qui ont été achevées ou sont en cours, met en évidence la spécificité de l'emplacement des effets prévus de plusieurs des facteurs, en particulier ceux liés au capital humain et à la richesse des caractéristiques du ménage. Bien que l'infrastructure du marché et des hypothèses d'hétérogénéité de l'environnement soient robustes, une compréhension beaucoup plus fine des marchés de semences et des systèmes comme un moyen d'appuyer la gestion de la diversité des cultures est nécessaire. Une mise en garde méthodologique au moins doit également être tenue en compte lorsque l'on interprète les résultats d'études de cas comme ceux-ci. Bien que nous croyons que les considérations agro-écologiques, dans certains cas interagissant avec le développement des infrastructures de marché, soutiendront la persistance des différences dans la gestion de la diversité du riz entre les collines et les plaines, la mesure dans laquelle la variation transversale peut se substituer à la variation temporelle est limitée. Les données longitudinales, ou les données qui permettent le suivi périodique des résultats relatifs à la fois à la diversité et aux processus sous-jacents, permettraient de tirer de plus fortes conclusions et seraient nécessaires pour créer des incitations appropriées pour la conservation dans les centres importants de la diversité.

## Remerciements

Ce chapitre est basé sur des recherches menées dans le cadre du projet «conservation *in situ* de la biodiversité agricole à la ferme" au Népal. Nous



sommes reconnaissants aux scientifiques chevronnés T. Hodgkin, D. Jarvis, P. Eyzaguirre, et B. Sthapit (Institut international des ressources phylogénétiques) pour leurs idées et pour les contributions de E. Van Dusen, de l'Université de Californie, Berkeley. Cette recherche a été financée par le Centre de recherche en développement international du Canada, l'Agence Suisse pour le développement et la coopération, la Direction générale de la coopération internationale des Pays-Bas, et l'Union Européenne. Les auteurs sont également reconnaissants aux membres de l'équipe du projet *in situ*, au Népal, en particulier le personnel de terrain aux éco-sites de Bara et Kaski, pour leur soutien dans l'enquête sur le terrain.

## Notes

1. Puisque la distance totale des parcelles agricoles était fortement corrélée à la superficie cultivée, les deux variables ont été combinées en une seule pour saisir l'effet des parcelles dispersées tout en contrôlant le nombre total d'hectares cultivés.

2. les ventes passées plutôt qu'actuelles ont été exploitées pour s'assurer que les variables indépendantes utilisées pour expliquer les choix des variétés de riz ne soient pas aussi les variables de choix. Les montants des ventes ont été préférés à une variable zéro-un, car ils expriment une plus grande variation.

## Referencias

- APSD (Agri- Business Promotion and Statistics Division). 2001. *Statistical Information on Nepalese Agriculture*. Nepal: Ministry of Agriculture, hmg.
- Benin, S. B., M. Gebremedhin, M. Smale, J. Pender, and S. Ehui. 2003. Determinants of cereal diversity in communities and on house hold farms of the northern Ethiopian highlands. *Agriculture and Development Economics Division (ESA) Working Paper* 03- 14. Rome: fao. Available at [www.fao.org/es/ESA/wp/ESAWP03\\_14.pdf](http://www.fao.org/es/ESA/wp/ESAWP03_14.pdf).
- Birol, E. 2004. *Agri- environmental Policies in a Transitional Economy: Conservation of Agricultural Biodiversity in Hungarian Home Gardens*. PhD thesis, University College London, University of London.
- Brush, S. B., J. E. Taylor, and M. R. Bellon. 1992. Biological diversity and technology adoption in Andean potato agriculture. *Journal of Development Economics* 39:365-387.
- Gauchan, D., M. Smale, and P. Chaudhary. 2005. Market-based incentives for conserving diversity on farms: The case of rice landraces in central Tarai, Nepal. *Genetic Resources and Crop Evolution* 52:293-303.

- Meng, E. 1997. *Land Allocation Decisions and In Situ Conservation of Crop Genetic Resources: The Case of Wheat Landraces in Turkey*. PhD dissertation, University of California, Davis.
- Shrestha, G. L. and D. A. Vaughan. 1989. *Wild Rice in Nepal*. Paper presented at the Third Summer Crop Working Group Meeting, National Maize Research Program, Rampur, Chitwan, National Agricultural Research Centre, Nepal.
- Simmonds, N. 1979. *Principles of Crop Improvement*. Harlow, UK: Longman.
- Singh, I., L. Squire, and J. Strauss, eds. 1986. *Agricultural House hold Models: Extensions, Applications, and Policy*. Washington, DC and Baltimore: The World Bank and Johns Hopkins University Press.
- Smale, M., M. Bellon, and A. Aguirre. 2001. Maize diversity, variety attributes, and farmers' choices in southeastern Guanajuato, Mexico. *Economic Development and Cultural Change* 50(1):201-225.
- Smale, M., E. Meng, J. P. Brennan, and R. Hu. 2003. Determinants of spatial diversity in modern wheat: Examples from Australia and China. *Agricultural Economics* 28(1):13-26.
- Subedi, A., D. Gauchan, R. B. Rana, S. N. Vaidya, P. R. Tiwari, and P. Chaudhary. 2000. Gender: Methods for increased access and decision making in Nepal. In D. Jarvis, B. Sthapit, and L. Sears, eds., *Conserving Agricultural Biodiversity In Situ: A Scientific Basis for Sustainable Agriculture*, 78-84. Rome: IPGRI.
- Upadhyay, M. P. and S. R. Gupta. 2000. The wild relatives of rice in Nepal. In P. K. Jha, S. B. Karmacharya, S. R. Baral, and P. Lacoul, eds., *Environment and Agriculture: At the Crossroad of the New Millennium*, 182-195. Kathmandu, Nepal: Kathmandu Ecological Society.
- Van Dusen, E. 2000. *In Situ Conservation of Crop Genetic Resources in Mexican Milpa Systems*. PhD thesis, University of California, Davis.
- Van Dusen, E. and J. E. Taylor. 2003. *Missing Markets and Crop Genetic Resources: Evidence from Mexico*. Berkeley: University of California.
- Vaughan, D. and T. T. Chang. 1992. In situ conservation of rice genetic resources. *Economic Botany* 46:369-383.
- World Bank. 2003. *World Development Indicators 2003*. Washington, DC: The World Bank.

## 17 L'économie de la conservation et l'utilisation durable des ressources génétiques de l'élevage

---

### État de l'Art

A. G. DRUCKER

L'élevage fournit environ 30% des besoins globaux de l'homme en matière d'alimentation et d'agriculture (FAO, 1999), et environ 70% des pauvres du milieu rural, à l'échelle mondiale, dépendent de l'élevage en tant qu'élément principal de leurs moyens de subsistance (élevage en développement, 1999). Les ressources génétiques animales (RGA) de la diversité contribuent ainsi à la survie humaine et à son bien-être, avec des différentes caractéristiques d'animaux et leur produits dérivés qui sont adaptés pour convenir à une variété de besoins des collectivités indigènes. Toutefois, on estime que 16% de ces races adaptées d'une manière unique, élevées sur des milliers d'années de domestication dans un large éventail d'environnements, ont été perdues depuis le début du 19ème siècle (Hall et Ruane 1993). Un autre 32% (22% de mammifères et 48% d'espèces aviaires) sont à risque d'extinction, et le taux d'extinction, actuellement à deux races par semaine, continue à s'accélérer (FAO, 2000). La diversité génétique limitée des ressources zoo-génétiques nationales (6,000-7,000 races de 40 espèces), signifie que cette perte est particulièrement préoccupante. Une telle perte irréversible de la diversité génétique réduit les possibilités d'améliorer la sécurité alimentaire, de réduire la pauvreté, et de passer à des pratiques agricoles durables.

Le grand nombre de ressources zoo-génétiques à risque dans les pays en développement, ainsi que les ressources financières limitées disponibles pour leur conservation, signifie que l'analyse économique peut jouer un rôle important pour assurer une orientation appropriée des efforts de conser-

vation (PNUE, 1995). Néanmoins, malgré l'importance de l'économie de la conservation des ressources zoo-génétiques et l'utilisation durable, le sujet n'a commencé à attirer de l'attention que récemment. Ces études révèlent qu'un éventail de méthodes peut non seulement être employé pour évaluer les races et les traits de préférences des agriculteurs, mais aussi pour la conception de politiques qui s'opposent à la tendance actuelle à la marginalisation des races indigènes. En particulier, il devient possible de reconnaître l'importance que les éleveurs de bétails accordent aux caractères adaptatifs et aux fonctions non lucratives, la nécessité d'étudier ces questions lors de la conception des programmes d'élevage, d'identifier les races représentant une priorité pour la participation aux programmes de conservation visant à maximiser la diversité en tenant compte du rapport coût-efficacité, et de faire face aux coûts associés aux bénéfices que les non-éleveurs imposent à la conservation des races.

Ce chapitre aborde brièvement le contexte théorique, les méthodes potentielles, les besoins en données, et les difficultés pour mener à bien de telles études avant d'analyser les résultats d'une gamme d'études économiques des ressources zoo-génétiques réalisées récemment en Afrique, Amérique latine et Europe.

## Économie de la conservation et l'utilisation durable des ressources zoo-génétiques

### *Comment l'économie peut-elle contribuer au processus?*

Les arguments économiques pour la conservation et l'utilisation durable des ressources zoo-génétiques peuvent être un moyen efficace permettant d'obtenir le soutien nécessaire public et politique, y compris le développement de politiques appropriées. À cet égard, des tâches importantes comprennent la détermination de la contribution économique que les ressources zoo-génétiques peuvent apporter aux diverses sociétés et groupes spécifiques au sein de ces sociétés, le soutien de l'évaluation des priorités à travers l'identification des mesures efficaces qui pourraient être prises afin de conserver la diversité des animaux domestiques, et l'assistance en matière de création d'incitations économiques et d'arrangements institutionnels pour la promotion de la conservation des ressources zoo-génétiques par les éleveurs individuels ou par les communautés.

## *Cadre analytique*

L'érosion des ressources zoo-génétiques peut être comprise sur le plan de la conversion(1) de la liste existante d'animaux domestiques avec une sélection à partir d'une petite gamme de races améliorées et spécialisées, considérées comme étant plus aptes à contribuer directement au bien-être humain. En même temps, la théorie économique a montré que le fonctionnement des marchés peut être un allié puissant à l'allocation efficace des ressources en reflétant la rareté d'une ressource donnée, par le biais du mécanisme des prix, incitant ainsi les entreprises à utiliser les ressources ou à les remplacer.

Dans cette perspective, la perte des ressources zoo-génétiques a conduit Mendelsohn (2003) à faire valoir que le premier défi se posant à la conservation des ressources zoo-génétiques est d'identifier les bonnes raisons qui pousseraient la société à protéger des animaux que les agriculteurs avaient abandonnés. Étant donné que le marché permettra de préserver les races précieuses de bétails, les écologistes doivent se concentrer sur ce que le marché n'est pas capable de faire. Ceci comprend l'identification et la quantification des avantages sociaux potentiels de ressources zoo-génétiques qui ont été abandonnées par le marché. Ainsi, les écologistes doivent d'abord faire une étude citant les arguments qui pousseraient la société à dépenser de l'argent afin de protéger des ressources zoo-génétiques peu rentables d'apparence. Ils doivent aussi concevoir des programmes de conservation qui serviront à protéger les races précieuses aux yeux de la société.

Tisdell (2003) reconnaît également l'importance des impacts du marché sur les ressources zoo-génétiques, en notant l'influence des technologies d'élevage disponibles dans les pays développés (comme l'insémination artificielle et l'élevage intensif industrialisé) sur les populations de bétail dans les pays en développement, ainsi que le fait que l'extension des marchés et la mondialisation seraient susceptibles d'accélérer la disparition des races. Un tel résultat peut se produire à travers la spécialisation régionale, la réduction des coûts des transferts internationaux de races, les effets de dominance de Swanson (c.-à-d.- que les races utilisées dans les pays développés ont tendance à remplacer celles des pays en développement), la spécialisation par avantage comparatif qui conduit à une demande réduite pour les races à usages multiples, le changement des goûts des consommateurs et leurs exigences, les changements au niveau de la disponibilité et des coûts d'importation d'aliments, et la tendance à contrôler les environnements dans lesquels les animaux sont élevés (Tisdell 2003:367-368).

Tisdell (2003:371) cite un exemple de la FAO (FAO non daté:45) en provenance du Nigeria pour illustrer comment l'ouverture des échanges

interrégionaux et la hausse des prix des cultures d'arbres ont conduit les agriculteurs à abandonner leur bétail local. Comme le note la FAO, bien qu'il « s'agisse d'une stratégie parfaitement rationnelle à moyen terme de la part des agriculteurs, il serait hâtif pour le gouvernement national de perdre les ressources génétiques que ces animaux représentent en raison d'une tendance temporaire au niveau du commerce mondial. »

La capacité de ces forces du « libre » marché à fournir un résultat socialement souhaitable est encore contestée par Pearce et Moran (1994), qui soutiennent que la conservation de la biodiversité (et des ressources génétiques) génère des valeurs économiques (l'utilisation et la non-utilisation), qui pourraient ne pas être retenues sur le lieu de vente à cause de l'échec du marché, des interventions, ou du crédit global. Le résultat de ces échecs représente une distorsion dans laquelle les incitations sont à l'encontre de la conservation des ressources génétiques et en faveur des activités économiques qui détruisent ces ressources. Smale (2005) a récemment compilé des méthodes et des études empiriques d'évaluation économique des ressources génétiques des cultures à la ferme et traite les questions qui en relèvent.

Par exemple, la rationalité économique suggère que des décisions telles que le remplacement d'une race indigène d'élevage par une race importée serait déterminé par le taux de rendement relatif des deux options. Toutefois, les taux de rendement pertinents sont ceux qui reviennent au profit de l'agriculteur plutôt qu'à celui de la nation ou de la terre dans son ensemble. Pour l'éleveur, la perte de la race indigène semble être économiquement rationnelle, car les rendements sont plus élevés que ceux provenant des activités compatibles avec la conservation des ressources génétiques, et ce parce que ceux-ci peuvent se définir en tant que bénéfiques non marchands qui reviennent à des personnes autres que l'agriculteur et parce que des intrants subventionnés et des services (p.e., l'insémination artificielle et les soins vétérinaires) peuvent être disponibles pour la race importée.

Swanson (1997) note que ces valeurs non marchandes ont tendance à être importantes puisque la biodiversité n'est pas équitablement répartie entre les différentes régions, ce qui suggère que les valeurs globales externes peuvent en effet être importantes. Le problème de la biodiversité peut donc être perçu comme étant un ensemble de difficultés qui découlent du fait que le processus de conversion a toujours été réglementé sur une base décentralisée au niveau mondial. Historiquement, les États et les individus ont été capables de prendre leurs décisions concernant la conversion de leurs terres et ressources, sans tenir compte des conséquences sur les autres. Cela crée un problème important de réglementation parce que le

coût des services perdus à chaque conversion successive n'est pas le même. Au fur et à mesure de l'avancement du processus de conversion, le coût de chaque conversion successive en termes de services de ressources diverses perdus à toutes les sociétés sur Terre augmente rapidement. L'absence de tout mécanisme visant à joindre ces coûts au cadre de la prise de décisions de conversion de l'État ou de l'individu constitue une partie importante du problème de la biodiversité.

L'analyse économique est donc nécessaire pour aider à comprendre les incitations financières qui se présentent aux éleveurs en faisant le choix entre les races indigènes et les races importées, et les interventions nécessaires pour s'assurer que le processus de développement agricole en cours sera compatible avec la conservation et l'utilisation durable de la diversité des races de bétail.

