

SCIENCE

Basé sur 20 ans de recherche à l'échelle mondiale, ce livre représente la première référence complète sur la diversité génétique des cultures telle qu'elle est maintenue au niveau des terres agricoles dans le monde entier. Présentant les conclusions de sept experts dans les domaines de l'écologie, la sélection des cultures, la génétique, l'anthropologie, l'économie et la politique, cette ressource inestimable place la biodiversité des cultures, gérée par les agriculteurs, au centre de la science nécessaire pour nourrir le monde et restaurer la santé de nos paysages productifs. Ce livre constituera un outil essentiel dans la formation des scientifiques de l'agriculture et de l'environnement qui cherchent des solutions nécessaires pour garantir des écosystèmes sains et résistants pour les générations futures.

«Le texte final qui place la diversité génétique des cultures et l'agrobiodiversité dans le contexte de la biologie évolutive et pour l'adaptation aux changements rapides de l'anthropocène ... constitue un moyen important pour former les jeunes scientifiques à produire des informations et des solutions qui vont contribuer à la santé et la résilience des systèmes environnementaux pour les générations futures».—Extrait de l'avant-propos écrit par **Cristián Samper**

«La sagesse et la persévérance de millions d'agriculteurs, depuis l'apparition de l'agriculture sont enfin reconnues et expliquées dans ce livre de référence.... Les auteurs de ce livre doivent être félicités pour avoir décrit de manière détaillée la valeur et la nécessité de conservation des variétés traditionnelles, qui constituent l'élément essentiel de transformation de l'agriculture actuelle, qui est dans une impasse, en un modèle durable basé sur une diversité génétique des cultures, enrichie par divers systèmes de cultures».—**Hans R. Herren**, coprésident de l'IAASTD

«Un texte complet, exhaustif et fiable rédigé par «une équipe de rêve» virtuelle d'universitaires sur la diversité génétique des cultures à la ferme. Il constitue une excellente ressource pour les étudiants et les chercheurs du monde entier intéressés par l'avenir de l'agriculture et de la sécurité alimentaire».—**Christine Padoch**, Centre de Recherche Forestière Internationale

Devra I. Jarvis est scientifique principale à Bioversity International et Professeur adjoint à l'université de l'État de Washington, Pullman. **Toby Hodgkin** est coordinateur au niveau de la Plateforme de Recherche sur l'Agrobiodiversité, et chercheur honoraire à Bioversity International. **Anthony H. D. Brown** est chercheur honoraire à la division de l'industrie végétale du CSIRO. **John Tuxill** est professeur associé au Collège d'Etudes Interdisciplinaires de Fairhaven à l'université Western Washington. **Isabel López Noriega** est experte juridique pour Bioversity International. **Melinda Smale** est professeur au Département de l'Agriculture, de l'Alimentation et de l'Economie des ressources à l'Université d'État du Michigan. **Bhuwon Sthapit** est scientifique senior à Bioversity International.

YALE AGRARIAN STUDIES SERIES
JAMES C. SCOTT, SERIES EDITOR

Yale
UNIVERSITY
PRESS

New Haven & London
yalebooks.com
yalebooks.co.uk



Illustration de la couverture : Analyse d'un champ contenant plusieurs variétés d'orge en vue de déterminer les variations dans la résistance aux maladies à Shangri-la, le comté de la Préfecture Autonome Tibétaine de Diding, au niveau de la province du Yunnan, en Chine. La propriétaire du terrain, vêtue de vêtements tibétains, et une étudiante en ethno-botanique de l'Institut de botanique de Kunming montrent les différences entre les plantes d'orge. Photo prise par D. Jarvis.



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Swiss Agency for Development
and Cooperation SDC

ISBN 978-92-9255-182-7



9 789292 551827



Diversité Génétique des Cultures au Champ et à la Ferme
JARVIS, HODGKIN, BROWN, TUXILL, LÓPEZ NORIEGA, SMALE ET STHAPIT

Diversité Génétique des Cultures au Champ et à la Ferme

Principes et Applications dans les Pratiques de Recherche

DEVRA I. JARVIS, TOBY HODGKIN, ANTHONY H. D. BROWN,
JOHN TUXILL, ISABEL LÓPEZ NORIEGA, MELINDA SMALE ET BHUWON STHAPIT
L'AVANT-PROPOS PAR CRISTIÁN SAMPER

Yale

Eloges anticipées pour le livre *Diversité Génétique des Cultures
au Champ et à la Ferme*:

«Le texte final qui place la diversité génétique des cultures et l'agrobiodiversité dans le contexte de la biologie évolutive et de l'adaptation aux changements rapides de l'anthropocène..., constitue un moyen important pour former les jeunes scientifiques à produire des informations et des solutions qui vont contribuer à la santé et à la résilience des systèmes environnementaux pour les futures générations»—Extrait de l'avant-propos de **Cristián Samper**

«La sagesse et la persévérance de millions d'agriculteurs depuis l'apparition de l'agriculture sont enfin reconnues et expliquées dans ce livre de référence, indispensable à tout étudiant ou agronome praticien, à tout écologiste, environnementaliste et conservationniste. Les auteurs de ce livre doivent être félicités pour avoir décrit de manière détaillée la valeur et la nécessité de conservation des variétés traditionnelles, qui constituent l'élément essentiel de transformation de l'agriculture actuelle, qui est dans une impasse, en un modèle durable basé sur une diversité génétique des cultures, enrichie par divers systèmes de cultures»—**Hans R. Herren**, coprésident de l'IAASTD

«Un texte complet, exhaustif et fiable, rédigé par “une équipe de rêve” d'universitaires sur la diversité génétique des cultures à la ferme. Il constitue une excellente source d'informations pour les étudiants et les chercheurs du monde entier, qui sont intéressés par l'avenir de l'agriculture et de la sécurité alimentaire»—**Christine Padoch**, Centre de la Recherche Forestière Internationale

«Une bourse d'étude solide et originale. La conservation de la diversité génétique des cultures est importante pour l'avenir de la civilisation humaine. Ce livre fournit une bonne référence générale moderne à propos de la diversité génétique des cultures»—**Tim Murray**, Université d'État de Washington



Cette édition est dédiée à deux pionniers ayant déployé des efforts au niveau mondial pour soutenir la conservation et l'utilisation des ressources phylogénétiques.



Dr Bhuwon Ratna Sthapit, co-auteur de ce livre, scientifique senior à Bioversity International et membre du Conseil exécutif de l'ONG népalaise de renommée internationale pour les Initiatives Locales pour la Biodiversité, la Recherche et le Développement (LI-BIRD). Il a été un véritable pionnier.

Il était expert reconnu et un mentor en matière de méthodes participatives pour évaluer et utiliser la biodiversité agricole, d'amélioration participative des cultures, de conservation *in situ* et à la ferme, de jardins familiaux, de gestion communautaire de la biodiversité des cultures et des arbres fruitiers tropicaux et de banques de semences communautaires. Bhuwon a toujours placé les agriculteurs au centre de son travail. Sa passion, son engagement et son savoir, qu'il a partagés avec les communautés locales pendant plus de 30 ans, seront repris par les futures générations de chercheurs qui se sont inspirés de lui. Né en 1954 à Pokhara au Népal, Dr Sthapit est titulaire d'une maîtrise et un master en philosophie de l'agriculture à l'Université de Reading (Royaume-Uni) et d'un doctorat en Sélection Végétale à l'Université du Pays de Galles (Royaume-Uni). Avant de rejoindre Bioversity International, il a travaillé pour le Centre de Recherche Agricole de Lumle à Kaski au Népal, et a été l'un des membres fondateurs et un ancien Président du Conseil Exécutif du LI-BIRD. Dr Sthapit a été un leader mondial dans le développement et le renforcement des méthodologies de recherche participative pour l'agrobiodiversité et dans l'institutionnalisation de ces approches dans les programmes nationaux. Il était un auteur prolifique et ses travaux de recherche couvrant les domaines de la sélection végétale, la politique, l'agronomie, l'économie et les sciences sociales ont été publiés dans des ouvrages nationaux et internationaux et dans de nombreuses revues.



Dr Wadgi George Ayad, ancien Directeur du Bureau Régional de l'Institut International des Ressources P h y t o g é n é t i q u e s (aujourd'hui Bioersity International) pour l'Asie Centrale, l'Asie Occidentale et l'Afrique du Nord, a été un pionnier de la

conservation et de l'utilisation des ressources génétiques, il a travaillé avec le premier Conseil International des Ressources Phylogénétiques à partir des années 1980. Dr Ayad est titulaire d'une licence en sciences agricoles de l'Université du Caire à Giza en Égypte, d'une maîtrise en Conservation et Utilisation des Ressources Phylogénétiques et d'un Doctorat en Biologie végétale de l'Université de Birmingham au Royaume-Uni. Dr Ayad a été l'un des plus forts soutiens de la mise en place de programmes nationaux sur les ressources phylogénétiques et a été l'un des premiers à reconnaître l'importance de la participation des personnes impliquées dans la gestion de la biodiversité agricole à la Convention sur la Diversité Biologique. Il a passé plus de 40 ans à planifier, organiser et participer à des missions de prospection et de collecte pour diverses cultures et à développer des méthodologies permettant d'évaluer et de surveiller l'état et le niveau d'érosion génétique des ressources génétiques des cultures et des forêts. Dr Ayad a fourni des conseils techniques aux programmes nationaux en établissant les priorités des plans et stratégies nationaux en matière de ressources phylogénétiques, en exécutant des opérations des banques de gènes et en préparant des programmes nationaux de formation technique sur la conservation et l'utilisation des ressources phylogénétiques. C'était quelqu'un qui croyait en l'importance centrale de la collaboration internationale et en l'importance des programmes nationaux et qui reconnaissait la contribution continue des agriculteurs au maintien de la diversité. Un collègue aimable et attentionné, d'une immense intégrité, son mentorat, son soutien et ses idées étaient extrêmement importants pour bon nombre de ses collègues.

Série d'études agraires de l'université de Yale
James C. Scott, Éditeur de séries

La série d'études agraires de la presse de l'université de Yale cherche à publier des travaux interdisciplinaires remarquables et originaux sur l'agriculture et la société rurale—pour n'importe quelle période et n'importe quel endroit. Cette série encourage particulièrement les travaux audacieux qui remettent en question les paradigmes existants et remplissent les catégories abstraites avec l'expérience vécue par les populations rurales.

—James C. Scott, *éditeur de la série*

James C. Scott, *Seeing Like a State: How Certain Schemes to Improve the Human Condition Have Failed*

Steve Striffler, *Chicken: The Dangerous Transformation of America's Favorite Food*

Alissa Hamilton, *Squeezed: What You Don't Know About Orange Juice*

James C. Scott, *The Art of Not Being Governed: An Anarchist History of Upland Southeast Asia*

Sara M. Gregg, *Managing the Mountains: Land Use Planning, the New Deal, and the Creation of a Federal Landscape in Appalachia*

Michael R. Dove, *The Banana Tree at the Gate: A History of Marginal Peoples and Global Markets in Borneo*

Edwin C. Hagenstein, Sara M. Gregg, and Brian Donahue, eds., *American Georgics: Writings on Farming, Culture, and the Land*

Timothy Pachirat, *Every Twelve Seconds: Industrialized Slaughter and the Politics of Sight*

Andrew Sluyter, *Black Ranching Frontiers: African Cattle Herders of the Atlantic World, 1500–1900*

Brian Gareau, *From Precaution to Profit: Contemporary Challenges to Environmental Protection in the Montreal Protocol*

Kuntala Lahiri-Dutt and Gopa Samanta, *Dancing with the River: People and Life on the Chars of South Asia*

Alon Tal, *All the Trees of the Forest: Israel's Woodlands from the Bible to the Present*

Felix Wemheuer, *Famine Politics in Maoist China and the Soviet Union*

Jenny Leigh Smith, *Works in Progress: Plans and Realities on Soviet Farms, 1930–1963*

Graeme Auld, *Constructing Private Governance: The Rise and Evolution of Forest, Coffee, and Fisheries Certification*

Jess Gilbert, *Planning Democracy: Agrarian Intellectuals and the Intended New Deal*

Jessica Barnes and Michael R. Dove, eds., *Climate Cultures: Anthropological Perspectives on Climate Change*

Shafqat Hussain, *Remoteness and Modernity: Transformation and Continuity in Northern Pakistan*

Edward Dallam Melillo, *Strangers on Familiar Soil: Rediscovering the Chile-California Connection, 1786–2008*

Devra I. Jarvis, Toby Hodgkin, Anthony H. D. Brown, John Tuxill, Isabel López Noriega, *Melinda Smale, and Bhuwon Sthapit, Crop Genetic Diversity in the Field and on the Farm: Principles and Applications in Research Practices*

Pour une liste complète des titres de la série d'études agraires de l'université de Yale, visitez le site yalebooks.com/agrarian.

Diversité Génétique des Cultures au Champ et à la Ferme

*Principes et applications dans
les pratiques de recherche*

Devra I. Jarvis, Toby Hodgkin,
Anthony H. D. Brown, John Tuxill,
Isabel López Noriega, Melinda Smale,
and Bhuwon Sthapit

L'avant-propos par Cristián Samper



Yale UNIVERSITY PRESS
New Haven & London

Version originale en anglais publiée avec l'aide du Fonds commémoratif Mary Cady Tew

Depuis le 1^{er} décembre 2006, l'Institut International des Ressources Phytogénétiques (IPGRI) et le Réseau International pour l'Amélioration de la Banane et du Plantain (INIBAP) opèrent sous le nom de «Bioversity International».

Les appellations employées dans cette publication et la présentation des données qui y figurent n'impliquent, de la part de l'Institut International des Ressources Phytogénétiques et de la Direction du Développement et de la Coopération Suisse, aucune prise de position quant au statut juridique des pays, territoires, villes ou régions ou de leurs autorités ou concernant la délimitation de leurs frontières ou limites.