## Les méthodes et les contraintes dans l'analyse économique de la conservation et l'utilisation durable des ressources zoo-génétiques

Malgré l'importance de l'étude de l'économie de la conservation des ressources zoo-génétiques, le sujet n'a eu droit qu'à peu d'attention (FAO / ILRI 1999), même s'il existe un cadre conceptuel pour l'évaluation de la biodiversité en général. Certaines raisons justifient ce fait.

### *Les contraintes méthodologiques*

Premièrement, il y a un certain nombre de difficultés méthodologiques, dont beaucoup sont liées à la valorisation des ressources phytogénétiques (RPG). Par exemple, Evenson (1991) affirme que la mesure des avantages de la diversité du germoplasme, au profit du développement des cultures, est extrêmement difficile. Les ressources génétiques sont rarement négociées sur les marchés et sont souvent le produit de plusieurs générations d'innovations informelles. Par conséquent, l'identification de la contribution d'une race particulière autochtone à la réussite d'une variété améliorée ou d'une race serait une tâche complexe. En outre, les matériaux de base utilisés pour la reproduction sont eux-mêmes le résultat d'une fonction de production, et identifier les rendements des facteurs respectifs (comme la main d'oeuvre, la technologie à la ferme et les contributions intellectuelles) n'est susceptible d'être possible que dans les termes les plus généraux (Evenson 1991; Pearce et Moran, 1994).

Néanmoins, une gamme de techniques analytiques permettant la réalisation d'une telle analyse pourrait être adoptée pour d'autres secteurs de l'économie. Elles ont été examinées par Drucker et al. (2001), et les méthodes ont été largement distinguées en trois groupes selon le but pratique pour laquelle elles seront menées. Comme on le voit dans le tableau 17.1, on présente: la détermination de la convenance des coûts d'un programme de conservation des ressources zoo-génétiques, la détermination de l'importance économique réelle de la race menacée, et le classement des priorités dans les programmes d'amélioration des ressources zoo-génétiques.

### *La disponibilité limitée des données*

Deuxièmement, la disponibilité des données représente une contrainte. Afin d'utiliser ces méthodes, il est nécessaire d'exercer les activités suivantes:

- Mesurer les paramètres de rendement par race.
- Caractériser les systèmes d'élevage acquis et potentiels.
- Identifier les usages et les préférences des éleveurs (y compris l'évocation des valeurs mises en place par les éleveurs concernant les traits spécifiques et les compromis qu'ils sont prêts à faire entre eux) en matière de races indigènes sous différents systèmes de production et les forces qui agissent sur ces facteurs et l'adoption des races alternatives.
  - Identifier les facteurs affectant la demande de bétail et son prix, y compris l'impact des changements induits par la politique sur les prix des matières premières agricoles (p.e., fourrage ou culture) et les charges externes (p.e., vétérinaires) dans le contexte d'utilisation de races différentes.
  - Analyser l'impact potentiel de l'usage de races alternatives sur les moyens de subsistance, ainsi que les contraintes touchant l'adoption et les mécanismes d'accès potentiel et de dissémination.
  - Examiner le rôle de facteurs tels que la propriété foncière, le potentiel agricole, la densité de la population, l'accès aux marchés et l'intégration, les exigences d'octroi de licences, les régimes fiscaux, les programmes de crédit et de vulgarisation, et l'éducation.

### *Les besoins en données non marchandes et les techniques de sondage*

Troisièmement, les importantes contributions non marchandes (telles que, la résistance à la sécheresse et aux maladies, l'aptitude à la traction, les valeurs culturelles et sociales, l'élevage en tant que moyen de financement et



Tableau 17.1. Appréciation de la méthode d'évaluation des ressources zoo-génétiques.

Méthode d'évaluation	But, objectif, ou force	Acteurs pour qui la méthode d'évaluation est la plus pertinente	Rôle dans la conservation	Type de données nécessaires	Disponibilité des données	Faiblesse conceptuelle ou difficultés
<b>Méthodes pour déterminer la pertinence des coûts du Programme de conservation des ressources zoo-génétiques</b>						
Méthodes d'évaluation contingente	Identifier la volonté de ce que la société est disposée à payer (WTP) pour la conservation des ressources zoo-génétiques, l'indemnisation WTP des agriculteurs pour augmenter les ressources zoo-génétiques indigènes plutôt que des espèces exotiques ou de déterminer les préférences des agriculteurs trait valeur et les bénéfices nets par race.	Les décideurs politiques responsables la conservation	Définir la limite supérieure à la justification économique des coûts du programme de conservation.	Préférences de la société exprimées en termes de volonté à payer ou à accepter.	Normalement non disponibles; enquête requise.	Difficultés d'intervention en cas d'utilisation pour les espèces non charismatique ou dans des cas d'érosion génétique chronique.
Perte de production évitée	Indiquer l'ampleur des pertes de production potentielle en l'absence de conservation des ressources zoo-génétiques.	Les agriculteurs et les décideurs politiques responsables de la conservation.	Justifier les coûts du programme de conservation d'une telle ampleur.	Estimation des pertes de production potentielles (p.e., pourcentage du troupeau et valeur marchande des animaux).	Valeurs de marché des animaux disponibles pour les races commerciales, la perte potentielle du troupeau doit être estimée.	Pas un consommateur / la mesure du surplus du producteur de la valeur; ne tient pas compte des effets de substitution.

Coût d'opportu- nité	Identifier les coûts de maintien de la diversité des ressources zoo-génétiques.	Les agriculteurs et les décideurs politiques responsable de la conservation	Définir le coût d'opportunité du programme de conservation des ressources zoo-génétiques	Les coûts de production des ménages et le revenu net.	Normalement non disponibles; enquête requise.
À moindre coût	Identifiez un programme efficace et rentable pour la conservation des ressources zoo-génétiques.	Les décideurs politiques responsables de la conservation, les agriculteurs et les éleveurs dans une certaine mesure.	Définir le coût minimum du programme de conservation.	Frais de ménage de la production et la rentabilité.	Normalement non disponibles; enquête requise.
Sécurité: la norme minimale	Évaluer les compromis impliqués dans le maintien d'une population minimale viable.	Les décideurs politiques responsables de la conservation.	Définir le coût d'opportunité du programme de conservation des ressources zoo-génétiques.	Différence entre les coûts et les bénéfices du programme de conservation de l'élevage de races différentes.	Bon jugement nécessaire pour savoir si la substitution de races va générer au-delà des avantages de la conservation des races autochtones.
<b>Méthodes pour déterminer l'importance économique réelle de la race</b>					
Offre et demande globales	Identifier la valeur de la race pour la société.	Les décideurs politiques responsables de la politique de conservation et d'élevage; éleveurs de bétail.	Valeur des pertes potentielles associées à la perte des ressources zoo-génétiques.	Données Inter-temporelles ou au niveau des exploitations.	Coût fictif du travail à domicile et du fourrage nécessaire.

Tableau 17.1. suite à la page suivante

Tableau 17.1. suite

Méthode d'évaluation	But, objectif, ou force	Acteurs pour qui la méthode d'évaluation est la plus pertinente	Rôle dans la conservation	Type de données nécessaires	Disponibilité des données	Faiblesse conceptuelle ou difficultés
Évaluation transverse de la ferme et des ménages	Identifier la valeur de la race pour la société.	Les décideurs politiques responsables de la politique de conservation et de l'élevage ; les éleveurs de bétail et les agriculteurs.	Valeur des pertes potentielles associées à la perte des ressources zoogénétiques.	Des différences de prix aux consommateurs et de production selon le lieu.	Normalement non disponibles; enquête requise.	Coût fictif du travail à domicile et du fourrage nécessaire.
La part de marché	Identifier la valeur marchande actuelle d'une race donnée.	Les décideurs politiques responsables de la politique de conservation et de l'élevage; les éleveurs de bétails et les agriculteurs.	Justifier l'importance économique de la race donnée.	Valeur de marché des produits d'origine animale par race.	Généralement disponibles, mais pas toujours par race.	Ce n'est pas une mesure du surplus pour les consommateurs ni pour les / producteurs; ne tient pas compte des effets de substitution.
Droits de propriété intellectuelle et des contrats	La création de marchés et de soutien pour le partage juste et équitable des avantages des ressources zoogénétiques.	Les décideurs politiques responsables de la conservation; les éleveurs et les agriculteurs.	Générer des fonds et des incitations pour la conservation des ressources zoogénétiques.	Des redevances ou termes du contrat.	Habituellement disponibles lors de tels arrangements, mais peut être secret commercial.	Durée limitée des contrats.
<b>Méthodes d'établissement des priorités des programmes de sélection des ressources zoogénétiques</b>						
Évaluation de programme d'élevage	Identifier les avantages économiques nets d'amélioration des stocks.	Les agriculteurs et les éleveurs.	Maximiser les retombées économiques des ressources zoogénétiques conservées.	Effets sur le rendement et les coûts des intrants.	Disponibles pour les races commerciales; normalement pas disponibles pour des tiers; enquête ou recherche nécessaire.	Difficulté à séparer la contribution des ressources génétiques des autres coûts du programme.

Fonction de production génétique	Identifier les avantages économiques nets d'amélioration des stocks.	Les agriculteurs et les éleveurs.	Maximiser les bénéfices attendus économique des ressources zoo-génétiques conservées.	Effets sur le rendement et les coûts des intrants.	Disponibles pour les races commerciales; normalement pas disponibles pour des tiers; enquête ou recherche nécessaire
Hédonique	Identifier les valeurs des traits.	Les agriculteurs et les éleveurs, les décideurs politiques responsables de la conservation.	Valeur des pertes potentielles associées à la perte des ressources zoo-génétiques; comprendre les préférences des races.	Caractéristiques des animaux et des prix du marché.	Disponibles pour les races commerciales; normalement pas disponibles pour des tiers; enquête ou recherche nécessaire.
Modèle de simulation agricole	Améliorer les caractéristiques des animaux sur l'économie agricole	Les agriculteurs et les éleveurs.	Maximiser les retombées économiques des ressources zoo-génétiques conservées.	Entrées et sorties; coefficients techniques de toutes les activités principales.	Entrées et sorties; Disponible pour les races commerciales; normalement pas disponibles pour des tiers; enquête nécessaire.
					Définition correcte de la fonction de l'objectif de la ferme; l'agrégation pour estimer le surplus du consommateur peut également être problématique.

Source: Drucker et al. (2001).

d'assurance) de l'élevage aux moyens de subsistance doivent être intégrées dans les modèles et les analyses économiques, car de telles informations sont primordiales à l'identification des objectifs des programmes d'élevage appropriés et représentent aussi une évaluation de la rentabilité relative de l'utilisation de races différentes.

Cependant, malgré une multitude de données sur la production animale à l'échelle nationale, cette information tend à se limiter à quelques races principales et néglige considérablement les importantes contributions non marchandes. Des initiatives telles que le Système d'information sur la diversité des animaux domestiques de la FAO (DAD-IS) et le système d'information sur les ressources génétiques des animaux domestiques de l'Institut international de recherche sur l'élevage (ILRI), n'ont commencé à aborder ce problème que récemment. Le problème du choix méthodologique est donc aggravé par le manque de données pertinentes et l'aptitude à les acquérir.

Quatrièmement, le problème lié à la disponibilité des données est également étroitement liée aux moyens de les recueillir. C'est dû au fait que la plupart des avantages apportés par l'élevage indigène aux systèmes de production marginale servent les intérêts des producteurs plutôt que ceux des consommateurs. En conséquence, les ressources génétiques de ces races ont été formées principalement à partir des préférences des producteurs. C'est vers l'identification et la caractérisation de ces préférences que la recherche doit donc s'orienter, afin d'identifier la valeur implicite des traits génétiquement déterminés comme première estimation de la valeur des ressources zoo-génétiques indigènes. Dans les systèmes de production marginale, la pression de sélection exercée sur le bétail est dirigée vers la production d'animaux capables de réaliser un rendement satisfaisant au niveau des ressources marginales.

Les rendements du bétail sont évalués par les producteurs mais le sont surtout dans un cadre non marchand. C'est donc cette catégorie d'agents économiques ainsi que ces fonctions non marchandes qu'on doit être en mesure d'étudier afin d'en tirer des valeurs économiques (Scarpa et al. 2003a). La question qui se pose par conséquent est d'identifier la meilleure manière de le faire.

### *Le besoin d'utiliser des techniques d'évaluation rurale*

Dans le contexte des résultats empiriques des études d'évaluation de la biodiversité et des difficultés rencontrées dans l'application des méthodes et des enquêtes dans les zones rurales ou des secteurs éloignés de l'économie

de marché, Pearce et Moran (1994:94) signalent : "Un domaine de plus ample recherche implique la modification éventuelle des techniques économiques pour une utilisation en conjonction avec un organisme créé des approches participatives et des méthodes rapides d'évaluation rurale."

Les méthodes d'évaluation en milieu rural ont été préconisées comme étant des outils utiles de planification chez les éleveurs (Waters-Bayer et Bayer 1994), des moyens permettant d'améliorer la compréhension des intérêts des éleveurs en matière de races et de leur préférence en matière de caractères fonctionnels et de production (Steglich et Peters, 2002), de sélectionner les caractères génétiques dans les programmes d'amélioration des bovins (Tano et col. 2003), d'accomplir l'analyse de la situation et le développement technologique (Conroy, 2003), et comme un mécanisme de facilitation des processus d'innovation au niveau local où l'éleveur est le détenteur des connaissances clés (les options de fourrage en systèmes à faible apport externe, p.e.) (Peters et al. 2001).

La solution est de faire correspondre le type de méthode avec le genre d'information nécessaire. Dans de nombreux cas, la meilleure approche implique la combinaison de plusieurs différentes méthodes d'évaluation rurale.

## Résultats et discussion

Malgré les contraintes citées ci-dessus concernant l'analyse économique de la conservation et l'utilisation durable des ressources zoo-génétiques, où les méthodes et les approches permettant de rassembler les données nécessaires ont été identifiées, un certain nombre de résultats intéressants ont été obtenus.

### *Outils d'aide à la décision pour identifier les priorités de conservation des races*

Reconnaissant le grand nombre de races de bétails indigènes qui sont actuellement menacées et le fait qu'elles ne puissent pas être toutes sauvées, étant donnés les budgets de conservation limités, Simianer et al. (2003) ont mis au point un outil d'aide à la décision par l'élaboration d'un cadre pour l'attribution d'un budget donné parmi un ensemble de races telles que le montant prévu de la diversité entre-races conservées est maximisées. S'appuyant sur les travaux de Weitzman (1993), ils ont fait valoir que le critère optimal pour un système de conservation est de maximiser

l'utilité totale prévue de l'ensemble des races, ce qui représente une somme pondérée de la diversité sur le plan économique, au niveau des caractéristiques des races représentées dans l'ensemble, et au niveau de la valeur des races conservées. La méthode est illustrée par un exemple de 23 races africaines de bovins Zébu et Zenga. Les résultats indiquent que les fonds de conservation devraient être consacrés à seulement 3 à 9 (selon le modèle considéré) des 23 races et que ces dernières ne sont pas nécessairement les plus menacées. En outre, lorsque les modèles sont suffisamment précis et lorsque les données essentielles sur les paramètres clés sont disponibles, le cadre peut être utilisé pour prendre des décisions rationnelles à l'échelle mondiale.

### *Les techniques de préférences exprimées (évaluation contingente) d'évaluation non marchande*

Obtenir les données à utiliser dans ces outils d'aide à la décision entraîne souvent le développement d'un certain nombre de techniques capables d'attribuer des valeurs aux multiples précieux apports et résultats, des fonctions de production des ménages. Tano et col. (2003) et Scarpa et col. (2003a, 2003b) ont recours à des expériences de choix de préférence qui ont déjà été citées afin d'estimer les caractères phénotypiques exprimés dans les races indigènes de bétail. Des caractères adaptatifs et des fonctions non monétaires sont présentés comme étant des éléments importants de la valeur totale des animaux aux éleveurs. En Afrique de l'Ouest, par exemple, les traits les plus importants devant faire partie des objectifs du programme d'amélioration de la race se sont révélés : la résistance aux maladies, l'aptitude à la traction et les performances de reproduction. La production de viande et de lait a été moins importante. Les études montrent aussi que non seulement ces techniques (adaptées à partir d'autres domaines d'analyse économique de l'environnement) fonctionnent non seulement au niveau de la recherche sur les ressources zoo-génétiques, mais pour étudier les valeurs des traits génétiquement déterminés, pas reconnus dans le cheptel actuellement, mais constituant des candidats souhaitables pour la reproduction ou pour les programmes de conservation (comme la résistance aux maladies).

En outre, les articles examinent la manière des caractéristiques des ménages à déterminer les différences au niveau des préférences en matière de race. Ces informations complémentaires peuvent être utiles pour concevoir des politiques qui s'opposent à la tendance actuelle à la marginalisation des races indigènes. Par exemple, elles peuvent être utilisées pour

cibler les incitations à la conservation des races. Dans le cas du Mexique, l'expérience du choix révèle qu'un minimum d'incitations et interventions seraient nécessaires pour assurer l'utilisation continue et durable du porc créole, parce que la valeur nette que les petits producteurs lui donne, est très similaire à celle des autres races. Dans une étude de cas effectuée dans des pays développés, Cicia et al. (2003) montrent qu'un choix dichotomique a indiqué qu'une approche préférentielle peut servir à estimer les avantages d'établir un programme de conservation du cheval italien Pentro, menacé d'extinction. Un modèle bioéconomique est utilisé afin d'estimer les coûts relatifs à la conservation, et une analyse coût-bénéfices est réalisée par la suite. Non seulement les résultats révèlent une valeur nettement positive, réelle et importante, associée à l'activité de conservation proposée, mais révèlent aussi que cette approche est un outil de décision utile, aidant les décideurs politiques à allouer des fonds qui se font de plus en plus rares, alors que le nombre d'espèces animales menacées d'extinction ne cesse d'augmenter.

#### *Techniques des préférences révélées pour l'évaluation des marchés*

Contrairement à l'approche des préférences citée ci-dessus, Jabbar et Diedhiou (2003) montrent qu'une approche des préférences révélées hédonique peut également être utilisée pour déterminer les pratiques de reproduction des éleveurs et les préférences de race. L'analyse de ces facteurs dans le sud-ouest du Nigeria, confirme une forte tendance à s'éloigner des races trypanotolérantes, en particulier la race Muturu, et identifie les traits les moins désirés par les éleveurs par rapport aux autres races Zébu. Les résultats suggèrent que le meilleur moyen de mettre en œuvre une stratégie de conservation ou d'utilisation durable pour les races à risque comme les Muturus, est susceptible de voir le jour dans d'autres régions d'Afrique de l'ouest, comme dans le sud du Nigeria, où la trypanosomose reste une contrainte, où le Muturu est mieux adapté aux systèmes d'exploitation agricole, et où il y a encore un marché important pour cette race.

#### *Modèle de productivité agrégé pour l'évaluation comparative du rendement (races croisées versus autochtones)*

L'importance secondaire des caractères de production de viande et de lait dans de nombreux systèmes de production a conduit Ayalew et al. (2003) à faire valoir que les critères classiques d'évaluation de la productivité sont insuffisants pour évaluer la production de l'élevage de subsistance, car ils



n'assimilent pas les bénéfiques invendables de l'élevage, et le concept de base d'une seule entrée limitative est inapproprié à la production de subsistance, étant donné que de multiples entrées limitatives (élevage, travail, terre) sont impliquées dans le processus de production. C'est pourquoi il faut regrouper le plus possible de fonctions d'élevage (physique et socio-économiques) en valeurs monétaires et les lier aux ressources utilisées, indépendamment du fait que ces «produits» soient commercialisés, consommés, ou maintenus pour une utilisation ultérieure. Un modèle d'évaluation globale impliquant les trois indices complémentaires de la productivité du troupeau, a été élaboré et appliqué afin d'évaluer la production de subsistance des chèvres dans les hautes terres de l'Est éthiopien. Les résultats montrent que les troupeaux de chèvres indigènes ont généré des bénéfices nets significativement plus élevés sous une gestion améliorée que sous la gestion traditionnelle. Ceci remet en question l'idée répandue que l'élevage autochtone ne suffit pas à répondre aux pratiques de gestion améliorées. En outre, il est montré que lorsque le mode de subsistance de la production est pris en considération, l'hypothèse soutenant que les chèvres de races croisées sont plus productives et rentables que les chèvres indigènes est fautive. Le modèle fournit ainsi une plate-forme plus réaliste permettant de proposer des interventions d'amélioration durables.

### *Coûts et bénéfices de la conservation (diverses techniques)*

Même lorsque la valeur des races indigènes a été reconnue et les mécanismes de soutien ont été mis en œuvre, des lacunes importantes peuvent être identifiées. Lors d'un examen qu'ils ont effectué sur les mesures de conservation de la biodiversité des animaux d'élevage et leur coût potentiel dans l'Union européenne (UE), Signorello et Pappalardo (2003) rapportent que de nombreuses races menacées d'extinction, d'après la liste de la FAO World Watch, ne sont pas couvertes par les paiements de soutien parce qu'elles ne figurent pas dans les plans de développement rural de ces pays. En outre, lorsque les paiements sont effectués, ils ne tiennent pas compte des différents degrés de risque d'extinction touchant les races, et sont en tout cas insuffisants, donc peu profitables pour le redressement des races indigènes. Les mesures de conservation des ressources zoo-génétiques de l'UE doivent donc être révisées si elles veulent atteindre leurs objectifs.

Les mesures incitatives pour la conservation des races autochtones demeurent insuffisantes malgré le fait que les coûts de conservation soient faibles selon Drucker (presse), qui s'appuie sur les écrits concernant les normes minimales de sécurité (SMS) et adapte la matrice minimax des

gains de Crowards (1998) pour étudier les races plutôt que les espèces. La structure de base estime que les avantages incertains de la conservation des races de bétails indigènes peuvent être maintenus tant qu'une population viable minimale (le SMS, dans ce cas la mesure FAO « pas en danger », qui équivaut à environ 1.000 animaux) de la race est également maintenue. Les coûts de mise en œuvre de SMS sont constitués de la différence de coût d'opportunité (si elle existe) du maintien de la race indigène plutôt que des races croisées ou exotiques. En outre, les dépenses d'appui administratif et technique du programme de conservation doivent être prises en compte. Les estimations de coûts empiriques sont alors obtenues à partir des données touchant les études économiques de cas de trois ressources zoo-génétiques mentionnées en dessus (UE, l'Italie et le Mexique). Les résultats soutiennent l'hypothèse que les coûts de mise en œuvre de SMS sont faibles (comme indiqué dans le tableau 17.2, en fonction de la race, les coûts varient d'environ 3.000 à 426.000 euros par an), à la fois par rapport à la taille des subventions actuellement fournies au profit du secteur d'élevage (moins de 1% de la subvention totale) et relativement aux avantages de la conservation (ratio avantages-coûts de plus de 2,9). Un fait encourageant : les coûts sont plus bas dans les pays en développement, étant donné que 70% des races d'élevage existant aujourd'hui se trouvent là où le risque de perte est le plus élevé (Rege et Gibson, 2003). Les coûts sont particulièrement bas, là où les approches de conservation sont appliquées dans les communautés qui favorisent encore le maintien de la race indigène. Par conséquent, les approches SMS doivent être mises en œuvre avec le soutien gouvernemental ou non gouvernemental, en collaboration avec ces communautés.

L'approche SMS se révèle ainsi avoir un rôle à jouer dans la conservation des ressources zoo-génétiques, mais une quantification plus poussée des composants nécessaires pour déterminer les coûts des SMS doit être entreprise, avant de pouvoir être mise en pratique. Une telle évaluation économique doit couvrir toute la gamme des races ou espèces à l'étude et veiller à ce que le plus grand nombre possible des éléments qui constituent leur valeur économique totale soient comptabilisés.

Drucker et Anderson fournissent des données supplémentaires soutenant l'hypothèse que les coûts de conservation des ressources zoo-génétiques sont susceptibles d'être dérisoires si on les compare aux bénéfices. Dans un document inédit qui montre comment les données obtenues grâce à l'utilisation de méthodes d'évaluation rurale peuvent être appliquées à certaines des méthodes d'évaluation examinées par Drucker et al. (2001), ils montrent que les coûts de conservation sont de plusieurs ordres de grandeur moins élevés (tableau 17.3).

Tableau 17.2. Coûts annuels (en Euros) de la réalisation du standard minimum de sécurité (SMS) pour les races de bétails sélectionnées.

Cas d'étude	PB <sub>exotique</sub>	EB <sub>ind</sub>	Coût d'opportunité différentiel pour 1000 animaux	C <sub>ind</sub>	Coût annuel de SMS *
Cochons Créole, Mexique <sup>a</sup>	24.1	21.5	2,600	200-1,100	<2,800-3,700
Divers, Sicile, Italie <sup>b</sup>	29 (moutons de Comisana) 15 (moutons de Comisana) 201 (chevaux aveglinais) 306 (bovin de Bruna)	-12 (mouton Bar-baresca) -27 27 (chèvres Gir-gentana) -58 (cheval Ragusana) -53 (bovine Modicana et Cinisara)	41,000 42,000 259,000 359,000	Coûts techniques et administratifs ne pas détaillés, estimés à 5% du total, le coût varie alors de 20000 à 20000 /yr	43,000 44,000 272,000 377,000
Cheval Pentro, Molise, Italie <sup>c</sup>	20.8 <sup>†</sup>	-182 (cochons Nera Siciliana)	406,000		426,000
			<179,200	Le pourcentage des coûts administratifs et des supports techniques inconnu est attribué en tant que coût de production dans la colonne EB <sub>ind</sub>	179,200

Sources: En Drucker (2005) et adapté à partir de Scarpa et al. (2003a), Signorello and Pappalardo (2003), et Cicia et al. (2003).  
 C<sub>ind</sub> = le coût de la conservation des races indigènes avec les normes minimales de sécurité (frais administratifs et de support technique inclus) ; EB<sub>indigène</sub> = bénéfices attendus de la continuité du recours aux races indigènes; PB<sub>exotique</sub> = bénéfices privés de la substitution des races de bétail par des races exotiques.  
 \* Coût annuel des normes minimales de sécurité = 1,000(PB<sub>exotique</sub> - EB<sub>indigène</sub>) + C<sub>indigène</sub>  
 † Données pas strictement comparables avec celles des autres études. Référence à de la perte de revenu.  
 ‡ Données pas strictement comparables avec celles des autres études. Référence au "nouvelles ventes" moins les "coûts de production," et différentiel des coûts d'opportunité pour 1,000 animaux = 1,000(P<sub>Exotique</sub> - EB<sub>indigène</sub>).

**Tableau 17.3.** Résumé des résultats des techniques d'évaluation en utilisant des données de valorisation rurale liées au cochons Creole Yucatec (Mexique).

	Conservation et usage durable des bénéfices (€)	Coûts de conservation (€)
Part de marché	0,54 million	
Perte évitée de production (État de Yucatan seulement)	1,21 million	
Valorisation contingente (test de dégustation auprès des consommateurs urbains)	1,43 million	
Valorisation contingente (expérimentation des choix des producteurs) et approche du moindre coût.		<2,800-3,700

Source: Drucker et Anderson, non publié.

Note: valeurs originales en US\$ converties en Euros au taux de Euro 1 =US\$1.10.

En outre, le faible coût annuel estimé pour la conservation des races indigènes de porc et le programme d'utilisation durable indique que l'approche la moins coûteuse (Brush et Meng 1996) prévoit en effet un cadre utile dans lequel les foyers ou villages, où les coûts de conservation seraient limités, peuvent être chiffrés dans un programme de conservation. Un argument économique très fort visant à mettre en œuvre un programme de conservation et d'utilisation durable peut donc être fait, et un programme pareil doit être entrepris d'urgence si la race, actuellement classée comme critique à l'échelle de risque de la FAO, n'est pas menacée d'extinction.

La taille des bénéfices nets identifiés soulève également la question de savoir si la race indigène est, comme prédit par la théorie, en fait en train de disparaître parce qu'elle est moins rentable que les autres races, du point de vue de l'agriculteur. Bien que certains types de ménages (comme les grands, les plus aisés) aient exprimé des préférences quant à la valeur des traits soutenant cette théorie, la plupart des ménages ne l'ont pas fait.

Pourtant, la production porcine à l'arrière autochtone a baissé chez tous les ménages. Il semble donc que la population de race pure a baissé à un niveau si bas, que des facteurs tel que le manque de disponibilité des stocks d'élevage autochtones, plutôt que le rendement net de l'agriculteur en soi, sont devenus des éléments déterminant le choix de race.

Au niveau de la société, la grande taille des bénéfices nets d'un plan de conservation et d'utilisation durable insinue qu'un certain nombre de

défaillances importantes du marché doivent être résolues si les valeurs des prestations (p.e., les porcs de race indigène comme réservoir de résistance à la maladie ou en fonction de leur valeur d'existence pour les consommateurs urbains) doivent être exploitées à des fins de conservation. En outre, les distorsions du marché introduites en subventionnant la production des races exotiques dans le secteur commercial sont considérables, et les niveaux de subvention sont de plusieurs ordres de grandeur plus importants que les coûts de la conservation des races indigènes. Ainsi, une ressource génétique importante pour le maintien des moyens de subsistance des agriculteurs se perd à cause du manque en matière de fonds de base, tandis que des subventions importantes qui menacent la diversité des ressources zoo-génétiques sont fournies aux agriculteurs commerciaux.

## Conclusion

Les résultats décrits dans ce chapitre (basés sur une variété d'espèces, de races, de systèmes de production, de lieux, et d'approches analytiques) montrent que des méthodes utilisées pour l'analyse économique de la conservation des ressources zoo-génétiques et l'utilisation durable existent bien et, en particulier lorsqu'elles sont utilisées en conjonction avec des méthodes d'évaluation rurale, peuvent révéler des estimations utiles des valeurs mises sur le marché, hors marché, et sur les attributs de race potentiels.

Ces informations concernant le savoir des éleveurs sur les caractéristiques des races et les besoins de gestion, ainsi que les préférences des éleveurs en matière de différents traits, constituent un apport critique aux stratégies de sélection et de conservation. En outre, les informations concernant les performances et le potentiel des races indigènes sous une gestion améliorée, les priorités de conservation des races, et la taille relative des coûts et des bénéfices résultant de programmes de conservation et d'utilisation durable peuvent être obtenues. Ces données sont essentielles pour comprendre le type et les coûts nets des interventions nécessaires pour promouvoir la conservation et l'utilisation durable des ressources zoo-génétiques.

Le défi consiste maintenant à appliquer ce type de travail dans des contextes où les résultats peuvent être utilisés au profit des éleveurs et pour soutenir le travail des chercheurs et des décideurs nationaux.

## Notes

1. La Conversion ou le remplacement peut se produire non seulement grâce à la substitution, mais aussi grâce aux croisements et à l'élimination de l'élevage en raison de modifications apportées au système de production.

2. Parmi ces derniers : des entretiens semi-structurés, l'observation directe, les stocks, les délais, les calendriers saisonniers, le classement de la richesse, le classement des préférences, et le classement par paires. Des sélections de ces outils ont été appliquées aux groupes de discussion, au niveau des ménages, de l'exploitation commerciale, et du marché, avec des informateurs clés (par exemple, les éleveurs de porcs indigènes, les bouchers, les consommateurs, le personnel des associations d'élevage) et ont également été appliquées longitudinalement par un suivi de ménages sélectionnés d'une période de plus de douze mois.