Les appellations économiques «développées» et «en développement» sont utilisées à des fins statistiques et n'expriment pas nécessairement un jugement par rapport au stade atteint par un pays, un territoire ou une région donnée dans le processus de développement.

Les opinions exprimées dans ce document sont celles des auteurs et ne représentent pas nécessairement celles de Bioversity International ni celles de la Direction du Développement et de la Coopération Suisse.

Copyright © 2016 par Bioversity International.

Tous droits réservés.

Ce livre ne peut être reproduit, en entier ou en partie, y compris les illustrations, sous n'importe quelle forme (au-delà de la copie autorisée par les sections 107 et 108 de la loi américaine sur les droits d'auteur et sauf par des réviseurs de la presse publique), sans l'autorisation écrite des éditeurs.

Les livres de la presse de l'université de Yale peuvent être achetés en quantité suffisante pour un usage éducatif, commercial ou promotionnel. Pour plus de renseignements, veuillez envoyer un courriel à sales.press@yale.edu (bureau américain) ou à sales@yaleup.co.uk (bureau britannique).

Crop Genetic Diversity in the Field and on the Farm: Principles and Applications in Research Practices (authors: Devra I. Jarvis, Toby Hodgkin, Anthony H. D. Brown, John Tuxill, Isabel López Noriega, Melinda Smale, Bhuwon Sthapit (ISBN 978-0-300-16112-0) was originally published in English by Yale University Press in 2016. This translation is published by arrangement with Bioversity International.

Traduction en français par Loubna BELQADI

Numéro de contrôle de la bibliothèque du Congrès pour la version originale en anglais: 201594383897

ISBN 978-92-9255-182-7

Ce livre est répertorié dans le catalogue de la bibliothèque britannique.

10 9 8 7 6 5 4 3 2 1

Aux nombreux participants dont les noms et les affiliations ne figurent peut-être pas dans ce volume; aux nombreux agriculteurs, communautés locales, agents de développement, éducateurs, chercheurs et représentants gouvernementaux qui ont collaboré au travail présenté dans ce livre, c'est grâce à leurs efforts que la publication de cet ouvrage est devenue possible.



Sommaire

Avant-propos par Cristián Samper	xiii
Préface	xv
Remerciements.....	xvii
CHAPITRE 1. Introduction et Aperçu Général.....	1
CHAPITRE 2. Origines de l’Agriculture, Domestication des Cultures et Centres de Diversité.....	15
CHAPITRE 3. Ressources Phytogénétiques, Conservation et Politiques: Histoire des Développements Internationaux et Nationaux Soutenant la Conservation et l’Utilisation de la Diversité des Cultures.....	38
CHAPITRE 4. Diversité et son Evolution chez les Populations de Cultures.....	69
CHAPITRE 5. Mesure de la Diversité des Cultures.....	99
CHAPITRE 6. Composantes Abiotiques et Biotiques des Ecosystèmes Agricoles.....	136
CHAPITRE 7. Diversité et Adaptation aux Environnements Défavorables à la Ferme.....	167
CHAPITRE 8. Qui sont les Gestionnaires de la Diversité? Caractérisation des Environnements Sociaux, Culturels et Economiques.....	208
CHAPITRE 9. Mesure des Valeurs de la Diversité à la Ferme.....	231

CHAPITRE 10. Politiques et Diversité Génétique à la Ferme	253
CHAPITRE 11. Ferme, Communauté et Paysage: Diversité Génétique et Pressions de Sélection à Différentes Echelles Sociales, Spatiales et Temporelle.....	277
CHAPITRE 12. Stratégies de Collaboration et d'Intervention	308
CHAPITRE 13. Conclusions: Variétés Traditionnelles et Productivité Agricole	342
Annexe A. Progiciels Utiles Pour l'Analyse Des Données Moléculaires.....	357
Annexe B. Systèmes d'Information Géographique et Ressources de Télédétection Disponibles sur Internet.....	359
Annexe C. Sélection de Champions de la Sélection Végétale Participative (PPB) à travers les âges.....	360
Glossaire.....	362
Références.....	385
A Propos des Auteurs.....	413

Avant-propos

Il y a quelques années, j'ai eu l'occasion de visiter certaines des communautés autochtones d'Otavalo, en Équateur. Nous nous sommes réunis dans une petite école en bois au bout d'un chemin de terre pour rencontrer plusieurs femmes et pour prendre connaissance des cultures qu'elles avaient dans leurs fermes. Il y avait une grande table couverte de haricots et de maïs, soigneusement disposés en rangées, et avec chacune d'entre elle un petit morceau de papier et un nom. C'était un festival de couleurs, de formes et de tailles. J'ai passé l'heure suivante à découvrir chacune de ces variétés, et à comprendre comment chacune avait une histoire de vie différente, certaines poussaient mieux en saison sèche, d'autres étaient plus résistantes à certains types d'insectes, d'autres étaient meilleures à consommer. C'était plusieurs centaines d'années d'un savoir condensé dans un petit espace, maintenu en vie par ces agriculteurs et leurs pratiques agricoles à travers les générations. Ils ont reconnu que la diversité des cultures était importante pour la production de leurs écosystèmes agricoles et prenaient des mesures pour s'assurer que cette diversité se perpétue dans leurs systèmes agricoles.

Les auteurs de ce livre sont des experts mondiaux en écologie, en sélection des cultures, en génétique, en anthropologie, en économie et en politique. Ils se sont réunis pour combler une lacune qui était là depuis longue date, et pour placer la biodiversité des cultures gérée par les agriculteurs carrément au centre de la science dont nous avons besoin pour nourrir le monde et rétablir la santé dans nos paysages productifs. Ce travail est plus qu'un simple appel retentissant pour la conservation de la biodiversité; il concerne l'utilisation de la diversité pour revitaliser l'agriculture afin de nourrir une population croissante. Il représente à peu près vingt ans de recherches mondiales avec des agriculteurs et des communautés partout dans le monde qui maintiennent la diversité génétique

sous forme de variétés traditionnelles d'un grand nombre de cultures, notamment celles négligées par la science. Ce travail interdisciplinaire est certainement le texte qui place la diversité génétique des cultures et l'agrobiodiversité dans le courant scientifique de la biologie évolutive et de l'adaptation aux changements rapides de l'anthropocène.

L'un des points forts de ce livre est qu'il met l'accent principalement sur les agriculteurs et sur la diversité génétique des cultures qu'ils gèrent et créent. La documentation scientifique transdisciplinaire est liée de manière étroite et cohérente en plaçant les agriculteurs et leurs moyens de subsistance, leurs services et leurs réponses aux besoins de la société et au changement au centre de l'analyse. Cette approche est appuyée par des outils qui documentent la quantité et le type de diversité qui existe, ainsi que l'endroit et le moment où elle est utilisée. Le résultat est un texte scientifique convaincant qui montre aux étudiants et aux lecteurs intéressés que les interactions des agriculteurs avec les processus évolutifs et la diversité génétique en agriculture ont peut-être produit le patrimoine le plus important que nous possédons.

En tant que biologiste, œuvrant dans le domaine de la conservation dans mon propre pays, un point chaud de la mégabiodiversité disposant de sa propre et importante biodiversité agricole, et travaillant au sein d'institutions mondiales concernées par l'écologie de toutes les plantes et de tous les animaux, je suis particulièrement heureux de voir enfin la biodiversité agricole s'inscrire pleinement dans la biologie évolutionnaire et l'écologie humaine. Ce livre est un outil essentiel pour former de jeunes scientifiques à la production des informations et des solutions qui contribueront à la création d'écosystèmes sains et résilients pour les générations futures. Mon espoir est qu'il soit largement utilisé dans toutes les écoles d'agriculture, ainsi que dans les instituts de formation et de recherche concernés par la conservation de la biodiversité, la sécurité alimentaire et le développement rural durable.

J'espère que certains d'entre vous auront l'occasion de visiter Otavalo ou d'autres communautés rurales, d'apprendre d'elles et de soutenir les efforts visant à utiliser notre patrimoine agricole pour maintenir et améliorer la production et la résilience des moyens de subsistance en milieu rural. Grâce à votre travail, le monde sera plus riche et les gens seront en meilleure santé.

Cristián Samper
Société de conservation de la vie sauvage
Bronx, New York, mai 2013

Préface

Ce livre présente une vision unique, fondée sur l'expérience de la recherche sur la diversité génétique des cultures à la ferme, comme le montrent les nombreux exemples et planches qu'il contient. Cette vision établit un lien étroit entre la recherche sur la diversité génétique des plantes cultivées dans les champs des agriculteurs et la conservation de cette diversité et son utilisation pour la production durable et le soutien des moyens de subsistance en milieu rural. Le livre traite les principes et les pratiques de collecte et d'utilisation des données pouvant provenir des variétés traditionnelles et des systèmes agricoles traditionnels par le biais de diagnostics participatifs et d'approches empiriques. Il s'agit notamment de méthodes permettant d'identifier les moyens de soutien des agriculteurs qui cultivent ces variétés.

Le livre présente donc au lecteur plusieurs méthodes et informations que les auteurs considèrent comme essentielles pour comprendre l'étendue, la distribution, et la nature de la diversité génétique encore présente dans les variétés traditionnelles des champs des agriculteurs du monde entier. Le livre est une monographie intégrée, plutôt qu'un volume édité de chapitres conçus séparément. Il souligne l'importance de réunir les données et les perspectives biologiques (agronomiques, écologiques, génétiques, etc.), sociales, économiques et culturelles au moyen d'analyses multivariées. Pour un canevas aussi large, le livre constitue un guide des principaux concepts motivants (par exemple, une plus grande diversité améliore la résilience) et des questions de recherche sur l'évaluation, la gestion et l'utilisation de la diversité génétique des cultures à la ferme. Au lieu de présenter une liste exhaustive de toute la littérature universitaire, ou un examen critique détaillé de sujets précis, nous renvoyons le lecteur à une sélection de littérature de base pertinente, qui fournit une entrée permettant au lecteur de faire un suivi sur des points précis.

Dans un monde en pleine mutation environnementale et sociale, notre vision de la conservation et de l'utilisation de la diversité génétique des cultures à la ferme est une vision en évolution dynamique. Nous démontrons, en intégrant plusieurs disciplines, que les variétés traditionnelles continuent d'être importantes pour les agriculteurs et les communautés. Cette diversité peut contribuer à améliorer la durabilité de leurs systèmes de production agricole. Par conséquent, les principes et les pratiques liant la recherche à l'utilisation des variétés traditionnelles sont traités dans le contexte de l'amélioration de la vie des agriculteurs et des communautés rurales. Nous insistons sur la nécessité de travailler en collaboration avec les agriculteurs et les communautés rurales de manière à assurer le respect de toutes les personnes impliquées.

Les variétés de cultures traditionnelles continuent d'être importantes pour la vie de millions d'agriculteurs à travers le monde. Elles sont utilisées et maintenues parce qu'elles jouent un rôle capital dans les stratégies de subsistance des producteurs individuels et des communautés rurales. Les préoccupations actuelles visant l'amélioration de la durabilité de l'agriculture et la nécessité de relever les défis du changement, en particulier le changement climatique, indiquent que ces propriétés seront cruciales pour améliorer les moyens de subsistance des ruraux et élargir les objectifs de développement. De ce fait, ce livre offre les outils nécessaires non seulement pour étudier la diversité génétique des variétés traditionnelles, mais également pour appuyer leur conservation et perpétuer leur utilisation.

Remerciements

Le présent travail n'aurait pas été possible sans le temps et l'énergie de nombreux agriculteurs, leurs familles et les communautés rurales, dont la collaboration a permis de produire l'essentiel du contenu de ce volume.

Les auteurs remercient le gouvernement Suisse (Agence Suisse pour le Développement et la Coopération) pour son généreux soutien financier à ce livre. De nombreuses études présentées tout au long de ce livre ont été réalisées dans le cadre d'un programme mondial entrepris par Bioversity International (anciennement l'Institut International des Ressources Phytogénétiques—IPGRI), avec l'aimable assistance des gouvernements Suisse (SDC—Direction du Développement et de la Coopération Suisse), Néerlandais (DGIS—Direction Générale de la Coopération Internationale), Allemand (BMZ/GTZ—Bundesministerium für Wirtschaftliche Zusammenarbeit/Deutsche Gesellschaft Für Technische Zusammenarbeit), Japonais (JICA), Canadien (IDRC—Centre de Recherches pour le Développement International), Espagnol et Péruvien, ainsi que du Fonds pour l'Environnement Mondial (GEF) et du Programme des Nations Unies pour l'Environnement (UNEP), du Programme des Nations Unies pour le Développement (PNUD), du Secrétariat de la Convention sur la Diversité Biologique (CBD), de la Fondation Ford, de l'Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture (FAO) et du Fonds International de Développement Agricole (IFAD).

Ce livre est le fruit d'un effort antérieur visant à créer une «base scientifique pour la conservation *in situ* à la ferme», qui a commencé au milieu des années 1990 et a été compilé pour la première fois dans le volume informel «Un guide de formation pour la conservation *in situ* à la ferme», qui a ensuite été traduit en russe, en espagnol, en arabe et en chinois pour une large diffusion.

De nombreux collègues ont apporté leurs contributions au volume original, et ont continué à le faire tout au long du long processus de finalisation de ce livre. Parmi eux figurent les membres d'origine de la «famille *in situ*» de l'IPGRI—

Burkina Faso: Didier Balma, Mamounata Belem, Madibaye Djimadoum, Issa Drabo, Omer Kabore, Tiganadaba Lodun, Jean-Baptiste Ouedraogo, Jérémy Ouedraogo, Mahamadi Ouedraogo, Oumar Ouedraogo, Mahamadou Sawadogo, Bernadette Some, Leopold Some, Jean-Baptiste Tignegre, Roger Zangre, Jean-Didier Zongo; **Ethiopie:** Zemedede Asfaw, Abebe Demissie, Tesema Tanto; **Hongrie:** Györgyi Bela, Ágnes Gyovai, László Holly, István Már, György Pataki; **Mexique:** Luis Arias-Reyes, Luis Burgos-May, Tania Carolina Camacho-Villa, Jaime Canul-Kú, Fernando Castillo-Gonzalez, Esmeralda Cázares-Sánchez, Jose Luis Chavez-Servia, Teresa Duch-Carballo, Jorge Duch-Gary, Victor Manuel Interián-Kú, Luis Latournerie-Moreno, Diana Lope-Alzina, Fidel Márquez-Sánchez, Carmen Morales-Valderrama, Rafael Ortega-Paczka, Juan Rodriguez, Enrique Sauri-Duch, José Vidal Cob-Uicab, Elaine Yupit-Moo; **Maroc:** Ahmed Amri, Mustapha Arbaoui, Riad Balghi, Loubna Belqadi, Ahmed Birouk, Abdelaziz Bouisgaren, Mariam El Badraoui, Noureddine El Ouadghiri, Maria El Ouatel, Brahim Ezzahiri, Daoud Fanissi, Lamia Ghaouti, Abouchrif Hrou, Mohammed Mahdi, Hamdoun Mellas, Fattima Nassif, Keltoum Rh'Rib, Mohammed Sadiki, Seddik Saidi, Mouna Taghouti, Amar Tahiri, Bouchta Taik; **Népal:** Annu Adhikari, Niranjan Adhikari, Resham Amagain, Jwala Bajrachrya, Bimal Baniya, Krishna Baral, Bharat Bhandari, Bedanand Chaudhary, Pashupati Chaudhary, Devendra Gauchan, Salik Ram Gupta, Sanjaya Gyawali, Bal Krishna Joshi, Madhav Joshi, Ashok Mudwori, Yama Raj Panday, Diwakar Paudel, Indra Paudel, Ram Rana, Hom Nath Regmi, Deepak Rijal, K. K. Sherchand, Pitambar Shrestha, Pratap Shrestha, Surendra Shrestha, Deepa Singh, Abishkar Subedi, Anil Subedi, Sriram Subedi, Sharmila Sunwar, R. K. Tiwai, M. P. Upadhyaya, R. B. Yadav; **Pérou:** María Arroyo, Luis Collado-Panduro, Alfredo Riesco, Ricardo Séville-Panizo, Roberto Valdivia; **Turquie:** Alptekin Karagoz, Ayfer Tan; **Vietnam:** Nguyen Tat Canh, Pham Hung Cuong, Din Vao Dao, Nguyen Ngoc De, Nguyen Phung Ha, Nguyen Thi-Ngoc Hue, La Tuan Nghia, Nguyen Huu Nghia, Dan Van Nien, Tran Van On, Huynh Quang Tin, Luu Ngoc Trinh, Ha Dinh Tuan, Truong Van Tuyen; **IPGRI:** Suha Ashtar, George Ayad, Aicha Bammoun, Abdullah Bari, Susan Bragdon, Paola De Santis, Carmen de Vicente, Marlene Diekmann, Bernadette Dossou, Jan Engels, Pablo Eyzaguirre, Francois Gerson, Mikkel Grum, Luigi Guarino, Geoff Hawtin, Sara Hutchinson, Valerie Imbruce, Masa Iwanaga, Alder Keleman, Rami Khalil, Amanda King, Helen Klemick,

Lorenzo Maggioni, Thomas Metz, Landon Myer, Deborah Nares, Nouredine Nasr, Julia Ndung'u-Skilton, Nicky O'Neill, Abdou Salam Ouedraogo, Stefano Padulosi, Paul Quek, V. Ramanatha Rao, Ken Riley, Percy Sajise, Patrizia Tazza, Awegechew Teshome, Helen Thompson, Judith Thompson, Imke Thormann, Muhabbat Turdieva, Raymond Voduohe, David Williams, Issiaka Zoungrana; **autres collègues**: Ekin Birol, Stephen Brush, Dindo Campilan, Linda Collette, David Cooper, Erle Ellis, Carlo Fadda, Elizabeth Fajber, Maria Fernandez, Esbern Friis-Hansen, Christina Grieder, Helen Jensen, Peter Kenmore, Liang Luohui, Leslie Lipper, Erika Meng, Christine Padoch, Roberto Papa, Jean Louis Pham, Rene Salazar, Dan Schoen, William Settle, Louise Sperling, Robert Tripp, et Bert Visser.

Viennent ensuite les nombreux autres qui se sont joints à la «famille *in situ*» par la suite, dont **l'Algérie**: Malek Belguedj; **Bolivie**: Alejandro Bonifacio; **Chine**: Bao Shiyang, Chen Bin, Chen Hong, Dai Liyuan, He Chengxin, Huang Yaqin, Huang Yuan, Li Chunyan, Long Chunlin, Lu Chunming, Ma Junhong, Peng Huaxian, Wang Fuyou, Wang Yunyue, Wu Jie, Xu Furong, Yang Xuehui, Yang Yayun, Yu Guo, Yuan Jie, Zhang Enlai, Zhang Feifei; **Cuba**: Leonor Castiñeiras, Zoila Fundora-Mayor, Tomás Shagarodsky; **Équateur**: Catalina Bravo, Hugo Carrera, Jorge Coronel, Polivio Guaman, Carlos Nieto, José Ochoa, Juan Pazmino, Carmen Suarez, Cesar Tapia, Danilo Vera; **Kyrgyzstan**: Kubanichbek Turgunbaev; **Mali**: Amadou Sidibe; **Maroc**: Mustafa Bouzidi, Ghita Chlyeh, Selsabil Taoufiki, Nawal Touati, Abdelmalek Zirari; **Niger**: B. Danjimo; **Tunisie**: Abdelmajid Rhouma; **Ouganda**: Joyce Adokorach, Grace Atuahire, Enid Katungi, Catherine Kiwuka, Marjorie Kyomugisha, John Wasswa Mulumba, Josephine Namaganda, Michael Otim, Pamela Paparu, Michael Ugen; **Uzbekistan**: Karim Baymetov; **Biodiversity International**: Adriana Alercia, Bai Keyu, Mauricio Bellon, Nadia Bergamini, Evelyn Clancy, Carlo Fadda, Emile Frison, Michael Halewood, Michael Hermann, Deborah Karamura, Prem Mathur, Dunja Mijatovic, Rose Nankya, Paul Neate, Arshiya Noorani, Qi Wei, Marleni Ramirez, Frederik van Oudenhoven, Barbara Vinceti, Zhang Zongwen; et **autres**: Rima Alcadi, Irene Bain, Walter de Boef, Salvatore Ceccarelli, Maria Finckh, Agnes Fonteneau, Barbara Gemmill, Stefania Grando, Hans Herren, Timothy Johns, Richard C. Johnson, Michael Milgroom, David Molden, Tim Murray, Chris Pannkuk, Miguel Pinedo Vasquez, Massimo Reverberi, Marieta Sakalian, Dan Skinner, Peter Trutmann, Eva Weltzien, John Witcombe, Denise Tompetrini, Leverett Hubbard; et, en plus, les nombreux autres membres du personnel et des agents de développement et de vulgarisation, les éducateurs, les chercheurs et les responsables gouvernementaux qui ont participé aux travaux qui ont permis la réalisation de ce volume.

Nos remerciements vont tout particulièrement à Daniela Horna pour sa révision et ses ajouts aux questions économiques des chapitres 8 et 9, à David Williams pour sa révision et ses commentaires sur la domestication pour le chapitre 2, à Alessandra Giuliani pour sa révision et ses contributions à l'analyse de la chaîne de commercialisation du chapitre 9, à Tim Murray et Marco Pautasso pour leurs suggestions utiles afin d'améliorer le chapitre 7, à Paolo Colangelo pour ses contributions sur les méthodes statistiques dans les chapitres 5, 6 et 7, à Pablo Eyzaguirre pour avoir ajouté des suggestions visant à renforcer les composantes de la gestion humaine tout au long du livre, à Patrick Mulvany pour ses contributions au chapitre 12 concernant la souveraineté alimentaire et à Jan Engels, Christophe Bonneuil et Marianna Fenzi pour leurs contributions et opinions stimulantes qui ont contribué à façonner le chapitre 3. Nous remercions également Collin McAvinchey pour son aide dans la recherche de références et la demande d'autorisation d'utilisation des œuvres publiées, Maria Garruccio et Francesca Giampieri pour le soutien à la bibliothèque et Silvia Ticconi pour le soutien informatique qu'elle nous a fourni à tout moment, Safal Khatiwada pour avoir révisé les chiffres à la dernière minute, et à Bai Keyu, Nadia Bergamini, Michele Bozzano, Nora Capozio, Carmen de Vicente, Carlo Fadda, Yasuyuki Morimoto, Rose Nankya, Stefano Padulosi, Peng Huaxian, Devin R. Voir Ambika Thapa, Raymond Vodouhe, Camilla Zanzanaini, et le groupe de communication de Bioversity pour leur aide à localiser rapidement des photos à haute résolution à temps pour le volume. Nos remerciements particuliers à Paola De Santis pour ses contributions, sa logistique et ses suggestions novatrices du début à la fin de la préparation de ce livre. Raffaella Krista Jarvis a participé à la préparation des chiffres pour ce volume et, avec son père et sa grand-mère Lillian B. Jarvis, a encouragé et soutenu patiemment sa mère tout au long du processus de rédaction. Nous devons des remerciements tout particuliers à Linda Sears, pour l'inspiration, la précision et la rapidité avec lesquelles elle a édité ce volume; elle a pris nos diverses contributions et styles et a veillé à ce que nous tissions ensemble le produit final présenté ici.

Diversité Génétique des Cultures au Champ et à la Ferme



CHAPITRE 1

Introduction et Aperçu Général

Introduction

Ce livre est à propos de la diversité génétique des cultures qui est maintenue et utilisée dans les champs des agriculteurs à travers le monde entier. Il traite particulièrement la diversité des variétés traditionnelles ou des variétés de pays développées et maintenues par les agriculteurs depuis des siècles, notre patrimoine agricole. La majeure partie du livre décrit les principes et les pratiques de collecte et d'utilisation des données sur les variétés traditionnelles et les systèmes de production traditionnels, à travers des approches de diagnostic participatif et empiriques. Ceci est en vue de relier la recherche sur la diversité génétique des cultures dans les champs des agriculteurs à sa conservation et aussi à son utilisation pour une production durable, afin de soutenir les moyens de subsistance en milieu rural.

Différents termes ont été utilisés pour décrire les variétés développées et maintenues par les agriculteurs dans leurs systèmes de production, pendant plusieurs siècles. Celles-ci comprennent les variétés de pays, les variétés paysannes et les variétés populaires. Tout au long de ce livre, nous utilisons le terme «variétés traditionnelles» à moins que le contexte exige un terme différent.

Au fil des millénaires, les agriculteurs ont domestiqué des espèces végétales et créé les cultures et les variétés traditionnelles que nous connaissons aujourd'hui. Ils ont maintenu et modifié la diversité génétique présente au sein des différentes espèces végétales à travers la gestion de leurs systèmes de production, les pratiques agricoles qu'ils ont utilisées et la manière avec laquelle ils ont maintenu et sélectionné les cultures et les variétés pour assurer leurs propres moyens de subsistance et dégager un excédent pour aider à nourrir la population croissante de la planète.

Les 100-150 dernières années ont connu une augmentation dans l'utilisation des intrants chimiques, la mécanisation et une dépendance vis-à-vis des variétés uniformes récemment développées par des sélectionneurs professionnels. Par ailleurs, ces changements ont entraîné une simplification de nombreux systèmes de production et une diminution de la dépendance de la diversité biologique qui offre des avantages dans les systèmes agricoles traditionnels, tels que la lutte contre les ravageurs et les maladies, le maintien de la qualité des sols et les engrais organiques.

Au fur et à mesure que l'agriculture se modernisait et que de nouvelles variétés uniformes étaient introduites, il était largement admis que les variétés traditionnelles disparaîtraient rapidement, car elles étaient mal adaptées aux pratiques agricoles modernes et avaient souvent des rendements relativement faibles. Bien qu'elles aient été remplacées dans de nombreux systèmes agricoles, elles sont restées, contrairement aux attentes, importantes pour de nombreux petits agriculteurs à travers le monde, en particulier ceux qui cultivent dans des environnements de production moins favorables. Dans les années 1980 et 1990, un certain nombre de chercheurs ont reconnu la valeur des variétés traditionnelles dans de nombreux systèmes de production, en particulier Altieri et Merrick (1987) et Brush (1995, 1999).

Le Fonds International de Développement Agricole (IFAD) estime qu'il existe actuellement environ 500 millions de petites exploitations agricoles, souvent situées dans ou à proximité de zones riches en biodiversité. Dans les pays en développement, les petites exploitations familiales comptent près de deux milliards de personnes et produisent environ 80 % des aliments consommés en Asie et en Afrique subsaharienne. L'utilisation continue de variétés traditionnelles par un grand nombre d'agriculteurs reflète la valeur de ces variétés dans des conditions de production agricole à faible niveau d'intrants et leur importance continue dans les stratégies de subsistance des agriculteurs pauvres (voir Jarvis *et al.*, 2011 pour une analyse plus approfondie de la valeur des variétés traditionnelles).

Il existe actuellement un consensus croissant sur le fait que de nombreuses pratiques agricoles modernes ne sont pas durables, elles causent des dommages à l'environnement et une perte de la fonction de l'écosystème qui est à la base de la production agricole (MA, 2005; Go-Science/Foresight, 2011). Ceci a conduit à un regain d'intérêt pour les pratiques agricoles qui tiennent compte plus des processus biologiques et qui maintiennent ou améliorent les services écosystémiques (FAO, 2012) de manière à ce que cette diversité biologique

puisse être utilisée pour améliorer la durabilité et la productivité (par exemple, l'intensification durable, FAO, 2012).