3. De même, de considérables bénéfices nets à la conservation ont été identifiés par Signorello et Pappalardo (2003) dans le cas du cheval italien Pentro, ce qui suggère que ce n'est pas une découverte isolée.

4. En outre, même dans les ménages les plus grands et plus aisés, le croisement est préférable à l'exotisme. Ainsi, il reste la question de savoir comment maintenir une ligne de race pure qui peut être utilisée pour l'amélioration par le croisement.

## Références

- Ayalew, W., J. King, E. Bruns, and B. Rischkowsky. 2003. Economic evaluation of smallholder subsistence livestock production: Lessons from an Ethiopian goat development program. *Ecological Economics* 45(3):331-339.
- Brush, S. and E. Meng. 1996. *Farmers' Valuation and Conservation of Crop Genetic Resources*. Paper prepared for the Symposium on the Economics of Valuation and Conservation of Genetic Resources for Agriculture, Centre for International Studies on Economic Growth, Tor Vergata University, Rome, May 13-15.
- Cicia, G., E. D'Ercole, and D. Marino. 2003. Valuing farm animal genetic resources by means of contingent valuation and a bio-economic model: The case of the Pentro horse. *Ecological Economics* 45(3):445-459.
- Conroy, C. 2003. *Participatory Livestock Research: A Guide*. London: Intermediate Technology Publications.
- Crowards, T. 1998. Safe minimum standards: Costs and opportunities. *Ecological Economics* 25:303-314.
- Drucker, A. G. In press. The role of safe minimum standards in the conservation of livestock biodiversity. *International Journal of Agricultural Sustainability*.
- Drucker, A., V. Gomez, and S. Anderson. 2001. The economic valuation of farm animal genetic resources: A survey of available methods. *Ecological Economics* 36(1):1-18.

- Evenson, R. 1991. Genetic resources: Assessing economic value. In J. Vincent, E. Crawford, and J. Hoehn, eds., *Valuing Environmental Benefits in Developing Economies*. Proceedings of a seminar series held February–May 1990 at Michigan State University, Special Report No. 29.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). Undated. *Extensive Pastoral Livestock Systems: Issues and Options for the Future*. Available at [www.fao-kyokai.or.jp/edocuments/document2.html](http://www.fao-kyokai.or.jp/edocuments/document2.html).
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 1999. *The Global Strategy for the Management of Farm Animal Genetic Resources*. Rome: FAO.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2000. *World Watch List for Domestic Animal Diversity*, 3rd ed. Rome: FAO.
- FAO/ILRI (Food and Agriculture Organization of the United Nations/International Livestock Research Institute). 1999. *Economic Valuation of Animal Genetic Resources*. Proceedings of FAO/ILRI workshop. Rome, March 15–17. Rome: FAO.
- Hall, S. J. G. and J. Ruane. 1993. Livestock breeds and their conservation: Global review. *Conservation Biology* 7(4):815–825.
- Jabbar, M. and M. Diedhiou. 2003. Does breed matter to cattle farmers and buyers? Evidence from West Africa. *Ecological Economics* 45(3): 461–472.
- Livestock in Development. 1999. *Livestock in Poverty- Focused Development*. Crewkerne, UK: Livestock in Development.
- Mendelsohn, R. 2003. The challenge of conserving indigenous domesticated animals. *Ecological Economics* 45(3):501–510.
- Pearce, D. and D. Moran. 1994. *The Economic Value of Biodiversity*. London: Earthscan.
- Peters, M., P. Horne, A. Schmidt, F. Holmann, P. C. Kerridge, S. A. Tarawali, R. Schultze-Kraft, C. E. Lascano, P. Argel, W. Stür, S. Fujisaka, K. Müller-Sämann, and C. Wortmann. 2001. *The Role of Forages in Reducing Poverty and Degradation of Natural Resources in Tropical Production Systems*. AgREN Network Paper 117, July. London: odi.
- Rege, J. E. O. and J. P. Gibson. 2003. Animal genetic resources and economic development: Issues in relation to economic valuation. *Ecological Economics* 45(3):319–330.
- Scarpa, R., A. Drucker, S. Anderson, N. Ferraes-Ehuan, V. Gomez, C. Risopatron, and O. Rubio-Leonel. 2003a. Valuing animal genetic resources in peasant economies: The case of the Box Keken creole pig in Yucatan. *Ecological Economics* 45(3):427–443.
- Scarpa, R., P. Kristjanson, E. Ruto, M. Radeny, A. Drucker, and J. E. O. Rege. 2003b. Valuing indigenous farm animal genetic resources in Africa: A comparison of stated and revealed preference estimates. *Ecological Economics* 45(3):409–426.

- Signorello, G. and G. Pappalardo. 2003. Domestic animal biodiversity conservation: A case study of rural development plans in the European Union. *Ecological Economics* 45(3):487-499.
- Simianer, H., S. Marti, J. Gibson, O. Hanotte, and J. E. O. Rege. 2003. An approach to the optimal allocation of conservation funds to minimize loss of genetic diversity between livestock breeds. *Ecological Economics* 45(3):377-392.
- Smale, M., ed. 2005. *Valuing Crop Biodiversity: On-Farm Genetic Resources and Economic Change*. Wallingford, UK: CABI Publishing.
- Steglich, M. and K. J. Peters. 2002. *Agro-Pastoralists' Trait Preferences in N'dama Cattle: Participatory Methods to Assess Breeding Objectives*. 7th World Congress on Genetics Applied to Livestock Production, August 19-23, 2002, Montpellier, France.
- Swanson, T. 1997. *Global Action for Biodiversity*. London: Earthscan.
- Tano, K., M. Faminow, M. Kamuanga, and B. Swallow. 2003. Using conjoint analysis to estimate farmers' preferences for cattle traits in West Africa. *Ecological Economics* 45(3):393-407.
- Tisdell, C. 2003. Socioeconomic causes of loss of animal diversity genetic: Analysis and assessment. *Ecological Economics* 45(3):365-376.
- UNEP (United Nations Environment Programme). 1995. *Global Biodiversity Assessment*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Waters- Bayer, A. and W. Bayer. 1994. *Planning with Pastoralists: PRA and More, a Review of Methods Focused on Africa*. Eschborn, Germany: GTZ.
- Weitzman, M. 1993. What to preserve? An application of diversity theory to crane conservation. *Quarterly Journal of Economic* February: 157-183.



## 18 Les rôles écologiques et économiques de la biodiversité dans les agro-écosystèmes

---

M. CERONI, S. LIU et R. COSTANZA

Comme les écosystèmes deviennent de moins en moins variés suite à la conversion et l'intensification des terres, il y a maintenant une préoccupation sérieuse et partagée sur le fonctionnement de ces systèmes et leur capacité à fournir un flux continu de services aux sociétés humaines (Ehrlich et Wilson 1991). Les conséquences écologiques de la perte de la biodiversité ont été étudiées pendant plus d'une décennie, mais ce n'est que récemment qu'on a pu parler d'une prise de conscience quant aux conséquences de la perte de la biodiversité agricole sur la biodiversité des agro-écosystèmes. L'intensification de l'agriculture a conduit à une baisse généralisée de la biodiversité agricole, d'une réduction des variétés des espèces cultivées et des races animales de bétail, à la diminution de la diversité des communautés du sol, jusqu'à l'extinction locale d'un nombre d'espèces naturelles ennemies.

Chaque fois que des espèces disparaissent localement, l'énergie, et les cycles des éléments nutritifs sont perdus avec une altération conséquente du rendement des écosystèmes et de l'aptitude des communautés à répondre aux fluctuations environnementales. Les agro-écosystèmes basés sur les monocultures sont vulnérables aux perturbations telles que la sécheresse, les inondations, les invasions de parasites et espèces envahissantes ainsi qu'aux incertitudes liées aux fluctuations du marché. D'importants apports énergétiques sous forme d'engrais, de pesticides, d'herbicides ou d'irrigation sont dès lors nécessaires.

Une agriculture multifonctionnelle et durable, où la production est réalisée dans le respect des fonctions et processus de l'écosystème et avec une incidence limitée sur les autres systèmes, devrait produire tout un éventail

de services éco-systémiques, outre la production de biomasse des comestibles et des fibres, tels que la lutte contre l'érosion, la fixation du carbone, les cycles des éléments nutritifs, les refuges fauniques et les sources de jouissance spirituelles et culturelles..

Le fonctionnement des écosystèmes fait référence aux taux et à la magnitude de leurs processus éco systémiques, tels que la production primaire, la décomposition et le recyclage des nutriments. Les services des écosystèmes sont les fonctions qui directement ou indirectement affectent le bien-être des êtres humains. Malgré l'existence de mesures bien-établies du fonctionnement des écosystèmes, tels que les taux de minéralisation et la production de matière organique, il est compliqué de transférer les estimations des écologistes aux services éco-systémiques. Puisque ces derniers constituent des propriétés anthropocentriques des écosystèmes, la notion de valeur fait en soi partie de leur délimitation (définition). Pour cette raison, les services éco-systémiques sont souvent mesurés en termes économiques plutôt qu'en termes écologiques d'énergie et de flux de matière (voir Costanza et al. 1997). Bien que les économies locales et mondiales dépendent en grande partie des services éco-systémiques, ceux-ci ont été traditionnellement ignorés par les marchés commerciaux et en conséquent peu d'importance leur a été accordée lors des décisions politiques. Ceci est bien illustré dans l'étude sur la valeur économique des services éco-systémiques au niveau mondial, réalisée par Costanza et al. (1997). L'étude a estimé la valeur économique totale des services éco-systémiques du monde entier sur une base d'évaluations économiques de ces derniers pour chacun des 16 biotopes (communauté de végétaux et d'animaux qui sont adaptés à différentes régions climatiques du globe, comme les déserts, les prairies ou forêts tempérées).

Les auteurs ont constaté que les estimations des activités économiques mondiales, telles que le produit national brut annuel et global, n'ont pas tenu compte de la contribution économique substantielle des services éco-systémiques provenant des divers biotopes mondiaux. Alors que le produit national brut mondial a été évalué à environ 18 billions de dollars EU/an, la valeur économique des services éco-systémiques a varié entre 16 et 54 billions de dollars EU/an annuels, avec une moyenne de 33 billions de dollars américains par an (en dollars EU, 1994). Dans cette étude, la mesure dans laquelle les différents écosystèmes agricoles ont contribué à la valeur totale des services éco-systémiques n'est pas bien claire. Au-delà de la production alimentaire, les terres agricoles, avec une valeur totale de 128 milliards de dollars par an (0,38% de la valeur totale estimée),

semblent peu contribuer au flux mondial des services éco-systémiques (tableau 18.1). Toutefois, ce résultat est une conséquence directe du manque d'informations disponibles sur les services d'écosystèmes dans les systèmes de production alimentaire; et de l'hypothèse que les terres agricoles ne fournissent pas d'habitat pour la faune ni ne représentent une source précieuse de loisirs. Quand ces mêmes systèmes sont inclus, la valeur totale des services éco-systémiques annuels des terres agricoles grimpe à 1,03 millions de dollars américains (3,1% de la valeur globale estimée).

Les terres agricoles, les prairies et les pâturages ensemble contribuent à la production alimentaire (336 milliards de dollars américains), suivie par la lutte biologique (121 milliards de dollars américains) et les services de pollinisation (117 milliards de dollars américains). Les principaux services fournis par les prairies et le pâturage, qui représentent des éléments des terres agricoles, sont le traitement des déchets (339 milliards de dollars américains) et la lutte contre l'érosion (113 milliards de dollars américains). Vu l'étendue de cette étude et les larges catégories employées pour identifier les principaux biotopes, ces chiffres ne reflètent pas le rôle des différentes utilisations des terres agricoles (p.e., la pénéculture, l'aquaculture, les champs inondés et l'agroforesterie), en sous-estimant forcément la contribution des agro-écosystèmes de la planète.

Quelles que soient les données définitives relatives à la contribution totale des agro-écosystèmes au bien-être de l'homme, la biodiversité agricole est ce qui prend en charge les services éco-systémiques dont dépendent nos sociétés. Pourtant, l'estimation des contributions spécifiques économiques de la biodiversité agricole et de la biodiversité en général à la valeur des services éco systémiques est un défi considérable (voir Turner et al. 2003 et Smale 2005).

Pour le bien de l'évaluation économique de la biodiversité, une distinction peut être établie entre les ressources biologiques la diversité biologique (OCDE, 2002). Les *ressources* biologiques sont des éléments de l'écosystème, tels que les gènes ou les espèces, qui sont d'une importance directement reliée à l'économie humaine. La *diversité* biologique est considérée comme ayant de la valeur pour les sociétés humaines, étant la source de la diversité d'interactions biologiques entre les espèces, de tolérances physiologiques, de dispositions structurelles dans l'espace et des structures génétiques qui à la fin déterminent le fonctionnement des écosystèmes.

L'envergure de l'évaluation économique de la biodiversité est reconnue par la Convention sur la diversité biologique (CDB). L'article IV/10 de la Conférence des parties de la CDB reconnaît que « l'évaluation économique

de la biodiversité et des ressources biologiques est un outil important pour des mesures d'incitation étalonnées et bien ciblées. »

La plupart des études portant sur l'évaluation de la biodiversité ont évalué la valeur directe des *ressources biologiques* (p.e., la valeur qui est plus aisément capturée par les marchés commerciaux), en se concentrant en particulier sur les ressources génétiques des végétaux, des récoltes et des animaux ou sur l'utilisation directe des plantes à des fins médicinales ou ornementales (pour la valeur directe des ressources génétiques dans l'amélioration des cultures, voir critiques dans Alston et al. 1998; Evenson et Gollin 2003). Les valeurs non marchandes des ressources génétiques ont été rarement évaluées, notamment les ressources génétiques animales (Drucker, Chapitre 17), et plus récemment, les composantes de la biodiversité agricole dans les jardins familiaux (Biol 2004 ; Biol et al, 2004). Deux collections d'études sur l'évaluation des ressources génétiques des plantes conservées dans les banques de gènes (Koo et al. 2004) et la biodiversité des plantes cultivées dans les exploitations agricoles (Smale 2005; voir aussi Chapitre 16), ont été récemment publiées, toutes deux utilisant des données primaires. Ces études sont basées sur des recherches détaillées sur le terrain et des méthodes avancées afin d'évaluer certains éléments ou points d'entrée de la diversité biologique. Il n'existe presque aucune information sur la valeur économique de la plupart des composantes de la biodiversité pour les sociétés humaines, et en particulier leur valeur directe. Par exemple, la diversité des espèces ou des groupes fonctionnels dans une communauté écologique a de la valeur pour notre société, dans la mesure où elle est importante pour la prestation de services dont nous bénéficions, tels que le recyclage des éléments nutritifs, la production de biomasse et sa stabilité. Cependant, prouver que la diversité des communautés a effectivement de la valeur est extrêmement difficile et il est encore plus difficile d'établir les règles écologiques générales qui peuvent correspondre aux objectifs généraux de l'évaluation économique. Dans ce chapitre, nous rapporterons des résultats d'études empiriques écologiques ayant mesuré le lien entre les fonctions de la diversité et des écosystèmes (principalement dans les agro systèmes), avec l'hypothèse que les fonctions des écosystèmes offrent une indication utile sur l'orientation et l'intensité des flux de services éco-systémiques sans forcément s'y traduire. Nous nous concentrons principalement sur le rôle de la biodiversité agricole (plutôt que sur les ressources biologiques). En plus de fournir des preuves provenant d'études empiriques écologiques, cette section aborde brièvement la manière dont les connaissances écologiques de la biodiversité peuvent être utilisées pour

Tableau 18.1. Résumé de la valeur moyenne annuelle globale des services des écosystèmes (en US\$/hectare/an)