Le changement climatique a également conduit à une préoccupation accrue pour le maintien et l'utilisation de la biodiversité dans les écosystèmes agricoles, particulièrement concernant la diversité des cultures et du bétail. Dans de nombreuses régions du monde, le changement climatique entraînera une modification des environnements de production, ce qui nécessitera souvent l'utilisation de nouvelles variétés de cultures et de races animales (Zimmerer, 2010; Hodgkin et Bordoni, 2012).

Deux autres facteurs favorisent un intérêt continu pour le maintien et l'utilisation des variétés traditionnelles. Premièrement, notre préoccupation croissante de la manière dont les aliments consommés sont produits, de façon à ne pas nuire à notre santé, à la santé des producteurs ou à celle de l'environnement (Pollan, 2006). Deuxièmement, il y a une reconnaissance croissante de l'importance de la souveraineté alimentaire, où ceux qui produisent, distribuent et consomment les aliments sont au centre des systèmes et des politiques alimentaires et agricoles, au lieu de répondre uniquement à la demande des marchés et des entreprises qui réduisent les produits alimentaires à de simples marchandises commercialisables à l'échelle internationale (Practical Action, 2011).

Si la prise de conscience croissante de la valeur de l'agrobiodiversité et de l'importance des variétés traditionnelles des cultures est importante, elle n'est souvent pas soutenue par des informations réelles sur la quantité et le type de diversité existante ainsi que le lieu et le moment où elle devrait être utilisée. Au cours des 20 dernières années, un corpus croissant de travaux a fourni un ensemble d'expériences, de pratiques et de procédures pour remédier à ce manque d'informations. Dans de nombreux pays, les travaux ont porté sur le maintien et l'utilisation des variétés traditionnelles de cultures, les quantités de diversité présentes, les façons dont ces variétés sont maintenues et les facteurs qui assurent leur pertinence continue pour les petits exploitants. Les résultats de ces travaux sont rassemblés dans ce livre, afin de fournir l'information pertinente, les outils et les méthodes qui peuvent être utilisés pour garantir la quantification de la diversité disponible au sein des variétés traditionnelles, la compréhension de sa valeur et le soutien de son maintien continu par les agriculteurs, là où cette diversité constitue leur option préférée.

Ce livre considère que les variétés traditionnelles, et plus généralement, la diversité génétique au sein des espèces cultivées qui continuent de jouer un rôle important dans les systèmes de production du monde entier, constituent une composante pertinente de l'évolution de la production agricole.

Diversité Génétique des Cultures et Variétés Traditionnelles

La diversité génétique des cultures comprend toute la diversité existante entre et au sein des différentes cultures et variétés cultivées à travers le monde. Elle inclut toute la diversité des caractères et la variation des gènes qui déterminent leur expression. Au sein de toute culture, cette diversité génétique constitue la base du développement, de la reconnaissance et de l'évolution des variétés traditionnelles. Harlan (1975) a donné l'une des meilleures descriptions des variétés traditionnelles «ou variétés de pays, comme il les appelait), il a déclaré que «les variétés de pays possèdent une certaine intégrité génétique. Elles sont reconnaissables morphologiquement; les agriculteurs possèdent des noms pour ces variétés et il est connu que les différentes variétés de pays diffèrent en termes d'adaptation au type de sol, de date du semis, de date de maturité, de hauteur, de valeur nutritive, d'utilisation et d'autres propriétés. Plus important encore, elles sont génétiquement diversifiées. Ces populations équilibrées—variables, en équilibre avec l'environnement et les agents pathogènes, et génétiquement dynamiques—constituent notre héritage, issu des générations et des cultivateurs antérieures».

La brève description de Harlan saisit la nature essentielle des variétés traditionnelles et de nombreux problèmes et questions traités au sein de ce livre. Quelle est la nature ou quel est le contenu de l'intégrité génétique que Harlan a identifié? Quels traits morphologiques sont importants pour l'identité et sous quelles conditions pour les différentes cultures? Dans quelle mesure l'utilisation des noms pour conférer une identité est-elle cohérente? Quelle est la nature de l'adaptation et comment les agriculteurs équilibrent-ils les différentes préoccupations d'adaptation à l'environnement, en harmonie avec différents systèmes de production et en répondant à différents besoins? Plus important encore, comment le maintien de la diversité génétique équilibre-t-il des préoccupations telles que la maximisation de la production ou la garantie de la résistance à des maladies ou ravageurs spécifiques? Quelle est la nature de l'équilibre qui maintient à la fois la variabilité et l'équilibre des populations auxquelles Harlan fait référence, et comment est-il maintenu au fil des générations d'agriculteurs et de cultivateurs?

Comme indiqué ci-dessus, les variétés traditionnelles sont associées à ce que l'on appelle communément une agriculture à «faibles intrants». Par rapport aux variétés modernes développées par les sélectionneurs des plantes, elles peuvent avoir un faible rendement mais semblent offrir une stabilité et une prévention des risques; c'est-à-dire qu'elles assurent une certaine production même dans des conditions défavorables et en étant exposées à des conditions climatiques extrêmes ou à des épidémies de maladies. Elles sont la marque de l'agriculture de subsistance, aidant à maintenir l'agriculteur et sa famille en vie jusqu'à la récolte suivante et fournissant souvent un excédent à vendre ou à échanger. Le maintien continu des variétés traditionnelles dans le système de production agricole répond également à un besoin social plus large en matériel évolutif et adapté, afin de répondre à des besoins et des défis de production en évolution.

Dans le cadre d'une analyse des moyens permettant de soutenir le maintien et l'utilisation des variétés traditionnelles pour une agriculture durable, Jarvis *et al.* (2011) ont examiné les raisons pour lesquelles les agriculteurs maintiennent les variétés traditionnelles. Ils indiquent que les variétés traditionnelles des cultures sont maintenues, entre autres, en raison de leur adaptation à des écosystèmes agricoles marginaux ou spécifiques et à des environnements ou des conditions de production hétérogènes et variables, comme assurance contre les risques environnementaux et autres. Ce maintien est pour faire face à l'évolution de la demande du marché, pour gérer les ravageurs et les maladies, en raison de leurs caractéristiques post-récolte (notamment leur valeur nutritionnelle), dans le but de répondre aux conditions sociales et économiques de production et de soutenir les pratiques culturelles et religieuses. Ils proposent que la diversité entre et au sein des variétés traditionnelles permette l'adaptation et l'évolution nécessaires aux agriculteurs pour relever les défis des difficiles, incertaines et changeantes conditions de production.

Cela suggère que les propriétés clés des variétés traditionnelles incluent leur capacité à produire dans des conditions de stress biotique ou abiotique, leur possession de gènes et de complexes de gènes adaptatifs, leur hétérogénéité génétique et leur valeur socioculturelle locale. Une autre caractéristique souvent attribuée aux variétés traditionnelles est l'interaction favorable des différentes composantes ou individus d'une population, de sorte qu'ils se complètent, plutôt que de se concurrencer les uns avec les autres.

Chez de nombreuses cultures, il existe certainement des preuves que les variétés traditionnelles possèdent des gènes utiles conférant une performance

6 INTRODUCTION ET APERÇU GÉNÉRAL

améliorée, une résistance à plusieurs maladies et ravageurs et une tolérance au stress abiotique (Frankel et *al.*, 1995). Dans certains environnements de production, les variétés traditionnelles ont dépassé les variétés modernes sous des conditions de stress. Des expériences menées chez l'orge (Ceccarelli, 1994) ont montré que dans des conditions extrêmes de sécheresse et de salinité, les variétés d'orge traditionnelles ont montré de meilleurs résultats que les cultivars modernes.

Il a été également prouvé que la présence d'une hétérogénéité contribue à la résistance aux maladies que l'on peut trouver chez plusieurs variétés traditionnelles. Des travaux sur des mélanges de variétés et sur des multilignées (des lignées quasi-isogéniques à l'exception du gène de résistance) ont montré que l'hétérogénéité peut réduire les dégâts causés par la maladie et donc produire un effet tampon, ou un «effet de mélange» noté par Wolfe (1985: 255): «Les mélanges d'hôtes peuvent limiter considérablement la propagation de la maladie par rapport à la moyenne de leurs composantes, à condition que les composantes diffèrent dans leur niveau de sensibilité».

Les communautés rurales maintiennent souvent un grand nombre de variétés traditionnelles distinctes et identifiables, ce qui offre un autre niveau d'hétérogénéité important pour les stratégies de production suivies par les communautés et les agriculteurs. Cela semble être plus évident dans le cas des principales cultures autogames et celles à multiplication végétative telles que le riz, la pomme de terre et le manioc (Rana et *al.*, 2007; Brush et *al.*, 1995; Salick et *al.*, 1997). Chacune des variétés, reconnues et maintenues en grands nombres, possède ses propres caractéristiques et, comme l'a noté Harlan, la communauté utilise ces variétés de différentes manières complémentaires—certaines peuvent constituer des produits de base plus ou moins productifs, d'autres peuvent être utilisées dans les cérémonies, d'autres peuvent être adaptées à des champs spécifiques présentant des problèmes ou encore pour répondre à certaines exigences de saisonnalité.

Il a également été suggéré que les variétés traditionnelles sont constituées de génotypes complémentaires qui en quelque sorte «s'assemblent» pour former une population de plantes pouvant exploiter au mieux des ressources limitées ou faire face à des stress naturels différents et qui, de ce fait, sont particulièrement adaptées à une agriculture à faible niveau d'intrants. C'est une proposition beaucoup plus controversée. Marshall (1977) a trouvé peu de preuves concernant ces interactions au sein des mélanges, bien que des études

sur les populations croisées composites d'orge aient suggéré que des interactions positives pourraient avoir lieu (Allard et Adams, 1969).

Cultures Majeures et Cultures Mineures

La recherche et le développement agricoles se sont concentrés sur les principales cultures au détriment de nombreuses autres cultures qui sont importantes pour le bien-être humain (Mangelsdorf, 1966; Kahane *et al.*, 2013). Trois cultures (blé, riz et maïs) fournissent 50 % de l'apport calorique mondial et 15 cultures fournissent 90 % de notre apport alimentaire total (Ceccarelli, 2009). Pourtant, dans les communautés agricoles où les variétés traditionnelles restent importantes, se trouve souvent une plus grande gamme de cultures que dans les systèmes agricoles dominés par les variétés modernes. Les cultures les moins importantes ont reçu différents labels tels que mineures, négligées, sous-utilisées, ou même «cultures perdues».

Les cultures mineures ont tendance à inclure toutes celles qui ne font pas partie du groupe des cultures d'importance mondiale qui dominent les systèmes de production modernes. Elles peuvent être réparties dans le monde entier (comme le sarrasin), d'importance régionale comme le *Lathyrus sativus* en Inde (qui contient des facteurs antinutritionnels importants), ou être très locales comme les racines et tubercules mineurs (par exemple, la maca et l'ulluco) des Andes. Les cultures négligées sont généralement celles qui le sont par l'agriculture moderne tout en restant importantes pour les communautés locales. Des exemples de ces cultures sont le teff d'Éthiopie ou le fonio d'Afrique de l'Ouest. Les espèces sous-utilisées (d'après la description utilisée par l'Académie Nationale des Sciences [1975]) incluent les cultures considérées comme ayant un potentiel d'expansion mais qui, pour une raison quelconque, ne sont pas adaptées à l'agriculture moderne ou aux pratiques de production actuelles. Les catégories se chevauchent souvent, et il existe évidemment une gradation continue allant de cultures plutôt connues telles que le sésame, le sarrasin et l'arachide de bambara à des cultures extrêmement locales et presque complètement marginalisées, comme certains millets mineurs du sud de l'Inde (par exemple, *Panicum sumatrense* et *Paspalum scrobiculatum*).

Dans les systèmes agricoles traditionnels, ces cultures sont importantes car elles contribuent directement aux moyens de subsistance locaux, à la santé et à la nutrition. Elles constituent une source de revenus et représentent encore une partie du système de production global qui soutient la fonctionnalité de

l'agroécosystème (par exemple, dans le cadre des rotations, l'apport d'engrais verts ou la capacité des cultures à produire sur les terres les plus marginales). Souvent, les variétés traditionnelles sont beaucoup moins bien définies dans ces cultures mineures. La quantité de diversité génétique présente dans ces cultures est également peu connue. Parfois, le maintien de ces petites populations (une ou deux plantes par foyer dans le cas de la courge éponge à pollinisation libre, dans les villages situés au milieu des collines népalaises) soulève des questions intéressantes sur leur maintien et leur amélioration par les agriculteurs.

Contenu du Livre

Si les variétés traditionnelles continuent à être importantes pour les agriculteurs et les communautés et à apporter des contributions précises, et si elles sont vraisemblablement importantes pour l'amélioration de la durabilité, alors nous devons comprendre comment aider à les maintenir dans le contexte de l'amélioration de la vie des agriculteurs et des communautés rurales et de la durabilité des systèmes de production. Ce livre fournit donc des outils permettant l'identification des moyens de soutien des agriculteurs qui souhaitent maintenir ces variétés. Il fournit des principes pour la collecte et l'utilisation de données réelles sur les types pouvant provenir de variétés traditionnelles et de systèmes agricoles traditionnels, par le biais d'un diagnostic participatif et d'approches empiriques. Il souligne l'importance de réunir ensemble les perspectives biologiques (agronomiques, écologiques, génétiques, etc.), sociales, économiques et culturelles, ainsi que l'importance du respect de tous les partenaires impliqués.

Un thème commun, à l'ensemble du livre, est la manière dont les variétés traditionnelles sont capables de s'adapter aux conditions changeantes. Cette capacité d'adaptation implique la garantie de la disponibilité du matériel végétal de plantation qui continuera à évoluer pour (1) faire face aux changements (environnementaux, économiques, sociaux) (2) offrir une résilience au cours du temps, dans des conditions constamment changeantes. À cet égard, une propriété importante de ces variétés est leur capacité évolutive. Dans cette optique, des outils centrés sur le décryptage de ce qui est impliqué dans le maintien de la capacité évolutive des systèmes de production sont présentés. Ce n'est pas une tâche facile, car lorsque nous parlons du maintien de la capacité évolutive, nous pouvons nous poser les questions suivantes: Pour quelle utilisation? A l'usage de qui? Comment le maintien et l'utilisation des variétés traditionnelles

soutiennent-ils la souveraineté alimentaire et les droits des agriculteurs et des communautés qui maintiennent et utilisent ces variétés? Combien de diversité devons-nous avoir pour permettre cette évolution, que ce soit la capacité évolutive d'amélioration des cultures (la composition génétique des cultures dont nous aurons besoin pour les conditions futures), ou les besoins évolutifs d'utilisation de la diversité, dans les systèmes de production agricoles, pour la productivité et la résilience?

Les chapitres 2 et 3 de ce livre fournissent des informations générales sur l'origine des cultures actuelles et sur le développement des programmes internationaux et nationaux de conservation et d'utilisation de la diversité génétique. Le chapitre 2 décrit les processus de domestication, les caractères ou les traits impliqués, et les changements génétiques qui se sont produits au cours des processus de domestication. L'importance des centres de diversité génétique et des centres d'origine des cultures est également décrite. Le chapitre 3 donne un aperçu historique de l'évolution des travaux sur la conservation délibérée des ressources phylogénétiques. Il examine le développement et l'évolution des programmes nationaux sur les ressources phylogénétiques, ainsi que les origines et le développement d'un engagement international en faveur de la conservation des ressources phylogénétiques. De plus, il décrit les travaux de la Convention sur la Diversité Biologique, de la Commission sur les ressources génétiques de la FAO et du Traité international sur les ressources phylogénétiques pour l'alimentation et l'agriculture. Le chapitre explore également les différentes manières dont les peuples autochtones, les communautés rurales, les programmes nationaux sur les ressources génétiques et les organisations internationales abordent les questions sur la conservation et définissent l'utilisation de la diversité génétique des cultures.

Le chapitre 4 présente les concepts de base de la diversité génétique et sa mesure au niveau des populations végétales, notamment la manière dont la taille de la population et ses forces évolutives—sélection, mutation, recombinaison et migration—affectent l'étendue et la distribution de la diversité génétique. Les effets de la biologie de la reproduction, des systèmes de sélection (reproduction), de la pollinisation et de la dispersion des graines sur la génétique sont également présentés. Le chapitre 5 vise à fournir au lecteur des outils et des méthodes permettant d'obtenir et d'analyser les données afin de comprendre l'étendue et la distribution de la diversité génétique dans les cultures, allant des méthodes agronomiques en passant par les méthodes biochimiques jusqu'aux méthodes moléculaires. Les méthodes présentées comprennent celles utilisées lors du

travail avec les agriculteurs pour obtenir des informations et des données sur l'étendue et la distribution de la diversité, et sur la manière dont les agriculteurs perçoivent et classent eux-mêmes la diversité. Le chapitre souligne l'importance des approches participatives et la nécessité d'avoir des accords communs clairs avec les communautés d'agriculteurs et le consentement préalable de toutes les parties en ce qui concerne la collecte et l'utilisation des données.

Les différences d'altitude, de pente, d'aspect, de précipitations, de température, d'intensité lumineuse, de vitesse du vent et des niveaux du CO₂, ainsi que la texture, la fertilité, et la toxicité du sol, les pollinisateurs, les ravageurs et les organismes souterrains jouent tous un rôle dans l'étendue et la distribution des variétés traditionnelles dans les écosystèmes agricoles. Le chapitre 6 fournit des outils de base pour identifier et caractériser les facteurs environnementaux clés affectant la diversité génétique et la productivité des cultures. Ceux-ci incluent les outils permettant de collecter et analyser des informations sur les connaissances des agriculteurs en matière de leur environnement biophysique et sur leurs perceptions des processus écologiques qui les entourent. Le chapitre comprend également des informations introductives sur les services écosystémiques et le rôle potentiel de la diversité génétique des cultures dans le soutien des fonctions des écosystèmes. Le chapitre 7 explore l'évolution des variétés de cultures dans des environnements de stress, en fournissant des principes de base d'adaptation au stress dans des environnements défavorables, et la variation génétique au sein et entre les variétés traditionnelles concernant les stress environnementaux. Ce chapitre présente les concepts de base et les outils permettant de mesurer la tolérance et la résistance au stress, y compris les stress abiotiques et biotiques, en comparant les variétés modernes aux variétés traditionnelles. L'utilisation d'une variété délibérément choisie pour son adaptation à un environnement spécifique se distingue de l'utilisation de la diversité en soi comme garantie du maintien de la productivité dans des environnements hétérogènes ou sous des climats changeants. Une discussion plus détaillée est donnée sur l'interrelation entre (1) la diversité génétique, (2) la réduction des dégâts actuels, et (3) la réduction de la vulnérabilité génétique, ou la réduction du potentiel de pertes futures des cultures, causées par les ravageurs et les maladies.

La culture peut être définie comme une expression de l'interaction dans le temps entre les communautés et leurs environnements naturels, historiques et sociaux. Ces environnements répondent non seulement aux besoins matériels des gens en matière de nourriture, de fourrage, d'eau, de médicaments et

d'autres ressources naturelles, mais ils constituent également les bases des valeurs éthiques, des concepts d'espaces sacrés, des expériences esthétiques et des identités personnelles ou collectives dérivées des environnements locaux. Le chapitre 8 porte sur la caractérisation des agriculteurs et des communautés agricoles qui maintiennent la diversité génétique des cultures dans leurs environnements sociaux, culturels et économiques. Les caractéristiques à prendre en compte incluent l'âge, le genre, la parenté, l'éducation, le statut économique, la richesse relative, le statut social, l'appartenance ethnique et la langue. Les outils permettant de caractériser les relations sociales et le capital social sont également fondamentaux pour comprendre le rôle que jouent les humains dans l'utilisation et la gestion de leurs ressources génétiques. Les deux méthodes quantitatives et qualitatives sont présentées pour analyser comment des rôles déterminés socialement, culturellement et économiquement, façonnent les modèles de diversité génétique des cultures chez les agriculteurs et leurs foyers, les réseaux ou les associations formelles d'agriculteurs et les communautés agricoles.

Le chapitre 9 vise à fournir des outils et des méthodes pour valoriser la diversité des exploitations agricoles d'un point de vue économique. Un point de départ est la distinction entre les valeurs privées et publiques des ressources génétiques des cultures dans les systèmes de production et la fourniture d'outils permettant de déterminer ce que les économistes appellent la «valeur économique totale». Le chapitre traite le «choix variétal» (quelles variétés cultiver) et les proportions de la superficie cultivée pour chaque variété. Des conseils sont fournis pour tester les relations entre les facteurs sociaux, culturels et économiques et la diversité à la ferme, ainsi que pour identifier les facteurs externes qui affectent les décisions des agriculteurs en matière de diversité. Cela inclut la compréhension de l'effet direct de la diversité génétique des cultures sur le rendement, qui est lié à l'effet de l'utilisation d'intrants productifs tels que les engrais, la main d'œuvre ou le type de semences et peut avoir un impact direct sur la performance de la culture, et sur l'effet de réduction des dégâts, lié à l'effet de l'utilisation d'intrants de contrôle tels que les insecticides, les fongicides ou les variétés résistantes qui n'augmentent pas directement le rendement mais réduisent l'effet des ravageurs ou des maladies sur les cultures. Des modèles économétriques sont présentés pour tester les relations de cause à effet et les vérifier à l'aide d'une analyse de régression multiple. Le chapitre 9 comporte également des outils permettant de comprendre les valeurs marchandes et non marchandes de la diversité génétique des cultures et présente les principes de la

création d'une approche de la chaîne de commercialisation pour l'utilisation de la diversité génétique des cultures.

Le chapitre 10 explique comment les politiques et les cadres juridiques dissuadent ou empêchent les agriculteurs de maintenir et de gérer la diversité végétale et présente un aperçu des concepts et des méthodes permettant d'analyser et d'élaborer des mesures politiques visant à inciter les agriculteurs à continuer d'utiliser les ressources phytogénétiques à la ferme, conformément au concept des droits des agriculteurs, reconnu par le Traité International sur les Ressources Phytogénétiques pour l'Alimentation et l'Agriculture. Ce chapitre examine comment les instruments politiques permettent aux technologies de répondre à l'objectif de modernisation de l'agriculture. Il s'agit notamment des lois sur les semences, des questions relatives aux droits de propriété intellectuelle et des approches alternatives en matière de protection des variétés végétales. Ce chapitre fournit un cadre pour le développement d'un processus politique, comprenant l'identification de domaines de réformes politiques, la compréhension du contexte dans lequel se déroule le processus politique et la mise en place d'outils participatifs pour la recherche et le développement politique. Le chapitre fournit également des outils d'identification des parties prenantes à impliquer dans l'évaluation et la formulation des politiques.

Le chapitre 11 examine plus en détail les processus qui continuent à façonner la structure et l'évolution de la diversité des cultures du point de vue production végétale. La façon dont les différentes forces évolutives, telles que la migration, le flux génétique et la sélection, peuvent influencer la diversité à différentes étapes du processus de production végétale est décrite. L'importance de la sélection en tant que force évolutive majeure est discutée dans une section séparée. Les systèmes de semences (les processus et les pratiques utilisés par les agriculteurs et les communautés pour garantir la disponibilité des semences de variétés traditionnelles) sont décrits, car ils constituent un élément central du maintien des variétés traditionnelles. Une dernière section aborde les questions d'échelle spatiale et temporelle et les moyens par lesquels la gestion communautaire des ressources peut influencer le maintien des variétés traditionnelles.

Le développement et la mise en œuvre d'un programme qui soutient l'utilisation et la conservation de la diversité génétique des cultures dans le système de production agricole, nécessitent plus que des ressources et de l'expertise pour collecter et assimiler des données de recherche. Cela nécessite également de développer des partenariats entre de nombreux individus et

institutions et de mobiliser les organisations communautaires pour des actions concrètes. Bien que les aspects de collaboration puissent être facilement négligés, ils constituent un élément fondamental d'une initiative réussie à la ferme. Le chapitre 12 présente d'abord l'éventail des acteurs, les types de relations nécessaires et les modalités de partage des responsabilités et des avantages. Ensuite, le chapitre introduit une approche de portefeuille en utilisant les types d'informations abordés dans les chapitres précédents pour identifier une série d'actions visant à soutenir la conservation et l'utilisation des variétés traditionnelles.

Le dernier chapitre ramène le lecteur à la question fondamentale qui est de savoir pourquoi nous avons besoin de maintenir la diversité génétique de notre patrimoine végétal dans le système de production agricole.

Lectures Complémentaires

- Altieri, Miguel A. 1995. *Agroecology: The Science of Sustainable Agriculture*, 2nd ed. Westview Press, Boulder, CO.
- Brush, S. B. 1999. *Genes in the Field: On-Farm Conservation of Crop Diversity*. IPGRI/IDRC/Lewis, Ottawa, ON.
- FAO. 2012. *Save and Grow*. FAO, Rome.
- Frankel, O. H., A. H. D. Brown, and J. J. Burdon. 1995. *The Conservation of Plant Biodiversity*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Harlan, J. R. 1975. *Crops and Man*. American Society of Agronomy, Madison, WI.
- Pollan, M. 2006. *The Omnivore's Dilemma*. Bloomsbury, London.
- Zimmerer, K. S. 2010. "Biological Diversity in Agriculture and Global Change". *Annual Review of Environmental Resources* 35: 137–66.



Planche 1. Les variétés traditionnelles, également appelées variétés de pays, variétés paysannes ou variétés populaires sont des variétés de cultures qui présentent souvent une certaine variabilité génétique, tout en maintenant une certaine intégrité génétique. Les agriculteurs reconnaissent les caractéristiques d'une variété traditionnelle, choisissent les traits qu'ils désirent et lui donnent généralement un nom. En haut à gauche: les variétés traditionnelles de riz au Népal. En haut à droite: agriculteur marocain séparant les semences de deux variétés de fèves. En bas à gauche: variétés traditionnelles de taro cultivées dans une parcelle de démonstration de diversité locale à Hue, au Vietnam. En bas à droite: femme burkinabé décrivant ses variétés locales de millet perlé. Crédits photos: R. Vodouhe (en haut à gauche), B. Sthapit (en bas à gauche), D. Jarvis (en bas à droite et en haut à droite).

CHAPITRE 2

Origines de l'Agriculture, Domestication des Cultures et Centres de Diversité

À la fin de ce chapitre, le lecteur devrait avoir compris:

- L'émergence de l'agriculture et des cultures.
- Les caractères ou traits associés à la domestication.
- Les processus impliqués dans la domestication et les changements génétiques qui se sont produits.
- Les centres de diversité des cultures dans le monde.

La première moitié de ce chapitre donne un aperçu sur les origines de l'agriculture et de la domestication des cultures, les processus qui ont été impliqués et les changements qui se sont produits chez les espèces que l'Homme a choisi de domestiquer. La diversité actuelle des cultures reflète les processus de domestication ainsi que l'histoire qui en découle, au fur et à mesure des changements et du développement des sociétés humaines et des déplacements de l'Homme autour du monde. Certaines régions du monde sont associées à des niveaux élevés de diversité, et ces «centres de diversité» semblent souvent avoir été associés à la domestication d'un grand nombre de nos principales cultures et aussi à l'évolution ultérieure du grand nombre de types différents que l'on trouve aujourd'hui.