Biome	Zone (ha * 10 <sup>6</sup> )	Régulation du gaz	Régulation du climat	Régulation d u climat	Reglementation de l'eau	Approvisionn ement en eau	Contrôle de l'érosion	Formation des sols	Cycle des éléments nutritifs	Traitement des déchets	Polinisation	Contrôle biologique	Habitat et refuge	Production de nourriture	Matière première	Ressource génétique	Récréation	Culture	Valeur Totale par Ha *	Valeur Totale globale †
Marine	36,302																		577	20,949
Océan ouvert	33,200	38						118			5		15	0			76		252	8,381
Côtière	3,102		88					3,677			38	8	93	4		82	62		4,052	12,568
Estuaire	180		567					21,100			78	131	521	25		381	29		22,832	4,110
Herbier et algue	200							19,002						2					19,004	3,801
Récif corallien	62		2,750							58	5	7	220	27		3,008	1		6,075	375
Rebord	2,660										39		68	2			70		1,610	4,283
Terrestre	15,323																		804	12,319
Forêt	4,855	141	2		2	3	96	10	361	87	2	43	138	16		66	2		969	4,706
Tropical	1,900	223	5		6	8	245	10	922	87		32	315	41		112	2		2,007	3,813
Tempéré et boréale	2,955	88			0		10			87	4	50	25			36	2		302	894
Prairies et parcours	3,898	7	0	3	3	29	1			87	25	23	67	0		2			232	906

Zones humides	330	133	4,539	15	3,800	4,177	304	256	106	574	881	14,785	4,879					
Marais et mangroves	165		1,839			6,696	169	466	162	658		9,990	1,648					
Marais et plaines inondables	165	265	7,240	30	7,600	1,659	439	47	49	491	1,761	19,580	3,231					
Lacs et rivières	200			5,445	2,117	665		41		230		8,498	1,700					
Désert	1,925																	
Toundra	743																	
Glaces et rochers	1,640																	
Terres cultivées	1,400												92					
Urbain		332					14	24					128					
<b>Total</b>	<b>51,625</b>	<b>1,341</b>	<b>684</b>	<b>1,115</b>	<b>1,692</b>	<b>576</b>	<b>53</b>	<b>17,075</b>	<b>2,277</b>	<b>117</b>	<b>417</b>	<b>124</b>	<b>1,386</b>	<b>721</b>	<b>79</b>	<b>815</b>	<b>3,015</b>	<b>33,268</b>

Source: Adapté de Costanza et al. (1997).

Note: Les totaux des lignes et des colonnes sont en US\$ x10<sup>9</sup>/an. Les cellules ombragées indiquent des services non réalisés ou considérés négligeables. Les cellules vides indiquent l'absence d'information.

\* Valeur totale par hectare en US\$/hectare/an.

† Valeur totale du flux global en US\$ x10<sup>9</sup>/an.

informer sur l'évaluation économique. Les méthodes d'évaluation de la biodiversité et des services éco-systémiques ont été intensivement revues récemment (Wilson 1988; Orians et al. 1990; Drucker et al. 2001; Nunes et van den Bergh 2001), raison pour laquelle les considérations méthodologiques ne font pas partie de notre débat. Nous débutons ce chapitre par une vue d'ensemble des principaux concepts et résultats provenant d'une décennie de littérature sur la biodiversité et le fonctionnement des écosystèmes. Nous discuterons ensuite de la manière dont la biodiversité agricole trait à la stabilité et à la résilience des systèmes agricoles. Le rôle de l'hétérogénéité de l'habitat pour soutenir les espèces sauvages est ensuite examiné, suivi d'une section se rapportant à la diversité agricole sur l'échelle d'un paysage. Nous concluons par des observations sur les besoins de la recherche dans l'évaluation du rapport entre l'agro-biodiversité et les services éco-systémiques et les retombées quant aux études d'évaluation économiques de la biodiversité agricole.

## Diversité des producteurs et de la production de biomasse

Au cours de la dernière décennie, la recherche empirique la plus influente sur les liens entre la biodiversité et le fonctionnement des écosystèmes a conduit à une série de manipulations expérimentales de la diversité d'espèces végétales et la richesse fonctionnelle de groupe dans les pâturages (Naeem et al. 1994; Tilman et al. 1996, 2002; Hector et al. 1999, p.e.) et des microcosmes microbiens aquatiques (examinés par Petchey et al. 2002).

Comme les publications récentes traitent largement de la recherche sur le fonctionnement de la biodiversité, (Chapin et al. 2000; Loreau et al. 2001, 2002; Kinzig et al. 2002; voir également les chapitres 9 et 10) nous n'avons que brièvement passé en revue les enjeux centraux.

Les études empiriques et théoriques dans de nombreux cas ont confirmé les associations entre la biodiversité et le fonctionnement des écosystèmes mais plusieurs relations qu'elles soient limitées ou considérables, positives ou négatives, ont été identifiées en fonction de l'ampleur de l'enquête (Naeem 2001). De nombreux facteurs, tels que la fertilité du site, les perturbations, la taille de l'habitat, le climat (Wardle et al. 1997.), la présence ou non de groupes trophiques (Mulder et al. 1999; Naeem et al. 2000.), et la composition fonctionnelle des espèces (Hooper et Vitousek 1997; Tilman et al, 1997a), permettent de déterminer la relation entre la biodiversité et le fonctionnement des écosystèmes.

De nombreuses études ont démontré des corrélations significatives entre la richesse des espèces et l'accumulation de la biomasse végétale (examiné par Schmid et al. 2002). Les mécanismes à l'origine de ces corrélations ont été longuement basées sur deux principales hypothèses, bien que des explications alternatives aient été abordées, (examiné par Eviner et Chapin 2003). Aarssen (1997), Huston (1997), et Tilman et al. (1997) ont suggéré que l'augmentation souvent observée par la productivité primaire dans diverses et nombreuses parcelles, peut se traduire par un effet d'échantillonnage. Une communauté avec un plus grand nombre d'espèces présentes a une plus grande probabilité d'inclure des espèces avec des caractéristiques supérieures. Une autre explication de la diversité des effets sur le fonctionnement des écosystèmes est la complémentarité des niches (Naeem et al. 1995; Tilman et al. 1997a). Une plus grande diversité spécifique dans une communauté accroît la gamme des caractéristiques écologiques et par conséquent la variété des niches disponibles conduisant à une utilisation plus efficace des ressources dans un environnement variable. Le débat semble avoir récemment été réconcilié (Loreau et al. 2002; Naeem 2002). La complémentarité des niches et des effets d'échantillonnages semblent jouer de différents rôles dans de différentes phases de la manipulation expérimentale. Au départ, une rapide réaction de croissance, qui semble compatible avec le mécanisme d'échantillonnage, est observée avec les parcelles de la meilleure diversité atteignant une productivité presque égale à celle des meilleures monocultures. Après deux ans ou plus, une réaction à long terme démontre une plus grande diversité de parcelles produisant des rendements plus élevés que ceux des meilleures monocultures, une tendance qui peut s'expliquer par la compétition interspécifique résultant de la différenciation de niche (Pacala et Tilman 2002).

Une conclusion générale semble émerger des résultats et interprétations contrastés générant d'une décennie de recherche sur le fonctionnement de la diversité, le rôle des espèces dans le fonctionnement de ces communautés expérimentales peuvent varier considérablement. Certaines espèces peuvent s'avérer indispensables pour le fonctionnement d'un écosystème, comme le cas des espèces clés (Paine 1966) ou ingénieurs de l'écosystème (Jones et al. 1994; Wright et al. 2002). Certaines autres peuvent en revanche paraître redondantes, s'agissant de leurs fonctions écologiques et peuvent être aisément substituées par d'autres sans conséquences notables sur l'écosystème, i devaient-elles localement disparaître (Walker 1992; Gitay et al 1996; Naeem 1998).

Comme indiqué dans le Chapitre 10, l'une des limites des études du fonctionnement de la biodiversité, est qu'elles ont été réalisées sur des par-



celles réduites et contrôlées, qui sont loin d'imiter les conditions des écosystèmes qu'ils soient naturels ou même gérés. Par exemple, il est difficile d'extrapoler les incidences de ce type de recherches sur les systèmes agricoles puisque ces recherches n'impliquent qu'un nombre faible d'espèces végétales et les cycles de rotation régissent la dynamique temporelle du système.

Très peu d'expériences ont eu recours à la manipulation de richesses spécifiques pour évaluer les effets sur la production de biomasse. Les résultats d'une étude sur les champs de fauche en Grande-Bretagne australe montrent que la restauration de la richesse en espèces dans des domaines qui étaient auparavant appauvris en celles-ci, ont eu un effet positif sur la production de foin. Bullock et ses collègues (2001) font état d'une augmentation du rendement de 60% des traitements riches en espèces effectués sur le foin des prairies lors d'expériences de restauration et ce dans sept sites au sud de la Grande-Bretagne. Sur chaque site, deux mélanges de semences (pauvres en espèces, avec  $6 \pm 17$  espèces, et riches en espèces, avec  $25 \pm 41$  espèces) ont été appliquées lors d'expériences en blocs aléatoires. À partir de la deuxième année, le rendement en foin a été plus élevé avec les traitements riches en espèces, allant jusqu'à atteindre 60% (figure 18.1). Lors de la comparaison des deux traitements dans tous les sites, on a constaté une simple relation linéaire entre l'écart du nombre d'espèces et le degré d'augmentation de la production de foin. La qualité de fourrage étant la même lors des deux traitements. Ceci donne à penser que les agriculteurs peuvent optimiser la production de fourrage de qualité élevée dans les herbages réensemencés, tout en maximisant la biodiversité.

Les résultats de cette étude sont particulièrement étonnants, si l'on considère l'idée fautive et très répandue chez les agriculteurs que tout effort pour accroître la biodiversité se traduit par une diminution de la production alimentaire. La seule lacune dans la présente étude a été le coût plus élevé du mélange de semences grandement diverses, une plus grande augmentation du rendement sera nécessaire pour pallier les coûts additionnels. Les mécanismes écologiques derrière les tendances observées semblent être attribuables à une différence du nombre d'espèces entre le traitement et le contrôle des parcelles, mais les auteurs signalent que puisque le nombre d'espèces et la composition n'ont pas été variés de manière indépendante (tel que ça a été fait par Hector et al. 1999), il se pourrait que les différences compositionnelles aient également contribué à la production d'écarts.

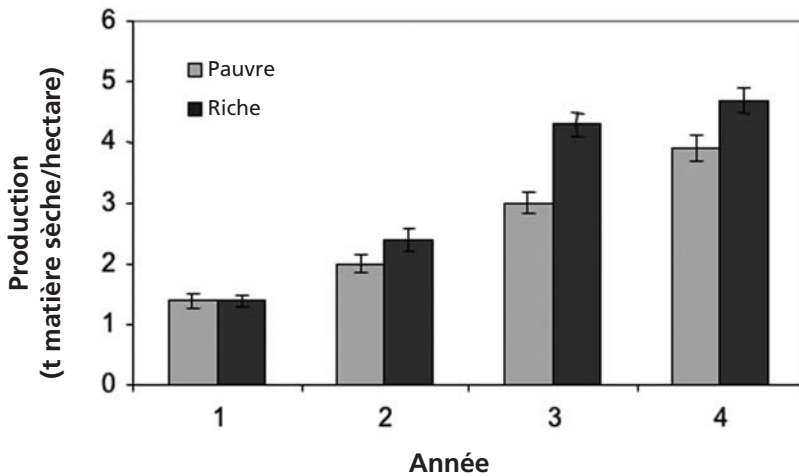


FIGURE 18.1. Les effets du traitement de biodiversité sur la production de foin au cours des différentes années (moyenne pour l'ensemble des parcelles et des sites  $\pm 1$  SE). Le traitement riche en espèces a engendré un rendement plus élevé en matière sèche à partir de la deuxième année (adapté de Bullock et al. 2001).

### Considérations économiques

Dans cette étude de cas, la contribution économique des espèces à la production de foin est simple à évaluer quant à la différence de production entre chacun des deux traitements. Ce genre d'évaluation pourrait servir à élaborer des mesures incitatives pour les agriculteurs afin de développer une plus grande diversité végétale des systèmes de foin. Cependant, dans la majorité des cas, l'évaluation de la contribution économique de culture de richesse spécifique dans les autres services, tels que le recyclage de l'azote ou la réglementation de CO<sub>2</sub>, n'est pas aussi simple. Dans le meilleur des cas, à supposer même que les causalités entre les fonctions écologiques et la biodiversité agricole des écosystèmes aient été clairement identifiées, les évaluations économiques atteignent rarement une validité dépassant l'échelle du site étudié. Des tentatives basées sur de multiples modèles de régression, sont en cours pour évaluer les contributions spécifiques écologiques et économiques de la richesse des espèces, à la nette productivité primaire et au cycle des substances nutritives dans les milieux naturels ou semi-naturels (Costanza et al. Inédit).

## Diversité des consommateurs et des décomposeurs

La plupart des études se sont concentrées sur le rôle de la diversité des producteurs dans la prestation de services éco-systémiques fondamentaux. Toutefois, on ne sait que très peu sur les facteurs influant sur les services éco-systémiques fournis par les niveaux trophiques supérieurs de la chaîne alimentaire naturelle. Une récente étude de 19 réseaux trophiques plante-herbivore-parasitoïde (Montoya et al. 2003) a montré que les différences structurelles du réseau trophique ainsi que la richesse herbivore influencent le taux de parasitisme des hôtes, promouvant la fonction livrée par les ennemis naturels. Un des principaux résultats de cette étude démontre que les parasites fonctionnent mieux dans des réseaux trophiques simples plutôt que dans les complexes, ce qui indique que la richesse spécifique en tant que telle peut ne pas être un facteur clé dans la prestation de services éco-systémiques de haut niveau lorsqu'ils sont d'avantage complexes, les communautés multi-trophiques sont dès lors étudiées.

Comme il a été noté par Brown et al. (chapitre9), les études indiquent que dans les sols il n'y a pas de rapport prévisible entre la diversité des espèces et les fonctions spécifiques des sols, ce qui rend difficile l'anticipation des retombées lors de la diminution de la richesse spécifique des sols. Dans bien des cas, le fonctionnement des écosystèmes du sol semble être contrôlé par des caractéristiques individuelles d'espèces dominantes et par la complexité des interactions biotiques survenant entre les éléments de la chaîne alimentaire du sol (Cragg et Bardgett 2001).

Une plus grande diversité fonctionnelle des communautés microbiennes a été associée à une meilleure efficacité dans l'usage des ressources. Par exemple, une étude s'étant étalée sur 21 ans, pour comparer les systèmes agricoles au centre de l'Europe, qu'ils soient biodynamiques, biologiques ou classiques; a montré que les communautés microbiennes les plus diversifiées et typiques des sols sous culture biologique, ont transformé le carbone de débris organiques, en biomasse à très faibles coûts énergétiques.

### *Considérations économiques*

Dans les systèmes où le rôle d'une espèce individuelle détermine le taux d'un ensemble déterminé de processus écologiques ainsi que le flux d'un service écosystémique donné, cette même espèce pourrait être évaluée de manière indépendante. Néanmoins, c'est rarement le cas. Les interactions écologiques sont complexes, par conséquent il est difficile de dissocier le rôle d'espèces particulières et l'effet de la diversité en elle-même dans l'ap-

pui de certaines fonctions éco-systémiques. Pour cette raison, les économistes écologiques ont tendance à valoriser indirectement la biodiversité en valorisant les services qu'elle appuie. Par exemple, Walker et Young (1986) estiment que dans la région de Palouse, au nord de l'Idaho et à l'ouest de Washington, l'érosion des sols a entraîné une perte au niveau des recettes provenant de l'agriculture de l'ordre de 10 \$ américains à 15 \$ américains par hectare. Cette estimation est un indicateur agrégé des fonctions écologiques responsables de la lutte contre l'érosion des sols au sein des agro-écosystèmes dans cette région en particulier.