La deuxième moitié du chapitre décrit l'identification de ces centres de diversité et le développement ultérieur du concept. Le processus continu de domestication et d'évolution—et les manières changeantes avec lesquelles les agriculteurs, les communautés et les sociétés gèrent leurs cultures—continue d'influencer les modèles de diversité changeants que nous observons aujourd'hui, aussi bien à l'intérieur qu'à l'extérieur des centres de diversité reconnus.

Des études complètes sur l'évolution et la domestication des cultures sont présentées par Harris et Hillman (1989), Barker (2009) et, d'un point de vue archéologique, par Weiss et *al.* (2004). Des études plus récentes, qui incluent les informations issues d'études moléculaires, comprennent les travaux de Fuller (2007) sur les cultures de l'Ancien Monde, de Pickersgill (2007) sur les cultures du Nouveau Monde, de Burger et *al.* (2008) et de Purugganan et Fuller (2009) sur le processus de domestication, et de Miller et Gross (2011) sur les différences de domestication entre les cultures annuelles et les cultures pérennes. Des descriptions des voies de domestication pour différentes cultures sont présentées par Sauer (1993) et par Smartt et Simmonds (1995).

Origines de l'Agriculture et des Cultures

Les archives archéologiques montrent que l'Homme a consommé les graines sauvages depuis au moins 20.000 à 25.000 ans (Weiss et *al.*, 2004). La cueillette a commencé à céder la place à la culture il y a environ 11.000 à 13.000 ans, pendant les périodes épipaléolithique et néolithique. En Amérique, les plantes domestiquées sont apparues peu de temps après l'arrivée de l'Homme, il y a au moins 13.000 ans. Les preuves indiquent que des groupes de chasseurs-cueilleurs ont commencé à cultiver indépendamment des plantes alimentaires dans pas moins de 24 régions différentes à travers le monde. Les premières cultures étaient les céréales dans environ 13 régions différentes (Purugganan et Fuller, 2009). Au cours des quelques milliers d'années suivantes, la domestication de nombreuses autres espèces s'est produite dans des régions aussi diverses du monde telles que le Moyen-Orient (le Croissant fertile et les bassins versants de l'Euphrate et du Tigre), la Méso-Amérique, les Andes centrales, l'Afrique occidentale subsaharienne, les hautes terres d'Afrique de l'Est et l'Ethiopie, différentes régions de l'Inde, de la nouvelle Guinée et de la Wallacea (Indonésie et Nouvelle-Guinée), et l'Asie Centrale. Le tableau 2.1 synthétise les informations sur les cultures, les zones et les dates présumées (si connues) de leur domestication.

Au Moyen-Orient, les premières cultures qui ont été domestiquées comprenaient l'engrain, le blé emmer, l'orge, la fève, le pois, le pois chiche et la lentille, ainsi que l'olive et la figue. En Asie, la domestication du millet sétaire a été réalisée dans le nord de la Chine, tandis que celle du riz Japonica a eu lieu dans le bassin du Yangtsé et le riz Indica a probablement été domestiqué en Inde. La domestication de la courge et du maïs remonte à 10.000 voire 7.000 ans en MésoAmérique, alors qu'en Amérique du Sud, la domestication de *Phaseolus vulgaris* (haricot), de la patate douce et de la pomme de terre remonte à environ 8.000 ans, avec une éventuelle domestication antérieure de *Phaseolus lunatus* (haricot de lima) et de *Cucurbita ecuadoriensis* (remontant peut être à 10.000 ans).

TABLEAU 2.1. LIEU ET DATE DE DOMESTICATION DE CERTAINES PRINCIPALES CULTURES GRAINIÈRES ET RACINAIRES.

Lieu	Culture	Date de domestication (Nombre d'années avant aujourd'hui)
Est de l'Amérique du Nord	<i>Chenopodium berlandieri</i>	4.500–4.000
	<i>Helianthus annuus</i> —tournesol	4.000
Mésio-Amérique	<i>Cucurbita pepo</i> —courge	10.000
	<i>Zea mays</i> —maïs	9.000–2.500
	<i>Phaseolus vulgaris</i> —haricot	
Néotropicales des basses terres du Nord	<i>Manihot esculenta</i> —manioc	6.000
	<i>Cucurbita moschata</i> —courge	9.000–8.000
	<i>Ipomoea batatas</i> —patate douce	4.000
	<i>Arapis hypogaea</i> —cacahuète	8.500
Andes	<i>Chenopodium quinoa</i> —quinoa	5.000
	<i>Solanum tuberosum</i> —pomme de terre	8.000
	<i>Oxalis tuberosa</i> —oca du Pérou	3.000
	<i>Phaseolus lunatus</i> —haricot de Lima	5.000
	<i>Phaseolus vulgaris</i> —haricot	4.000
	<i>Pennisetum glaucum</i> —millet perlé	4.500
Afrique de l'Ouest	<i>Vigna unguiculata</i> —niébé	3.700
	<i>Oryza glaberrima</i> —riz africain	<3.000
	<i>Dioscorea rotunda</i> —igname	Incertain
Afrique Orientale du Soudan	<i>Sorghum bicolor</i> —sorgho	>4.000
Hauts plateaux d'Afrique de l'Est	<i>Eragrostis teff</i> —teff	>4.000
	<i>Eleusine corocana</i> —éleusine	4000?
	<i>Triticum spp.</i> —blé dur, blé tendre	13.000-10.000
	<i>Hordeum vulgare</i> —orge	
Proche Orient	<i>Lens culinaris</i> —lentille	
	<i>Pisum sativum</i> —pois	
	<i>Cicer arietinum</i> —pois chiche	
	<i>Vicia faba</i> —fève	
Asie centrale	<i>Malus x domestica</i> —pommier	
	<i>Pyrus communis</i> —poirier	
Inde	<i>Vigna mungo</i> —haricot urd	5.000
	<i>Vigna radiata</i> —haricot mungo	8.500–4.500
	<i>Oryza sativa ssp. indica</i> —riz	
	<i>Setaria italica</i> —millet séttaire	8.000
Chine	<i>Glycine max</i> —soja	4.500?
	<i>Oryza sativa ssp. japonica</i> —riz	9.000–6.000
	<i>Colocasia</i> —taro	Incertain
	<i>Prunus persica</i> —pêcher	3.000?
	<i>Colocasia esculenta</i> —taro	7.000
Nouvelle Guinée et Wallacée	<i>Dioscorea esculenta</i> —igname	
	<i>Musa acuminata</i> —bananier	

Adapté de Purugganan et Fuller (2009) et de Miller et Gross (2011).

En Afrique, où la domestication est probablement plus tardive (il y a environ 5.000 à 3.000 ans), des cultures comme l'éleusine (*Eleusine coracana*), le mil à chandelle (*Pennisetum glaucum*) et le sorgho (*Sorghum bicolor*) ont probablement été domestiquées à la limite sud du Sahara (Barker, 2009). La Calebasse (*Lagenaria siceraria*), une culture de stockage plutôt qu'une culture vivrière, est indigène en Afrique et a probablement été domestiquée dans cette région depuis plus de 10.000 ans. D'après les preuves archéologiques, la calebasse a été transportée d'Asie aux Amériques à la fin du Pléistocène (Erickson et al., 2006), ce qui implique que cette espèce a été l'une des premières à être domestiquée (Zeder et al., 2006).

Changements Liés à la Domestication

La majorité de nos espèces domestiquées sont issues d'un nombre assez limité de familles botaniques. Les plus importantes de ces familles sont les Graminées (céréales et canne à sucre), les Fabacées (légumineuses), les Solanacées (pomme de terre, tomate et poivron), les Cucurbitacées (courge, concombre, melon et calebasse), les Ombellifères (légumes, herbes et épices), les Crucifères (légumes et oléagineux), les Rosacées (arbres fruitiers tempérés) et les Palmiers (cocotier, palmier à huile). Au sein de ces familles, certains genres se sont avérés particulièrement importants, tels que : *Allium* (oignon), *Brassica* (oléagineux et différents légumes de la famille du chou), *Phaseolus* (différents haricots), *Dioscorea* (vraie igname) et *Gossypium* (coton).

La domestication est le processus de sélection par lequel l'utilisation humaine des espèces végétales et animales conduit à des changements morphologiques et physiologiques qui distinguent les taxons domestiqués d'aujourd'hui de leurs ancêtres et des autres espèces sauvages voisines (Hancock, 2004; Purugganan et Fuller, 2009). Dévoiler l'histoire de la domestication des différentes cultures permet de réunir des preuves archéologiques et historiques avec des études sur la génétique et l'expression des gènes, et avec les modèles actuels de distribution et les modes d'utilisation des cultures dans différentes sociétés.

La domestication a adapté les espèces cultivées aux pratiques culturelles humaines. Elle a inclus la sélection des traits qui permettent une germination et une croissance réussies des semences dans des environnements perturbés. Ces traits facilitent la récolte et augmentent la quantité et la disponibilité du produit désiré (par exemple : le grain, le fruit, les parties florales, les feuilles, les tiges, les racines et le tubercule). La domestication implique à la fois une sélection

consciente des traits souhaités et une sélection inconsciente des caractéristiques associées aux processus de culture et de récolte (c'est-à-dire l'environnement agroécologique changeant dans lequel les plantes sont cultivées). Le processus de domestication se poursuit aujourd'hui, en particulier dans les régions où les agriculteurs continuent à introduire des plantes sauvages dans leurs systèmes de production cultivés.

Les changements typiques qui ont accompagné la domestication des cultures céréalières telles que le blé, l'orge, le riz, le millet et le sorgho, se sont traduits par la perte d'égrenage spontané (dispersion libre des graines à maturité) et l'augmentation de la taille des grains. D'autres tendances incluent la perte de la dormance des semences (qui a donné une germination plus uniforme après le semis), la synchronisation du tallage, un port de croissance plus déterminée et une maturité plus uniforme. Chez le maïs, ces changements ont entraîné une réduction de la ramification de la plante permettant de générer une seule grande tige, ainsi qu'une réduction du nombre d'inflorescences mâles et femelles. Les légumineuses à graines telles que le haricot, la lentille, le pois chiche, le soja et la fève ont connu des changements similaires, avec une maturation plus uniforme des gousses, une augmentation de la taille des graines et un mode de croissance plus déterminé. En ce qui concerne les cultures oléagineuses telles que le tournesol et les *Brassica* oléagineux, ce sont les mêmes caractéristiques de grains qui ont été constatées, bien que chez certaines de ces cultures, le processus de domestication soit moins complet; par exemple, l'éclatement des gousses reste fréquent chez le sésame et constitue souvent un problème chez les variétés traditionnelles de *Brassica* oléagineux.

Dans le cas de cultures telles que le manioc, l'igname, la patate douce et la pomme de terre, la domestication a entraîné une augmentation significative de la taille de l'organe de stockage des racines ou tubercules récoltés. Chez ces cultures, cette sélection a également entraîné une perte partielle ou complète de la production de semences, et la multiplication végétative est devenue la norme. L'augmentation significative de la taille de l'organe à consommer est également caractéristique de la plupart des cultures maraîchères—bulbes d'oignon, feuilles de chou et de laitue, bourgeons floraux immatures de chou-fleur—et des fruits de courge, poivron, tomate, aubergine, gombo et banane, ainsi que des arbres fruitiers pérennes tels que les pommes, les poires, les olives, les dattes, les mangues et les avocats. Le tableau 2.2 liste les traits associés à la domestication et le tableau 2.3 donne des exemples de cultures et de changements qui se produisent.

TABLEAU 2.2. TRAITS GÉNÉRALEMENT ASSOCIÉS À LA DOMESTICATION.

Traits communément associés à la domestication

- Augmentation de la capacité de reproduction
- Graines et fruits plus gros
- Germination plus uniforme et plus rapide
- Germination à une plus grande profondeur du sol
- Maturité plus uniforme
- Fruits et graines non-déhiscents
- Auto-pollinisation
- Tendance à l'annualité et aux cycles de production annuels
- Augmentation de la palatabilité
- Changements de couleur
- Perte de structures de défense
- Augmentation des adaptations locales
- Augmentation de la variabilité de certains traits clés de performance

Chez certaines cultures, la diversité actuelle peut être attribuée à un seul endroit et semble avoir impliqué un seul processus qui a donné naissance à un seul lignage qui peut être attribué à un seul trait génétique. Cela semble être le cas pour le maïs, le tournesol et l'engrain, quoique ces cultures aient probablement été domestiquées plus d'une fois, avec la disparition ou le remplacement des autres lignées. Cela pourrait également avoir été le cas pour le riz, selon une analyse moléculaire récente (Molina *et al.*, 2011). Dans les cas du haricot et de la courge, au moins deux lignées distinctes peuvent être identifiées, indiquant une domestication séparée à des endroits différents (voir l'encadré 2.1 pour la domestication du haricot). Dans le cas de certaines grandes cultures telles que le blé tétraploïde et l'orge, le nombre de fois où la culture a été domestiquée reste incertain (Burger *et al.*, 2008). Même lorsque les cultures ont fini par développer des barrières de reproduction avec les espèces sauvages dont elles sont issues, il y a eu probablement de longues périodes pendant lesquelles un flux de gènes s'est produit entre la culture putative et ses ancêtres sauvages. Pour de nombreuses cultures, et en particulier pour les arbres fruitiers, la domestication a impliqué un certain nombre de sites (souvent des zones géographiques différentes) avec des histoires complexes d'hybridation et de sélection de nouveaux types par différentes sociétés.

La domestication a souvent impliqué des changements dans la biologie de reproduction de la culture en comparaison à son ancêtre sauvage. De nombreuses cultures telles que le riz, la tomate et les Brassicacées oléagineuses diploïdes (*Brassica rapa*) sont autogames, tandis que leurs ancêtres sauvages et les espèces sauvages apparentées du genre sont allogames. C'est également le cas pour un certain nombre de cultures de fruits et de noix importantes telles que l'amande, le raisin et la papaye. La production de semences chez les cultures à racines et à tubercules est souvent réduite ou pratiquement supprimée, comme c'est le cas pour l'igname, le manioc et la pomme de terre. Les bananes cultivées ne produisent presque jamais de semences, ce qui rend extrêmement difficile l'amélioration de la culture et la production de nouvelles variétés. Les barrières de stérilité peuvent être totales ou partielles et semblent s'être développées au fil des générations grâce à une série de mécanismes différents comprenant la séparation physique, les modifications des périodes de floraison, et les changements cytologiques tel que l'altération des niveaux de ploïdie et les réarrangements intra-chromosomiques empêchant un appariement réussi lors de la méiose.

Environ quatre cultures sur cinq sont autopolyploïdes, amphidiploïdes ou les deux (Hancock, 2004), ce qui constitue un autre mécanisme d'isolement et pourrait bien avoir apporté plus d'avantages en termes de pratiques culturelles humaines, comme une taille plus importante. Un complexe de cultures classique dans lequel l'amphidiploïdie a joué un rôle majeur est le complexe de *Brassica*, où trois espèces cultivées amphidiploïdes (*Brassica carinata*, *B. juncea* et *B. napus*) résultent de l'hybridation de trois espèces diploïdes (*B. nigra*, *B. oleracea* et *B. rapa*).

En général, les cultures domestiquées ne contiennent qu'une partie limitée de la diversité de leurs espèces ancestrales ou de leurs espèces sauvages apparentées. Cela résulte souvent d'un seul processus de domestication, comme dans le cas du blé ou de la lentille, ou d'un nombre limité de processus, comme c'est probablement le cas de *Phaseolus vulgaris*. Ces processus se sont produits à des endroits spécifiques et n'ont impliqué qu'une partie limitée du pool génétique total de l'espèce ancestrale. Cet effet fondateur a donné naissance à un goulot d'étranglement génétique. Ainsi, chez les *Triticum*, il semble que le blé tendre hexaploïde ne possède qu'environ la moitié de la diversité nucléotidique trouvée chez son ancêtre sauvage tétraploïde, alors que le blé dur (également une espèce tétraploïde) semble avoir une diversité encore plus réduite que celle du blé tendre.

TABEAU 2.3. CHANGEMENTS ASSOCIÉS À LA DOMESTICATION ET EXEMPLES DE CULTURES ANNUELLES ET PÉRENNES AYANT CONNUS CES CHANGEMENTS.

<i>Trait</i>	<i>Etat (ancestral) sauvage</i>	<i>Etat (dérivé) domestiqué</i>	<i>Exemples de cultures annuelles</i>	<i>Exemples de cultures pérennes</i>
Système de reproduction	Allogame	Autogame	Riz, fève	Amandier, vigne, papayer, prunier
Mode de reproduction	Dioïque	Gynodioïque, andromonoïque, hermaphrodite		Poivre noir, vigne, caroubier
	Sexué	Asexué par parthénocarpie		Figuier, mombin rouge, bananier, pistachier, poirier
Inflorescence		Asexué via embryon nucellaire		Agrumes
		Asexué via la multiplication par l'Homme (greffage, marcottage, boutures)		Environ 75 % des pérennes cultivées
	Fleurs stériles	Asexué via racines ou tubercules	Manioc, igname, pomme de terre, patate douce	
		Les fleurs stériles deviennent fertiles	Céréales	
Graines	Peu	Plusieurs	Blé, orge, riz	
	Égrenage	Absence d'égrenage	Céréales, tournesol, légumineuses	
	Taille plus petite	Taille plus grande	La plupart des céréales, tournesol, légumineuses	
Dormance élevée	Faible quantité de graines	Grande quantité de graines	Lin	
	Plus toxique	Moins toxique	<i>Cucurbita</i> spp.	Amandier
	Faible teneur en huiles	Forte teneur en huile	Lin, tournesol	Clou de girofle
	Dormance élevée	Dormance faible	Légumineuses, riz	Polaskia (Cactus)

Fruit	Fruit relativement homogène	Variation accrue de la couleur, la taille et la forme	Pois chiche, tomate, piment rouge	Pommier
	Petite taille	Grande taille	Légumineuses, tomate	La plupart des cultures fruitières, oliviers, palmier dattier, vigne, grenadiers, pommiers, pruniers, manguiers, bananiers Oliviers
	Faible teneur en huile	Forte teneur en huile		
Épaisseur de l'enveloppe	Déhiscent	Indéhiscant	Légumineuses	Kapok
	Épaisse Fine	Fine épaisse		Pacanier, amandier Calebassier
Structure de défense	Épines	Absence d'épines	Aubergine	Olivier, prunier, kapok
	Pérenne	Cultivée comme annuelle	Tomate, piment rouge, aubergine	
Forme de croissance	Croissance indéterminée	Croissance déterminée	Céréales, tourmesol, soja	
	Grande	Naine		Avocatier, noix de coco, papayer, pommier, cerisier, pêcher, poirier, prunier, agrumes
Niveau de ploïdie	Diploïde	Polyploïde	Blé dur et blé tendre, arachide	Kiwi, arbre à pain, cerisier acide

Adapté de Miller et Gross (2011).

Encadré 2.1. Voies de Domestication chez Différentes Cultures

A. Sorgho (*Sorghum bicolor*)

Il semble que le sorgho ait été consommé par des chasseurs-cueilleurs il y a 10.000 ans, et sa domestication semble avoir eu ses origines en Éthiopie et dans les pays voisins. Cependant, il se peut que cette domestication ait eu lieu dans différents endroits d'Afrique, notamment l'Afrique de l'Ouest et la savane d'Afrique centrale. La sélection perturbatrice semble avoir été à l'origine du développement de différentes races et de nombreuses variétés dans différentes régions d'Afrique. Le sorgho semble avoir atteint l'Inde il y a environ 3.000 à 3.500 ans, il est arrivé plus tard au Moyen-Orient et en Asie de l'Est. La domestication a été associée à une évolution vers des graines plus grosses et non égrenantes et des panicules plus compactes. Harlan et deWet (1971) ont reconnu cinq principales races de sorgho cultivées sur la base de la morphologie: (1) Bicolore, largement répartie dans la savane africaine et en Asie; (2) Caudatum, trouvée au centre du Soudan et dans les régions voisines; (3) Guinea, qui est cultivée à la fois en Afrique de l'Est et en Afrique de l'Ouest; (4) Durra, trouvée principalement en Arabie et en Asie mineure, et (5) Kafir, cultivée principalement en Afrique du Sud. Des QTLs (Loci de caractères Quantitatifs) liés à la domestication ont été identifiés, chez le sorgho, et cartographiés dans différentes régions du génome (Sources: Hancock, 2004; Smartt et Simmonds, 1995).

B. Haricot (*Phaseolus vulgaris*)

P. vulgaris sauvage est largement répandu sur le continent américain, depuis le Mexique jusqu'en Amérique centrale et, au sud, le long des Andes jusqu'au Pérou, en Bolivie et en Argentine. Les populations nordiques de *P. vulgaris* sauvages provenant du Mexique et d'Amérique centrale sont génétiquement et morphologiquement distinctes de celles de l'extrémité sud de l'aire de distribution de l'espèce et présentent un isolement reproductif partiel. Les restes des haricots communs ne se conservent pas particulièrement bien, ce qui complique le développement d'un registre archéologique, mais des types cultivés de *P. vulgaris* apparaissent dans le registre archéologique méso-américain datant d'environ 2.500 ans, alors que des sites archéologiques d'Amérique du Sud ont donné des restes de haricots plus anciens, datant de 4.400 ans. Des études sur les protéines de réserves des graines et le polymorphisme de l'ADN indiquent que les haricots ont été domestiqués indépendamment au moins une fois en Méso-Amérique et dans les Andes (le sud du Pérou étant l'emplacement le plus probable des Andes), plutôt que d'avoir subi un seul événement de domestication en Amérique du Sud suivi d'une dispersion vers le nord au Mexique. Cela se reflète dans les profils actuels de diversité dans ces régions et dans l'isolement reproductif partiel des pools génétiques cultivés en Mésoamérique et dans les Andes (Sources: Gepts 1998; Kaplan et Lynch 1999; Chacón et al., 2005).

C. Banane (*Musa spp.*)

La plupart des bananes comestibles appartiennent à la section *Eu-musa* du genre *Musa* et sont des hybrides diploïdes ou triploïdes issus soit uniquement de *Musa acuminata* (génomme A) soit d'une hybridation avec *Musa balbisiana* (génomme B). Un groupe mineur, comprenant les bananes Fe'i, est confiné à la région du Pacifique et est dérivé des espèces *Australimusa*. Ce sont apparemment les habitants d'Asie du Sud-Est et des îles mélanésiennes qui ont procédé aux premières étapes de la domestication des bananes par l'hybridation de sous-espèces géographiquement isolées de *M. acuminata*. Les preuves archéo-botaniques suggèrent que cela s'est produit de 6.950 à 6.440 ans. Le transfert des soi-disant «cultiwilds» par l'Homme en dehors de leur aire de distribution et de leur hybridation avec des espèces locales,

M. acuminata et *M. balbisiana*, ont été à l'origine des diploïdes parthénocarpiques domestiqués. Des preuves linguistiques et autres suggèrent l'existence d'au moins trois régions de contact différentes: (1) la Nouvelle-Guinée et Java, (2) la Nouvelle-Guinée et les Philippines et (3) parmi les îles des Philippines, Bornéo et l'Asie du Sud-Est continentale. L'émergence de bananes triploïdes avec, selon les cas, les génomes AAA, AAB ou ABB s'est produite indépendamment dans ces différentes zones de contact.

Parmi les nombreux sous-groupes de triploïdes, trois sont remarquables car ils sont largement cultivés loin de leur aire de génération: le AAA africain «Mutika Lu-jugira», le AAB «Plantains africains» et le AAB «Plantains du Pacifique». L'ancienneté de chaque sous-groupe est attestée par le nombre extraordinairement élevé de morphotypes cultivés, indiquant une longue période de variation somaclonale, et par la présence de phytolithes *Musa* en Afrique Centrale, datés d'il y a 2.500 ans (Sources: Zeder *et al.*, 2006; Perriera *et al.*, 2011).

Chez de nombreux arbres fruitiers pérennes, le goulot d'étranglement génétique est moins marqué que chez les espèces annuelles. Ils ont souvent conservé une plus grande proportion de la variation génétique présente chez leurs ancêtres sauvages (Miller et Gross, 2011). Les exceptions à cette observation générale sont le ramboutan et le mangoustan. La plupart des cultures fruitières pérennes ont des durées de génération longues et se sont propagées par voie clonale. Un seul type désiré peut être maintenu pendant plusieurs centaines d'années, comme c'est le cas pour certaines variétés européennes de pommes et de poires dont l'origine remonte aux XVIII^{ème} et XIX^{ème} siècles.

L'une des conséquences de cet effet du goulot d'étranglement génétique qui s'est produit lors de la domestication est que des gènes d'intérêt se trouvent toujours chez les espèces sauvages apparentées aux espèces cultivées. L'intérêt pour l'utilisation des espèces sauvages apparentées dans l'amélioration des cultures a augmenté au cours des 50 dernières années, en particulier pour les parents proches, qui sont souvent des espèces ancestrales de la culture. Elles se sont révélées particulièrement utiles en tant que source de gènes de résistance aux maladies. Par exemple, plus de 35 gènes de résistance aux maladies trouvés dans des espèces sauvages de *Lycopersicon* ont été utilisés pour améliorer la résistance aux maladies chez la tomate (Bai et Lindhout, 2007). Les gènes provenant de parents sauvages ont amélioré à la fois la tolérance des cultures aux stress abiotiques et des gènes d'amélioration du rendement trouvés chez *Oryza rufipogon* et transférés à la culture du riz. Étant donné que de nombreuses cultures sont interfertiles avec leurs parents sauvages, il reste toujours possible d'introduire de nouveaux traits et de poursuivre la domestication au fil des siècles. Aujourd'hui encore, les agriculteurs peuvent permettre aux produits

issus de ces croisements de rester dans leurs variétés (Jarvis et Hodgkin, 1999), ou utiliser des parents sauvages afin de sélectionner du matériel pour de nouveaux processus de domestication, comme pour l'igname en Afrique de l'Ouest (Scarcelli et *al.*, 2006b).

Si la domestication a généralement réduit la diversité génétique totale présente dans la culture par rapport à ses ancêtres sauvages, la variation de certaines caractéristiques a souvent augmenté. Étant donné que les nouvelles zones de production des cultures se sont étendues et déplacées vers de nouvelles zones de production, l'adaptation à différents environnements agroécologiques s'est produite. La propagation du blé, de l'orge, des lentilles et des pois à partir du Croissant fertile semble avoir été relativement rapide, aussi bien en direction de l'Est (vers le Pakistan) que de l'Ouest (vers la Grèce et la Méditerranée occidentale). La propagation vers le nord, au-delà des Balkans, a nécessité une adaptation à des conditions de production plus froides et à des photopériodes différentes. Cela a impliqué le développement d'une réponse à la vernalisation chez les céréales et de types insensibles à la photopériode. Des cultures comme la lentille et le pois chiche ne se sont pas adaptées et sont restées associées à des climats plus chauds, tandis que des adaptations appropriées ont été développées chez l'orge, le blé, le pois et la fève (Purugganan et Fuller, 2009).

La domestication est le résultat de la sélection pratiquée par l'Homme. Les préférences culturelles et sociales de l'Homme ont été déterminantes dans le développement de la grande variété de types domestiqués que nous trouvons aujourd'hui chez de nombreuses cultures. Les variations régionales observées entre l'orge décortiquée et l'orge nue, ou entre l'orge à deux rangs et l'orge à six rangs, ont persisté pendant longtemps dans certaines régions d'Europe, du fait des préférences locales. D'autres exemples de sélection culturelle associés aux préférences alimentaires et qui caractérisent un ensemble de cultures sont la sélection pour les deux types de maïs, soufflé et élastique (Mexique), les traits aromatiques du riz associés au riz basmati (Inde) et au riz jasmin (Thaïlande), ainsi que les nombreux exemples de sélection pour des graines à faible teneur en amylase donnant naissance au trait collant que l'on trouve chez les variétés modernes d'au moins huit espèces de céréales (Sakamoto, 1996).