## Diversité et résilience dans les agro-écosystèmes

La plupart des études sur la biodiversité et le fonctionnement des écosystèmes ont été menées sous des conditions stables. Les agro-écosystèmes sont généralement soumis à des perturbations conjoncturelles d'intensité variable en raison de pratiques agricoles, et à des imprévus tels que les infestations de ravageurs et la sécheresse. Cependant, la relation entre la diversité et le fonctionnement des écosystèmes pourrait se modifier dans un environnement fluctuant (voir chapitre 13 et 14).

Il existe une entente générale selon laquelle, un rôle principal joué par la biodiversité en rapport avec les services éco-systémiques est une assurance contre les changements environnementaux (p.e., Holling et al 1995; Perriings 1995). Un plus grand nombre d'espèces similaires sur le plan fonctionnel garantit, que lorsque les conditions environnementales deviennent défavorables aux espèces dominantes, d'autres pourraient facilement se substituer à leurs fonction, préservant ainsi la stabilité de l'écosystème (Yachi et Lorreau 1999), l'amélioration de la fiabilité des écosystèmes (comme la probabilité qu'un système offrira un niveau de performance constant sur un période de temps donnée) (Naeem et Li 1997).

Par exemple, la diversité des pollinisateurs est essentielle pour les systèmes de production alimentaire, non seulement parce que la restriction du pollen à la formation des graines et des fruits est très répandue (Burd, 1994), mais, surtout face aux évolutions actuelles de perturbations des pollinisateurs (Nabhan et Buchmann 1997; Kremen et Ricketts 2000; Cane et Tepedino 2001; voir aussi chapitre 8). Kremen et al. (2002) ont constaté que la diversité des pollinisateurs a été un facteur déterminant pour maintenir les services de pollinisations dans les fermes classiques (en opposition aux biologiques) californiennes, en raison de la variation annuelle dont la composition communautaire des pollinisateurs fait l'objet.

La redondance dans les communautés microbiennes du sol semble être très commune et cruciale pour maintenir la résistance des sols aux perturbations (voir chapitre 9). Par exemple, les réductions expérimentales de la biodiversité des sols employant des techniques de fumigation démontrent que les sols avec une plus haute biodiversité sont plus résistants au stress que les sols avec une faible biodiversité (Griffiths et al. 2002).

Des études menées dans des régions extrêmes du monde, telles que la Vallée Sèche Antarctique, où les communautés du sol sont beaucoup moins diversifiées, fournissent des sites expérimentaux uniques pour traiter du rôle de la complexité des réseaux trophiques en fonction des sols. Les communautés des nématodes dans la région, comprennent un maximum de trois espèces, manquent typiquement de redondance et sont particulièrement sensibles aux changements environnementaux (Freckman et Virginia 1997).

La diversité agricole au niveau génétique offre également une assurance face à des conditions environnementales changeantes. Les chapitres allant de 2 à 6 fournissent des éléments de preuves empiriques sur la manière dont la diversité génétique garantit l'adaptabilité et l'évolution. Ils fournissent aussi la matière première pour obtenir des caractéristiques génétiques appropriés que ce soit dans les cultures ou le bétail et ce au sein des systèmes de la production alimentaire. Dans le chapitre 15, Johns montre comment la diversité agricole et le savoir incorporé à sa gestion sont essentiels à la diversité alimentaire et à la santé humaine.

Les écosystèmes qui sont en mesure d'absorber un plus haut degré de perturbations avant que leur fonctionnement ne soit significativement altéré (c.-à-d., qui sont écologiquement plus résilients, Holling 1973), peuvent constamment fournir des services écosystémiques. Planter des mélanges variétaux avec différents niveaux de résistance aux ravageurs s'est avéré une stratégie efficace pour la lutte contre les champignons pathogènes (voir également les chapitres 11 et 12 et Zhu et al 2002).

La résilience dans les monocultures industrielles est réalisée grâce à l'utilisation d'intrants externes tels que les engrais chimiques, pesticides et combustibles fossiles. Comme indiqué dans les chapitres 12, 13, 14, 16 et 17, la biodiversité agricole peut offrir un tampon aux fluctuations imprévisibles de l'environnement et du marché dans des systèmes moins intensifs. Plusieurs scientifiques ont exhorté la reconnaissance du lien indissoluble entre la résilience écologique et celle sociologique dans les systèmes de gestion (Scoones 1999; Folke et al. 2003; Milestad and Hadatsch 2003). Les systèmes peuvent effectivement être écologiquement élastiques mais socialement vulnérables ou socialement résistants mais dégradent l'environ-

nement (Folke et al. 2003). Les systèmes agricoles peuvent donc être considérés comme des systèmes socio-écologiques qui se comportent comme des systèmes adaptatifs complexes, dans lesquels les gestionnaires font partie intégrante du système (Conway 1987). Dans le chapitre 13, le terme « agro-diversité » est utilisé pour mettre en corrélation la biodiversité agricole, la gestion de la diversité, et la diversité biophysique avec diversité organisationnelle. Afin de résister aux fluctuations naturelles et celles du marchés, les agro-écosystèmes doivent supporter les perturbations, être en mesure de se réorganiser après et avoir la capacité d'apprendre et de s'adapter face aux changements (Walker et al. 2002). Les représentants de la 'Résilience Alliance' affirment que la résilience est quelque chose qui peut et doit être atteinte afin « d'empêcher le mouvement du système vers des un système de configurations non souhaitées face aux contraintes extérieures et perturbations » et de « favoriser et préserver les éléments permettant de se renouveler et de se réorganiser après un grand changement » (Walker et al. 2002). Les composantes écologiques ainsi que les capacités humaines peuvent jouer un important rôle dans la gestion de la résilience. Par exemple, la valeur d'assurance dans l'agro-biodiversité jouit d'un rôle reconnu dans la protection de la résilience des écosystèmes (Heywood, 1995). En outre, les systèmes agricoles ayant de hauts niveaux humain et social sont plus souples et mieux aptes à intégrer les innovations malgré un contexte d'incertitude (Pretty et Ward 2001).

### *Considérations économiques*

Identifier et mesurer la valeur d'assurance de la biodiversité est loin de constituer un simple exercice. Par exemple, quelle prime serait versée pour la préservation de la résilience au sein d'un système donné? Prendre en compte le coût de maintien d'un système non résilient serait une option. Dans les agrosystèmes, cette prime serait équivalente aux coûts totaux pour le maintien des pratiques agricoles intensives à l'aide d'intrants externes, y compris les coûts des pesticides et des engrais chimiques. Tel que ça a été précédemment mentionné dans ce chapitre et dans le chapitre 8, face au déclin des pollinisateurs, leur diversité est nécessaire pour maintenir la résistance des systèmes de productions face au déclin des pollinisateurs. Southwick et Southwick (1992) ont calculé pour chacune des 62 récoltes américaines, à quel point les pollinisateurs sauvages peuvent-ils remplacer les abeilles, aussi doivent-ils décroître jusqu'au niveau prédit par leur modèle. A défaut de compensation venant des pollinisateurs sauvages, les pertes de rendement de luzerne ont été estimées à 70% de la

production totale, soit l'équivalent de 315 millions de dollars américains par an.

Le maintien ou l'amélioration de l'assurance de la fonction spécifique et de la diversité génétique pourraient avoir un coût pour les autres fonctions pertinentes pour le bien-être de l'homme, comme la production alimentaire et de fibres. Ainsi Haisey et al. 1997 ont évalué les pertes de rendement à des dizaines de dollars américains par an. Ceci est lié au transfert à une gamme de blé génétiquement plus diversifiée provenant du Pakistan. Widawsky et Rozelle (1998), Di Falco et Perrings (2003), Meng et al. (2003), et Smale et al. (1998) ont établi des associations positives et négatives entre les diversités de variétés de culture, la productivité des cultures, la variabilité du rendement, et ce en fonction du contexte des systèmes de culture. Tandis que la valeur d'assurance de la diversité génétique dans les systèmes de production alimentaire a été évalué du moins dans certains cas (voir les études de l'évaluation des coûts des programmes de conservation de ressources génétiques, examinés par Drucker et al. 2001), il n'y a pas d'études portant sur la valeur d'assurance d'une gamme diversifiée de fonctions et de caractères phénotypiques fournis par les espèces végétales, les organismes du sol ou les ennemis naturels. Les difficultés à déterminer la valeur d'assurance se rapportent à la nature intangible de ce service et à l'incapacité à rendre compte des avantages sociaux futurs et ce de manière adéquate. Par ailleurs, les résultats d'une étude d'évaluation varient selon le niveau de menace d'effondrement perçu.

## Habitats agricoles et diversité du paysage

Différents travaux montrent que la diversité des paysages agricoles peut entraîner des baisses de rendement aux organismes nuisibles en affectant à la fois les insectes herbivores et les ennemis naturels (voir Andow 1991 pour une révision). Par exemple, des populations de coléoptères prédateurs en meilleure santé peuvent être trouvées dans plusieurs systèmes d'exploitation hétérogènes (ou l'hétérogénéité est mesurée comme étant le ratio du périmètre de la zone) et dans des systèmes de culture aux diversités d'espèces plus élevées (Ostamn et al. 2001).

La composition et la disposition spatiale et des cultures pérennes et annuelles dans le paysage agricole peuvent également avoir une importance cruciale, pour ce qui est de la dynamique de la population-prédatrice sur le long terme (Bommarco 1998; Thies et Tscharrntke 1999). Dans d'autres cas, les polycultures comparées aux monocultures semblent

n'offrir aucun avantage aux populations d'ennemis naturels (Tonhasca et Stinner 1991).

Des résultats insuffisants d'expériences ayant manipulé la structure du paysage et la diversité végétale pourraient refléter la variation liée à la différence à l'échelle spatiale des parcelles végétales expérimentales. Une méta-analyse exhaustive de la littérature des résultats en ce domaine étalés sur 18 ans, montre que dans les expériences réalisées sur de petites parcelles, l'hétérogénéité tend à avoir un important effet négatif sur les herbivores, alors que des parcelles de taille intermédiaire montrent un effet intermédiaire et des parcelles de grande tailles démontrent un effet négligeable (Bommarco et Banks, 2003).

Trouver les tendances générales dans la relation entre la diversité des paysages et la diversité des espèces est encore plus compliquée lorsque la diversité de multiples taxons est étudiée (Tews et al. 2004 et les références qui y sont; voir également chapitres 13 et 14). Cette relation dépend notamment d'au moins trois facteurs, les groupes d'espèces étudiées, la mesure de la diversité des paysages, et les échelles temporelles et spatiales.

Les paysages agricoles plus diversifiés fournissent d'importants habitats non seulement pour les ennemis naturels mais aussi pour les pollinisateurs en améliorant leurs services (voir aussi chapitre 8). Une étude de la structure du paysage agricole sur les abeilles a démontré que la richesse en espèces et l'abondance d'abeilles solitaires sauvages étaient en corrélation positive avec le pourcentage d'habitats semi-naturels, un indicateur de la diversité des paysages (Steffan-Dewenter et al. 2002). La corrélation a dépendu de l'échelle spatiale et du groupe d'espèces. Par exemple, tandis que les abeilles solitaires sauvages ont réagi à la complexité du paysage à petites échelles, elles n'ont pas été corrélées avec les caractéristiques du paysage structurel qu'à grandes échelles. Dans d'autres cas, la disponibilité de flore mellifère appropriée importe plus que l'hétérogénéité du paysage, lorsqu'il s'agit de déterminer la richesse d'espèces de pollinisateurs (Steffan-Dewenter 2003).

La richesse d'espèces des mammifères et des oiseaux peut également être renforcée par la diversité des paysages agricoles. Une récente étude (Benton et al. 2003) fournit la preuve que l'hétérogénéité de l'habitat importe à la biodiversité des terres agricoles du terrain individuel jusqu'à l'ensemble du paysage. Ainsi, les oiseaux granivores seraient plus fréquents dans les zones pastorales contenant de petites parcelles de terre arable que dans les paysages dominés par les pâturages (Robinson et al. 2001). Certaines espèces d'oiseaux dépendent spécifiquement d'habitats ouverts fournis par les systèmes agricoles en Afrique (Söderström et al.



2003), ainsi qu'en Europe (Pain and Pienkowski 1997) et en Amérique centrale (Daily et al. 2001).

Les terroirs agroforestiers peuvent abriter des espèces sauvages d'un nombre similaire ou supérieur à celui des parcelles originales de forêt. Par exemple, Ricketts et al. n'ont trouvé aucune différence significative dans l'abondance et la richesse d'espèces de papillons nocturnes entre forêts, parcelles agricoles composées de monoculture de café, le café cultivé à l'ombre, les pâturages et les exploitations mixtes. Les plantations de polyculture de café conçues pour imiter les systèmes naturels dans divers cas, affichent une richesse spécifique supérieure ou égale à celles des parcelles adjacentes naturelles de forêt (figure 18.2) (Perfecto et al. 1997; Daily et al. 2003). Une diminution de la diversité des espèces dans l'agroforesterie, peut être observée s'accompagnant d'une distance croissante de correctifs forestiers. (Ricketts et al. 2001; Armbrecht and Perfecto 2003), bien que ces résultats ne correspondent pas aux études (par exemple, le journal et al. 2003). En Europe centrale et en Amérique du sud, des plantations de café d'ombre comprenant des légumineuses, du bois de feu, des arbres fruitiers et des arbres fourragers ont été déclarés contenir 100 espèces végétales par plantations, prenant en charge 180 espèces d'oiseaux (Michon et de Foresta 1990; Altieri 1991; Thrupp 1997).

Les zones non cultivées (telles que zones tampon riveraines, haies brise-vent, ou plantations frontalières), les jachères améliorées et la végétation ligneuse, jouent un rôle important dans le maintien de la biodiversité des mauvaises herbes, des insectes, arthropodes et oiseaux (Benton et al. 2003 and références citées; McNeely et Scherr 2003). Les haies et la végétation ligneuse, en fournissant des habitats pour la biodiversité d'espèces sauvages, peuvent renforcer d'autres services écosystémiques tels que la stabilisation des sols, la lutte contre leur érosion et la fixation du carbone.

### *Considérations économiques*

Une fois qu'un lien solide entre la diversité des habitats agricoles et la diversité des espèces sauvages aura été documenté, la valeur de la biodiversité agricole en rapport avec la protection de l'habitat de faune sauvage, pourra être évaluée par les dépenses relatives à un environnement biologiquement plus riche. Alternativement, les évaluations peuvent inclure les coûts de la protection de la diversité des habitats fournis par l'agrobiodiversité. En effet, les habitants des Pays-Bas étaient prêts à payer entre 16 et 45 florins par famille et par an (ce qui correspond à 10, 80\$ et 30,35\$ en dollars américains 2003) pour financer les pratiques de gestion qui permet-

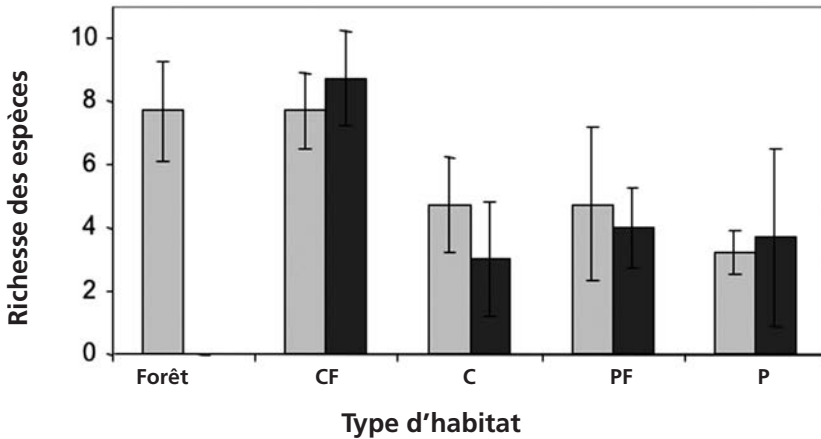


FIGURE 18.2. Richesse des espèces de mammifères par type d'habitat et d'une parcelle de forêt étendue (moyenne  $\pm$  1 SE). Les Barres ombrées représentent les sites au sein et dans les environs (< 1km) de la forêt. Les barres noires représentent les sites éloignés (5-7 km). La richesse des espèces varie de façon significative entre les types d'habitat, mais pas avec la distance les séparant des vastes forêts. Les parties restantes des forêts contiguës aux plantations de café (FC) ne diffèrent pas des grandes forêts en matière de richesse en espèces, et sont plus riches que les plantations de café (C), les pâturages avec des parties restantes de forêts adjacentes (PF), et les pâturages (P) (adapté de Daily et al. 2003)

traient d'améliorer l'habitat de la faune sauvage dans la zone des prairies hollandaises (cité dans Nunes et van den Bergh 2001).

### Rôles récréatifs et culturels de la biodiversité agricole

Une gamme de différents usages des terres agricoles permettrait de promouvoir la beauté scénique, avec des effets économiquement positifs sur les collectivités indigènes. Ainsi, il est connu que les propriétés esthétiques sont associées à l'hétérogénéité du paysage (Stein et al. 1999). Dans la région de La Toscane, en Italie, des communautés entières bénéficient d'une économie de tourisme rural fondée sur la diversité des terroirs agricoles allant des vignobles aux champs de blé, en passant par les pâturages, les vergers et jusqu'aux oliveraies. De même, dans la région d'Alentejo au sud du Portugal, Le Montado représente un paysage agricole hautement varié; les chênes-lièges sont cultivés en densité variable combinée à la rotation des cultures, des jachères et des pâturages offrent une valeur récréative, naturelle et paysagère (Pinto- Correia 2000). Un autre exemple d'une région

agricole riche est la province de Pinar del Rio au Cuba, où une industrie prospère d'agrotourisme est fondée sur différentes attractions naturelles intercalées dans une mosaïque de terres agricoles, avec intégration des champs de tabac, des cannes à sucre et des arbres fruitiers (Honey 1999). Plusieurs sont les pays d'Europe et États des États-Unis qui ont des politiques visant à préserver le caractère traditionnel des paysages agricoles. La Suisse, par exemple, subventionne les agriculteurs dans les régions montagneuses afin de maintenir une combinaison de couvertures de terres agricoles et naturelles, en raison de la valeur récréative de ces systèmes hétérogènes (McNeely et Sherr 2003). Les organismes de conservation, tel que le Land Trust aux États-Unis, ont souvent recours à l'acquisition des droits de développement comme un moyen de maintenir le caractère rurale et polyvalent des paysage agricoles, ce qui est perçu comme une source d'activités récréatives et culturelles.

La biodiversité agricole est une source cruciale de bien-être non matériel, qui dérive des traditions nutritionnelles de la diversité alimentaire et des connaissances de longue date (chapitre 15). La diversité végétale et animale dans l'agriculture à petite échelle, peut souvent servir à des fins de plaisir personnel, au respect des traditions des familles ou des communautés traditionnelles, ou même répondre à des besoins spirituels. Ainsi, la variété des plantes cultivées et des races de bétail dans différentes régions du monde ont fourni la matière première à l'expression artistique dans le textile et l'artisanat, ainsi qu'à d'autres métiers depuis des siècles. Les jardins de case en sont un autre exemple, ils sont cultivés non seulement pour la production alimentaire mais aussi à des fins spirituelles, ornementales et esthétiques (Kumar et Nair 2004).

### *Considérations économiques*

Aucune évaluation complète concernant la valeur de la diversité paysagère agricole à buts récréatifs, n'a été effectuée. Cependant, les sources de données foisonnent quand il s'agit de dépense de loisirs dans les régions qui comprennent une variété d'usages de terres agricoles (Fleischer et Tsur 2000). Alternativement, la valeur de l'hétérogénéité d'un paysage agricole peut être évaluée par des enquêtes afin d'estimer la valeur économique que les visiteurs mettront à la disposition du maintien du paysage. Par exemple, Drake (1992) a constaté que les citoyens suédois étaient prêts à payer 130\$/ ha chaque année afin de protéger les terres agricoles contre leur conversion en forêts. Cette valeur s'est avérée supérieure au rendement de la production agricole de la majorités des régions suédoises.

Considérant que les écologistes aient identifié les mesures du fonctionnement des écosystèmes (comme la biomasse pour la production primaire ou le taux d'azote pour le recyclage de l'azote), il n'y a pas de quantités correspondantes qui peuvent être utilisées en tant que mesures de la fonction sociale liée à la diversité agricole. Dans de nombreuses sociétés rurales, la valeur culturelle de certaines espèces végétales se trouve au-delà de toute notion de mesure monétaire. On peut faire valoir que les valeurs intrinsèques de ces usages de plantes, ne peuvent pas être mesurées. Ce sont des cas dans lesquels, l'évaluation monétaire des services de la biodiversité peut s'avérer inappropriée. Les méthodes alternatives d'évaluation, qui sont pertinentes pour l'élaboration des politiques et des décisions à prendre, doivent être conçues suivant ce type de collaboration. Une première étape en cette direction a été examinée lors d'une récente étude évaluant la valeur historique et culturelle de la diversité du bétail en Italie (Gandini et Villa 2003). Les auteurs ont évalué quantitativement neuf races bovines indigènes en fonction de leur valeur folklorique, gastronomique, artisanale et à la maintenance des traditions locales.

## Conclusion

Les systèmes fournis par la biodiversité agricole sont essentiels au fonctionnement des systèmes de support alimentaire. Ils contribuent au bien-être de l'humanité, à la fois directement et indirectement, et représentent donc une partie de la valeur totale économique de la planète.

Il a été globalement convenu que la gestion de la biodiversité agricole puisse fournir les moyens d'accroître la production alimentaire, tout en bénéficiant aux autres services des écosystèmes. L'agriculture multifonctionnelle et durable devrait en produire des flux plus importants, mais l'étendue de ces contributions et leur valeur économique n'ont pas été quantifiées.

Les résultats positifs provenant d'études de systèmes agricoles multifonctionnels sont souvent négligés car ces résultats sont obtenus à une échelle réduite et sont difficiles à documenter. Néanmoins, l'agriculture à échelle réduite est la forme dominante d'agriculture dans de nombreuses régions mondiales et devrait le demeurer dans les zones marginalisées ou peu d'investissements en technologies agricoles auraient lieu (Wood et al. 2000). L'identification des modèles expérimentaux alternatifs peut être cruciale, si une compréhension plus concluante de la relation entre la biodiversité et les fonctions et services des écosystèmes doit être réalisée. Par exemple, il est bien entendu que les expériences agricoles à grande échelle

(impliquant des centaines de petits agriculteurs) ne pourraient avoir lieu qu'à la suite d'une forte volonté politique, et que lorsque les avantages économiques pour les agriculteurs concernés sont clairement prospectés, comme dans le cas de l'utilisation de différentes variétés de riz dans la province du Yunnan en Chine (Zhu et ses collègues, chapitre 12).

Toutefois, il arrive souvent que les avantages pour les petits agriculteurs, de l'expérimentation ou l'adoption de nouvelles pratiques afin de sauvegarder la biodiversité sur leurs terres, ne soient pas immédiatement accessibles ou évidents. Cela est particulièrement le cas pour les valeurs de la biodiversité agricole qui ne sont pas directement imputables sur le marché (chapitre 16). Les méthodes actuelles d'évaluation doivent généralement être appuyées par une meilleure compréhension des rapports entre les fonctions de la biodiversité agricole et de l'écosystème ainsi que par l'identification de fonctions irremplaçables.

Une évaluation complète de ces valeurs (si bien sur le plan monétaire qu'écologique) est la clé pour encourager les décideurs à investir dans des programmes pour la protection active et l'entretien de biodiversité agricole. En particulier, les évaluations économiques des bénéfices non marchands de la biodiversité agricoles peuvent être utilisées pour identifier les incitations des agriculteurs à adopter des méthodes de culture innovantes qui pourraient être bénéfiques à la biodiversité agricole. Cependant, ces méthodes pourraient ne pas être viables sur le plan économique

Le développement récent de l'évaluation des services des écosystèmes montre qu'une représentation spatiale des données d'évaluation, basée sur un système d'information géographique, s'avère un précieux outil de visualisation afin de faciliter la planification de la gestion et identifier les zones cibles pour la conservation. Par exemple, dans une étude commanditée par la société Audubon dans le Massachussets, les chercheurs M. Wilson et A. Troy ont pu visualiser la valeur non marchande des services éco-systémiques au niveau des bassins hydrographiques (Breunig 2003).

Jusqu'à présent, les études menées à l'échelle régionale ne font pas de distinction entre les divers usages des terres agricoles, ce qui rend difficile l'évaluation de la valeur économique des écosystèmes agricoles à plus grande échelle.

Lorsqu'elles sont utilisées pour informer et redéfinir la politique, les études d'évaluation économique de la biodiversité agricole doivent être considérées comme des estimations à titre indicatif, en reconnaissant les incertitudes de la réelle contribution de la diversité à différents niveaux de l'organisation écologique.

## Références

- Aarssen, L. W. 1997. High productivity in grassland ecosystems: Effected by species diversity or productive species? *Oikos* 80:183–184.
- Alston, J. M., G. W. Norton y P. G. Pardey. 1998. *Science Under Scarcity: Principle and Practice for Agricultural Research Evaluation and Priority Setting*. Wallingford, Reino Unido: CAB International.
- Altieri, M. A. 1991. How best can we use biodiversity in agroecosystems? *Outlook on Agriculture* 20:15–23.
- Andow, D. A. 1991. Vegetational diversity and arthropod population response. *Annual Review of Entomology* 36:561–586.
- Armbrecht, I. e I. Perfecto. 2003. Litter-twig dwelling ant species richness and predation potential within a forest fragment and neighboring coffee plantations of contrasting habitat quality in Mexico. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 97:107–115.
- Benton, T. G., J. A. Vickery y J. D. Wilson. 2003. Farmland biodiversity: Is habitat heterogeneity the key? *Trends in Ecology and Evolution* 18:182–188.
- Biol, E. 2004. *Valuing Agricultural Biodiversity on Home Gardens in Hungary: An Application of Stated and Revealed Preference Methods*. PhD thesis, University College London, University of London.
- Biol, E., M. Smale y Á. Gyovai. 2004. *Agri-environmental Policies in a Transitional Economy: The Value of Agricultural Biodiversity in Hungarian Home Gardens*. Environment and Production Technology Division Discussion Paper No. 117. Washington, DC: International Food Policy Research Institute.
- Bommarco, R. 1998. Reproduction and energy reserves of a predatory carabid beetle relative to agroecosystem complexity. *Ecological Applications* 8:846–853.
- Bommarco, R. y J. E. Banks. 2003. Scale as modifier in vegetation diversity experiments: Effects on herbivores and predators. *Oikos* 102:440–448.
- Breunig, K. 2003. *Losing Ground: At What Cost? Changes in Land Uses and Their Impact on Habitat, Biodiversity, and Ecosystem Services in Massachusetts*. Lincoln: Massachusetts Audubon Summary Report.
- Bullock, J. M., R. F. Pywell, M. J. W. Burke y K. J. Walker. 2001. Restoration of biodiversity enhances agricultural production. *Ecology Letters* 4:185–189.
- Burd, M. 1994. Bateman's principle and plant reproduction: The role of pollen limitation in fruit and seed set. *Botanical Review* 60:81–109.
- Cane, J. H. y V. J. Tepedino. 2001. Causes and extent of declines among native North American invertebrate pollinators: Detection, evidence, and consequences. *Conservation Ecology* 5:1. Disponible en <http://www.consecol.org/vol5/iss1/art1>.

- Chapin, F. S. III, E. S. Zavaleta, V. T. Eviner, R. L. Naylor, P. M. Vitousek, H. L. Reynolds, D. U. Hooper, S. Lavorel, O. E. Sala, S. E. Hobbie, M. C. Mack y S. Diaz. 2000. Consequences of changing biodiversity. *Nature* 405:234-242.
- Conway, G. 1987. The properties of agroecosystems. *Agricultural Systems* 24:95-117.
- Costanza, R., R. d'Arge, R. de Groot, S. Farber, M. Grasso, B. Hannon, S. Naeem, K. Limburg, J. Paruelo, R. V. O'Neill, R. Raskin, P. Sutton y M. Van den Belt. 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature* 387:253-260.
- Cragg, R. G. y R. D. Bardgett. 2001. How changes in soil faunal diversity and composition within a trophic group influence decomposition processes. *Soil Biology and Biochemistry* 33:2073-2081.
- Daily, G. C., G. Ceballos, J. Pacheco, G. Suzan y A. Sanchez-Azofeifa. 2003. Countryside biogeography of neotropical mammals: Conservation opportunities in agricultural landscapes of Costa Rica. *Conservation Biology* 17:1814-1826.
- Daily, G. C., P. E. Ehrlich y G. A. Sanchez-Azofeifa. 2001. Countryside biogeography: Use of human-dominated habitats by the avifauna of southern Costa Rica. *Ecological Applications* 11:1-13.
- Di Falco, S. y C. Perrings. 2003. Crop genetic diversity, productivity and stability of agroecosystems. A theoretical and empirical investigation. *Scottish Journal of Political Economy* 50:207-216.
- Drake, L. 1992. The non-market value of the Swedish agricultural landscape. *European Review of Agricultural Economics* 19:351-364.
- Drucker, A., V. Gomez y S. Anderson. 2001. The economic valuation of farm animal genetic resources: A survey of available methods. *Ecological Economics* 36:1-18.
- Ehrlich, P. R. y E. O. Wilson. 1991. Biodiversity studies: Science and policy. *Science* 253:758-762.
- Evenson, R. E. y D. Gollin. 2003. Assessing the impact of the Green Revolution, 1960 to 2000. *Science* 300:758-762.
- Eviner, V. T. y F. S. Chapin III. 2003. Biogeochemical interactions and biodiversity. En J. M. Melillo, C. B. Field y B. Moldan, eds., *Interactions of the Major Biogeochemical Cycles. Global Change and Human Impacts*, 151-173. Washington, DC: Island Press.
- Fleischer, A. y Y. Tsur. 2000. Measuring the recreational value of agricultural landscape. *European Review of Agricultural Economics* 27:385-398.
- Folke, C., J. Colding y F. Berkes. 2003. Synthesis: Building resilience and adaptive capacity in social-ecological systems. En F. Berkes, J. Colding y C. Folke, eds., *Navigating Social-Ecological Systems: Building Resilience for Complexity and Change*, 352-387. Cambridge, Reino Unido: Cambridge University Press.
- Freckman, D. W. y R. A. Virginia. 1997. Low-diversity Antarctic soil nematode communities: Distribution and response to disturbance. *Ecology* 78:363-369.

- Gandini, G. C. y E. Villa. 2003. Analysis of the cultural value of local livestock breeds: A methodology. *Journal of Animal Breeding and Genetics* 120:1-11.
- Gitay, H., J. B. Wilson y W. G. Lee. 1996. Species redundancy: A redundant concept? *Journal of Ecology* 84:121-124.
- Griffiths, B. S., K. Ritz, R. D. Bardgett, R. Cook, S. Christensen, F. Ekelund, S. J. Sorensen, E. Baath, J. Bloem, P. C. de Ruiter, J. Dolfing y B. Nicolardot. 2000. Ecosystem response of pasture soil communities to fumigation-induced microbial diversity reductions: An examination of the biodiversity-ecosystem function relationship. *Oikos* 90:279-294.
- Hector, A., B. Schmid, C. Beierkuhnlein, M. C. Caldiera, M. Diemer, P. G. Dimitrakopoulos, J. A. Finn, H. Freitas, P. S. Giller, J. Good, R. Harris, P. Högberg, K. Huss-Danell, J. Joshi, A. Jumpponen, C. Körner, P. W. Leadley, M. Loreau, A. Minns, C. P. H. Mulder, G. O. O'Donovan, S. J. Otway, J. S. Pereira, A. Prinz, D. J. Read, M. Scherer-Lorenzen, E.-D. Schulze, A.-S. Siamantziouras, D. E. M. Spehn, A. C. Terry, A. Y. Troumbis, F. I. Woodward, S. Yachi y J. H. Lawton. 1999. Plant diversity and productivity experiments in European grasslands. *Science* 286:1123-1127.
- Heisey, P., M. Smale, D. Byerlee y E. Souza. 1997. Wheat rusts and the cost of genetic diversity in the Punjab of Pakistan. *American Journal of Agricultural Economics* 79:727-737.
- Heywood, V. H. 1995. *Global Biodiversity Assessment*. United Nations Environmental Programme (UNEP). Cambridge, Reino Unido: Cambridge University Press.
- Holling, C. S. 1973. Resilience and stability of ecological systems. *Annual Review of Ecology and Systematics* 4:1-23.
- Holling, C. S., D. S. Schindler, B. W. Walker y J. Roughgarden. 1995. Biodiversity in the functioning of ecosystems: An ecological synthesis. En C. Perrings, K.-G. Mäler, C. Folke, C. S. Holling y B.-O. Jansson, eds., *Biodiversity Loss: Economic and Ecological Issues*, 44-83. Cambridge, Reino Unido: Cambridge University Press.
- Honey, M. 1999. *Ecotourism and Sustainable Development: Who Owns the Paradise?* Washington, DC: Island Press.
- Hooper, D. U. y P. M. Vitousek. 1997. The effects of plant composition and diversity on ecosystem processes. *Science* 277:1302-1305.
- Huston, M. A. 1997. Hidden treatments in ecological experiments: Re-evaluating the ecosystem function of biodiversity. *Oecologia* 110:449-460.
- Jones, C. G., J. H. Lawton y M. Shachak. 1994. Organisms as ecosystem engineers. *Oikos* 69:373-386.
- Kinzig, A. P., D. Pimentel y D. Tilman, eds. 2002. *The Functional Consequences of Biodiversity. Empirical Progress and Theoretical Extensions*. Princeton, NJ: Princeton University Press.



- Koo, B., P. G. Pardey y B. D. Wright. 2004. *Saving Seeds: The Economics of Conserving Crop Genetic Resources Ex Situ in the Future Harvest Centres of the CGIAR*. Wallingford, Reino Unido: CABI Publishing.
- Kremen, C. y T. Ricketts. 2000. Global perspectives on pollination disruptions. *Conservation Biology* 14:1226-1228.
- Kremen, C., N. M. Williams y R. W. Thorp. 2002. Crop pollination from native bees at risk from agricultural intensification. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 99:16812-16816.
- Kumar, B. M. y P. K. R. Nair. 2004. The enigma of tropical homegardens. *Agroforestry Systems* 61:135-152.
- Loreau, M., S. Naeem y P. Inchausti, eds. 2002. *Biodiversity and Ecosystem Functioning: Synthesis and Perspectives*. Oxford, Reino Unido: Oxford University Press.
- Loreau, M., S. Naeem, P. Inchausti, J. Bengtsson, J. P. Grime, A. Hector, D. U. Hooper, M. A. Huston, D. Raffaelli, B. Schmid, D. Tilman y D. A. Wardle. 2001. Ecology—Biodiversity and ecosystem functioning: Current knowledge and future challenges. *Science* 294:804-808.
- Mäder, P., A. Fließbach, D. Dubois, L. Gunst, P. Fried y U. Niggli. 2002. Soil fertility and biodiversity in organic farming. *Science* 296:1694-1697.
- McNeely, J. A. y S. J. Scherr. 2003. *Ecoagriculture: Strategies to Feed the World and Save Biodiversity*. Washington, DC: Island Press.
- Meng, E. C. H., M. Smale, S. Rozelle, H. Ruifa y J. Huang. 2003. Wheat genetic diversity in China: Measurement and cost. En S. Rozelle y D. A. Sumner, eds., *Agricultural Trade and Policy in China: Issues, Analysis and Implications*. Burlington, VT: Ashgate.
- Michon, G. y H. de Foresta. 1990. Complex agroforestry systems and the conservation of biological diversity. Agroforests in Indonesia: The link between two worlds. En *Proceedings of the International Conference on Tropical Biodiversity*, Kuala Lumpur, Malaysia. Kuala Lumpur: United Selangor Press.
- Mikola, J. y H. Setälä. 1998. No evidence of trophic cascades in experimental microbial-based soil food web. *Ecology* 79:153-164.
- Milestad, R. and S. Hadatsch. 2003. Organic farming and social-ecological resilience: The alpine valleys of Sölktäler, Austria. *Conservation Ecology* 8:3. Disponible en <http://www.consecol.org/vol8/iss1/art3>.
- Montoya, J. M., M. A. Rodriguez y B. A. Hawkins. 2003. Food web complexity and higher-level ecosystem services. *Ecology Letters* 6:587-593.
- Mulder, C. P. H., J. Koricheva, K. Huss-Danell, P. Höglberg y J. Joshi. 1999. Insects affect relationships between plant species richness and ecosystem processes. *Ecology Letters* 2:237-246.

- Nabhan, G. P. y S. Buchmann. 1997. Services provided by pollinators. En G. C. Daily, ed., *Nature's Services. Societal Dependence on Natural Ecosystems*, 133-150. Washington, DC: Island Press.
- Naeem, S. 1998. Species redundancy and ecosystem reliability. *Conservation Biology* 12:39-45.
- Naeem, S. 2001. Experimental validity and ecological scale as tools for evaluating research programs. En R. H. Gardner, W. M. Kemp, V. S. Kennedy y J. E. Petersen, eds., *Scaling Relationships in Experimental Ecology*, 223-250. New York: Columbia University Press.
- Naeem, S. 2002. Ecosystem consequences of biodiversity loss: The evolution of a paradigm. *Ecology* 83: 1537-1552.
- Naeem, S. y S. Li. 1997. Biodiversity enhances ecosystem reliability. *Nature* 390:507-509.
- Naeem, S., D. Hahn y G. Shuurman. 2000. Producer-decomposer codependency modulates biodiversity effects. *Nature* 403:762-764.
- Naeem, S., L. J. Thompson, S. P. Lawler, J. H. Lawton y R. M. Woodfin. 1994. Declining biodiversity can alter the performance of ecosystems. *Nature* 368:734-737.
- Naeem, S., L. J. Thompson, S. P. Lawler, J. H. Lawton y R. M. Woodfin. 1995. Empirical evidence that declining species diversity may alter the performance of terrestrial ecosystems. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London Series B: Biological Sciences* 347:249-262.
- Nunes, P. A. L. D. y J. C. J. M. van den Bergh. 2001. Economic valuation of biodiversity: Sense or nonsense? *Ecological Economics* 39:203-222.
- OECD (Organization for Economic Cooperation and Development). 2002. *Handbook of Biodiversity Valuation. A Guide for Policy Makers*. París: OECD.
- Orians, G. H., G. M. Brown, W. E. Kunin y J. E. Swierzbinski, eds. 1990. *Preservation and Valuation of Biological Resources*, 203-226. Seattle: University of Washington Press.
- Ostman, O., B. Ekbom, J. Bengtsson y A. C. Weibull. 2001. Landscape complexity and farming practice influence the condition of polyphagous carabid beetles. *Ecological Applications* 11:480-488.
- Pacala, S. W. y D. Tilman. 2002. The transition from sampling to complementarity. En A. P. Kinzig, D. Pimentel y D. Tilman, eds., *The Functional Consequences of Biodiversity. Empirical Progress and Theoretical Extensions*, 151-166. Princeton, NJ: Princeton University Press.
- Pain, D. J. y M. W. Pienkowski. 1997. *Farming and Birds in Europe: The Common Agricultural Policy and Its Implications for Bird Conservation*. Cambridge, UK: Academic Press.

- Paine, R. T. 1966. Food web complexity and species diversity. *American Naturalist* 100:65–75.
- Perfecto, I., J. Vandermeer, P. Hanson y V. Cartin. 1997. Arthropod biodiversity loss and the transformation of a tropical agro-ecosystem. *Biodiversity and Conservation* 6:935–945.
- Perrings, C. 1995. Biodiversity conservation as insurance. En T. Swanson, ed., *Economics and Ecology of Biodiversity Decline*, 69–77. Cambridge, Reino Unido: Cambridge University Press.
- Petchey, O. L., P. J. Morin, F. D. Hulot, M. Loreau, J. McGrady-Steed y S. Naeem. 2002. Contributions of aquatic model systems to our understanding of biodiversity and ecosystem functioning. En M. Loreau, S. Naeem y P. Inchausti, eds., *Biodiversity and Ecosystem Functioning: Synthesis and Perspectives*, 127–138. Oxford, Reino Unido: Oxford University Press.
- Pinto-Correia, T. 2000. Future development in Portuguese rural areas: How to manage agricultural support for landscape conservation? *Landscape and Urban Planning* 50:95–106.
- Pretty, J. y H. Ward. 2001. Social capital and the environment. *World Development* 29:209–227.
- Ricketts, T. H., G. C. Daily, P. R. Ehrlich y J. P. Fay. 2001. Countryside biogeography of moths in a fragmented landscape: Biodiversity in native and agricultural habitats. *Conservation Biology* 15:378–388.
- Robinson, R. A., J. D. Wilson y H. Q. P. Crick. 2001. The importance of arable habitat for farmland birds in grassland landscapes. *Journal of Applied Ecology* 38:1059–1069.
- Schmid, B., J. Joshi y F. Schläpfer. 2002. Empirical evidence for biodiversity–ecosystem functioning relationships. En A. P. Kinzig, S. W. Pacala y D. Tilman, eds., *Functional Consequences of Biodiversity. Empirical Progress and Theoretical Extensions*, 120–150. Princeton, NJ: Princeton University Press.
- Scoones, I. 1999. New ecology and the social sciences: What prospects for a fruitful engagement? *Annual Review of Anthropology* 28:479–507.
- Smale, M., ed. 2005. *Valuing Crop Biodiversity: On-Farm Genetic Resources and Economic Change*. Wallingford, Reino Unido: CABI Publishing.
- Smale, M., J. Hartell, P. W. Heisey y B. Senauer. 1998. The contribution of genetic resources and diversity to wheat production in the Punjab of Pakistan. *American Journal of Agricultural Economics* 80:482–493.
- Söderström, B., S. Kiema y R. S. Reid. 2003. Intensified agricultural land-use and bird conservation in Burkina Faso. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 99:113–124.

- Southwick, E. E. y L. Southwick. 1992. Estimating the economic value of honeybees (Hymenoptera, Apidae) as agricultural pollinators in the United States. *Journal of Economic Entomology* 85:621-633.
- Steffan-Dewenter, I. 2003. Importance of habitat area and landscape context for species richness of bees and wasps in fragmented orchard meadows. *Conservation Biology* 17:1036-1044.
- Steffan-Dewenter, I., U. Munzenberg, C. Burger, C. Thies y T. Tschardtke. 2002. Scale-dependent effects of landscape context on three pollinator guilds. *Ecology* 83:1421-1432.
- Stein, T. V., D. H. Anderson y T. Kelly. 1999. Using stakeholders' values to apply ecosystem management in an upper midwest landscape. *Environmental Management* 24:399-413.
- Tews, J., U. Brose, V. Grimm, K. Tielborger, M. C. Wichmann, M. Schwager y F. Jeltsch. 2004. Animal species diversity driven by habitat heterogeneity/diversity: The importance of keystone structures. *Journal of Biogeography* 31:79-92.
- Thies, C. y T. Tschardtke. 1999. Landscape structure and biological control in agroecosystems. *Science* 285:893-895.
- Thrupp, L. A. 1997. *Linking Biodiversity and Agriculture: Challenges and Opportunities for Sustainable Food Security*. Washington, dc: World Resources Institute.
- Tilman, D., J. Knops, D. Wedin y P. Reich. 1997a. The influence of functional diversity and composition on ecosystem processes. *Science* 277:1300-1302.
- Tilman, D., J. Knops, D. Wedin y P. Reich. 2002. Experimental and observational studies of diversity, productivity, and stability. En A. P. Kinzig, D. Pimentel y D. Tilman, eds., *The Functional Consequences of Biodiversity. Empirical Progress and Theoretical Extensions*, 42-70. Princeton, NJ: Princeton University Press.
- Tilman, D., C. L. Lehman y K. T. Thompson. 1997b. Plant diversity and ecosystem productivity: Theoretical considerations. *Proceedings of the National Academy of Science* 94:1857-1861.
- Tilman, D., D. Wedin y J. Knops. 1996. Productivity and sustainability influenced by biodiversity in grassland ecosystems. *Nature* 379:718-720.
- Tonhasca, A. y B. R. Stinner. 1991. Effects of strip intercropping and no-tillage on some pests and beneficial invertebrates of corn in Ohio. *Environmental Entomology* 20:1251-1258.
- Turner R. K., J. Paavola, P. Cooper, S. Farber, V. Jessamy y S. Georgiou. 2003. Valuing nature: Lessons learned and future research directions. *Ecological Economics* 46:493-510.
- Walker, B. H. 1992. Biological diversity and ecological redundancy. *Conservation Biology* 6:18-23.

- Walker, B., S. Carpenter, A. Anderies, N. Abel, C. Cumming, M. Janssen, L. Lebel, J. Norberg, G. D. Peterson y R. Pritchard. 2002. Resilience management in social-ecological systems: A working hypothesis for a participatory approach. *Conservation Ecology* 6:14. Disponible en <http://www.consecol.org/vol6/iss1/art14>.
- Walker, D. J. y D. L. Young. 1986. The effect of technical progress erosion damage and economic incentives for soil conservation. *Land Economics* 62:83-93.
- Wardle, D. A., O. Zackrisson, G. Hörnberg y C. Gallet. 1997. The influence of island area on ecosystem properties. *Science* 277:1296-1299.
- Widawsky, D. y S. Rozelle. 1998. Varietal diversity and yield variability in Chinese rice production. En M. Smale, ed., *Farmers, Gene Banks, and Crop Breeding*, 159-187. Boston: Kluwer.
- Wilson, E. O., ed. 1988. *Biodiversity*. Washington, DC: National Academy Press.
- Wood, S., K. Sebastian y S. J. Scherr. 2000. *Pilot Analysis of Global Ecosystems: Agroecosystems*. Washington, DC: International Food Policy Research Institute and World Resources Institute.
- Wright, J. P., C. G. Jones y A. S. Flecker. 2002. An ecosystem engineer, the beaver, increases species richness at the landscape scale. *Oecologia* 132:96-101.
- Yachi, S. y M. Loreau. 1999. Biodiversity and ecosystem functioning in a fluctuating environment: The insurance hypothesis. *Proceedings of the National Academy of Science* 96:1463-1468.
- Zhu, Y. Y., H. R. Chen, J. H. Fan, Y. Y. Wang, Y. Li, J. B. Chen, J. X. Fan, S. S. Yang, L. P. Hu, H. Leung, T. W. Mew, P. S. Teng, Z. H. Wang y C. C. Mundt. 2002. Genetic diversity and disease control in rice. *Nature* 406:718-722.