Au fil du temps, différents caractères d'intérêt ont été privilégiés en fonction des différentes fins auxquelles les cultures étaient destinées, et des caractères visibles ont souvent été sélectionnés lorsqu'ils pouvaient être utilisés pour identifier une variété (voir chapitre 5). Les exemples incluent la sélection de différents types de sorgho pour la sucrosité; les caractéristiques de taille, de

forme et de maturité chez différentes variétés de pommes, poires et autres fruits, ou encore la sélection pour différentes formes de pommes de terre. Certaines espèces de légumes ont donné naissance à de nombreuses et différentes cultures dans différentes régions du monde, l'exemple le plus illustrant est probablement celui des différentes espèces de *Brassica*. En Europe, *B. oleracea* a donné naissance à au moins dix types de cultures différentes: chou frisé (chou frisé à moelle, chou à mille têtes, curly kale, cavalo nero), chou (plusieurs types-rond, pointu, savoyard, rouge), chou cavalier, chou de Bruxelles, brocoli, chou-fleur (plusieurs types-blanc, vert, romanesque) et chou-rave résultant de la sélection des feuilles, des tiges, des bourgeons axillaires et des caractères floraux. Une diversité riche similaire peut être trouvée chez les cultures légumières chinoises de *B. juncea*.

Processus de Domestication

Même avant la «révolution agricole», les groupes des chasseurs-cueilleurs se rassemblaient en communautés, comme c'est encore le cas aujourd'hui. Ils géraient à la fois le paysage dans lequel ils vivaient ainsi que la faune et la flore qui en faisaient partie. Les connaissances indigènes sur les ressources biologiques existaient (et existent toujours) au sein de ces sociétés. Yen (1989) a décrit cette gestion de l'environnement comme une «domestication de cet environnement», qui comprend à la fois des aspects occasionnels (l'accumulation de déchets autour d'un centre d'habitation menant à un enrichissement du sol et des modifications de la végétation locale) et des activités plus délibérées, comme le contrôle des inondations dans les fonds de vallée, l'utilisation du feu et la gestion des ressources végétales particulièrement importantes (notamment des arbres de valeur ou des espèces de plantes médicinales).

Le débat est centré sur les moteurs du développement de l'agriculture et de la domestication. Le développement agricole a coïncidé avec (et a soutenu) l'augmentation de la population mondiale ainsi que le développement des États, des villes et d'une société de plus en plus stratifiée dans laquelle différents groupes ont entrepris différentes tâches (voir, par exemple, Weisdorf, 2005). Le changement climatique—en particulier, la hausse continue de température et de sécheresse pendant cette période—a probablement aussi joué un rôle majeur en tant que facteur de domestication. Les trois facteurs (la croissance démographique, l'augmentation de l'approvisionnement en nourriture par la domestication et le changement climatique) ont probablement agi les uns sur les autres en créant des boucles de rétroaction élaborées.

Certaines études, par exemple (Hillman et Davies, 1990), ont suggéré que la domestication s'est produite sur une période relativement courte et que, pour chaque culture, la domestication a dû probablement être relativement rapide. Cette hypothèse considère la domestication comme un événement au cours duquel, en quelques générations (ou quelques dizaines), une culture est passé d'une espèce sauvage, à l'état de culture reconnaissable grâce à l'acquisition et au maintien de quelques mutations clés telles que le trait d'absence d'égrenage chez les céréales.

Cependant, les preuves archéologiques montrent que le passage de «entièrement sauvage» à «entièrement domestiqué» s'est fait sur une période relativement longue. Tandis que les études de modélisation ont indiqué que le trait d'absence d'égrenage pourrait avoir évolué en moins de 100 ans, les études archéobotaniques affirment que la fixation du phénomène d'absence d'égrenage des rachis indéhiscents chez l'orge a pris environ 2.000 ans. De même, ce trait a évolué sur de longues périodes chez le blé et le riz (Purugganan et Fuller, 2009). L'évolution de la taille des graines semble également avoir pris beaucoup de temps (de 500 à 1.000 ans dans certains sites du Croissant Fertile, ce qui est nettement inférieur au temps qui a été nécessaire pour établir l'absence d'égrenage). Une autre conclusion importante tirée des analyses récentes est que le trait «grande taille des graines» s'est développé considérablement avant le développement de l'absence d'égrenage et qu'à cet égard, l'évolution des différents traits associés à la domestication n'était pas synchrone (Fuller, 2007). Purugganan et Fuller (2009) indiquent que le taux d'augmentation des formes domestiquées présentant le trait d'absence d'égrenage chez l'orge, le blé et le riz, a, peut-être, été d'environ 0,03 à 0,04 % par an, ce qui implique une faible pression de sélection pour ce trait.

Les études sur la domestication avaient tendance à se concentrer sur les principales cultures et en particulier les principales cultures céréalières originaires du Moyen-Orient, où les preuves archéologiques sont comparativement plus abondantes que dans d'autres régions du monde. De nouvelles preuves relatives à d'autres cultures originaires d'autres régions montrent que le processus de domestication est beaucoup plus varié qu'on ne le pensait auparavant.

Meyer et *al.*, (2012) ont examiné les informations disponibles sur la domestication de 203 cultures vivrières, majeures et mineures. Ils affirment que plusieurs caractéristiques «classiques» associées aux quelques grandes cultures intensivement étudiées (notamment les modifications des niveaux de ploïdie, l'absence d'égrenage, la multitude des origines) sont moins fréquentes lorsqu'une gamme plus large de cultures est considérée. Cela reflète, peut-

être, les différences qui existent entre les niveaux de domestication, mais cela nous rappelle que la généralisation est dangereuse et que la domestication est un processus dynamique. La combinaison de données archéologiques supplémentaires et d'informations issues d'analyses moléculaires devrait permettre de mieux comprendre les processus de domestication dans une gamme de cultures de plus en plus large, comme l'illustre l'analyse de la manière dont les mutations génétiques et la ploïdie génomique ont ouvert la voie à une domestication réussie de variétés modernes de blé cultivé (voir l'étude de Dubcovsky et Dvorak, 2007).

Aspects Génétiques de la Domestication

La série de changements apportés au cours de la domestication et qui touchent des caractéristiques liées aux graines des cultures, est parfois connue sous le nom de «syndrome de domestication» (Hammer, 1984). L'identification des gènes impliqués dans le contrôle de ces traits suscite un intérêt considérable depuis de nombreuses années. Le tableau 2.4 énumère les principaux traits impliqués dans le syndrome de domestication de deux cultures: le blé et le pois.

Un certain nombre de traits associés à la domestication ne sont contrôlés que par un nombre réduit de gènes. L'absence de l'égrenage chez le riz est sous le contrôle d'un seul locus, alors que chez le sorgho, le millet perlé et l'orge, deux loci sont impliqués. Les gènes impliqués dans ces exemples sont tous récessifs. La croissance déterminée et indéterminée chez le maïs et le haricot est sous le contrôle d'un ou deux gènes, tout comme la ramification chez le tournesol et le sésame (Hancock, 2004). Même dans les cas où les traits sont censés être régulés par un nombre plus important de gènes, l'analyse QTL (Loci des Traits Quantitatifs) a souvent montré que seul quelques loci ont une influence majeure sur chaque trait étudié (voir, par exemple, Koinage et *al.*, 1996, pour le haricot).

Les gènes qui contrôlent la variation des différents traits associés à la domestication sont de mieux en mieux compris grâce à la cartographie à fine résolution, au clonage de gènes et à d'autres techniques moléculaires. Une image de plus en plus diversifiée et complexe se dessine. Par exemple, Weeden (2007) a conclu que la domestication du pois impliquait un minimum de 15 gènes connus en plus d'un nombre relativement faible de QTL majeurs. Les gènes différaient de ceux impliqués dans la domestication de la fève, suggérant qu'il n'existait aucune base génétique commune au syndrome de domestication chez les Fabacées. Vaughan et *al.* (2007) ont noté que les allèles associés aux traits de domestication peuvent souvent être trouvés dans des populations de parents

TABLEAU 2.4. CERTAINS CARACTÈRES ASSOCIÉS AU «SYNDROME DE DOMESTICATION» CHEZ LE BLÉ ET LE POIS.

<i>Blé</i>	<i>Pois</i>
Perte d'égrenage	Gousses indéhiscentes
Perte de glumes dures	Augmentation de la taille des graines
Augmentation de la taille des graines	Réduction de la hauteur de la plante
Réduction du nombre de talles	réduction du nombre de branches basales
Croissance plus érigée	Neutre au photopériodisme
Réduction de la dormance des graines	Réduction de la dormance des graines

Adapté de Dubcovsky Dvorak (2007) pour le blé et de Weeden (2007) pour le pois.

sauvages, que les régulateurs de transcription impliqués dans la domestication appartiennent souvent à différentes familles et que la duplication des gènes et des génomes a été importante.

La caractérisation moléculaire, en particulier les QTL—plusieurs gènes qui affectent une caractéristique phénotypique particulière—a été utilisée comme une méthode majeure pour comprendre la base génétique de la domestication chez les plantes (voir le chapitre 5 pour une description plus détaillée des méthodes moléculaires). Les traits cibles de la sélection et les gènes qui les affectent ont été appelés «gènes de domestication». L'un des premiers gènes de domestication étudié, «*téosinte branched I (tb1)*», s'est avéré être le gène qui affecte la dominance apicale dans l'architecture du maïs, permettant le développement de plusieurs branches au lieu d'une seule tige dominante comme dans le cas de son parent sauvage la téosinte.

L'analyse QTL permet également de détecter des régions génomiques associées aux traits de domestication et nous aide donc à comprendre si les changements qui se produisent suite à la domestication, sont dus à de nombreux changements à effets mineurs ou à quelques changements à effets majeurs (les effets majeurs sont des traits contrôlés par au moins 20 % de la variance phénotypique au niveau de la population cartographiée). Les QTL ont montré que, chez les cultures annuelles, un certain nombre de traits de domestication résultent de peu de changements à effets majeurs, mais que cela n'est pas universel (Burger et al., 2008). Par exemple, dix loci contrôlent les traits de domestication relatif à l'égrenage spontané chez le maïs, trois loci chez le riz mais un seul locus chez le sorgho (Zeder et al., 2006).

Centres de Diversité et Centres d'Origine

Au cours des premières décennies du XX^{ème} siècle, le botaniste agronome russe N. I. Vavilov et ses collaborateurs ont mené une très vaste série de recherches sur un large éventail de plantes cultivées. Vavilov pensait que la production agricole en Russie (devenue plus tard URSS) avait besoin de l'introduction de plus de cultures diversifiées provenant d'environnements aussi divers que possible afin de répondre aux besoins de développement de variétés améliorées adaptées aux différents environnements de production du pays. Les propres expéditions de Vavilov l'ont conduit d'abord dans toutes les régions de la Russie—en particulier dans le Caucase et en Asie centrale—puis dans les pays voisins comme l'Afghanistan et la Turquie, ainsi que dans d'autres régions du Moyen-Orient et dans les pays de la Méditerranée. Il s'est également rendu en Éthiopie, en Extrême-Orient (notamment la Chine, le Japon et la Corée) ainsi qu'en Amérique du sud et en Amérique centrale (Vavilov, 1997). Ces explorations ont été poursuivies par ses collègues et ont permis à l'Institut Panrusse des Ressources Génétiques Végétale (VIR, devenu après l'Institut Vavilov), d'accumuler l'une des plus grandes collections de diversité végétale jamais constituée.

À partir des observations faites au cours de ses voyages et études menées en URSS sur la diversité génétique du matériel collecté, Vavilov a identifié des régions dans le monde qu'il a décrites comme des centres de diversité génétique. Il a indiqué que ces régions étaient également des centres d'origine des principales cultures (Vavilov 1929; 1945-1950). Ces centres de diversité et d'origine avaient tendance à se trouver dans des zones montagneuses présentant des preuves d'anciennes civilisations. Ils incluaient le Mexique et le nord de l'Amérique centrale, l'Amérique centrale, les Andes centrales, le bassin méditerranéen, l'Asie occidentale (y compris le Caucase), l'Asie centrale, les hauts plateaux éthiopiens, le sous-continent indien, l'Asie du Sud-Est et la Chine (Figure 2.1). Des analyses ultérieures ont révélé une image beaucoup plus complexe. Dans certains cas, les centres d'origine et les centres de diversité semblent bien coïncider, mais dans d'autres, cela ne semble pas être le cas. Harlan (1971), conscient que la diversité de certaines cultures était beaucoup plus largement répartie, a suggéré qu'il existait à la fois des centres de diversité assez localisés et d'autres qu'il a qualifiés de non-centres, qui étaient beaucoup plus largement répartis sur tout un continent, comme dans le cas du sorgho en Afrique ou du bananier en Asie du Sud-Est.



Figure 2.1. Huit centres d'origine de plantes cultivées proposés par Vavilov: (1) Chine; (2) Inde; (2a) la région indo-malaise; (3) Asie centrale, y compris Pakistan, Pendjab, Cachemire, Afghanistan et Turkestan; (4) Proche-Orient; (5) Méditerranée; (6) Éthiopie; (7) Sud du Mexique et Amérique centrale; (8) Amérique du Sud (8—Équateur, Pérou, Bolivie, 8a—Chili, 8b—Brésil-Paraguay) (Extrait de Harlan (1971), reproduit avec l'autorisation de l'AAAS)

Les analyses génétiques moléculaires de parents sauvages ancestraux supposés apparentés et de variétés traditionnelles commencent à fournir de nouvelles informations sur les lieux possibles de certains principaux événements de la domestication. Cependant, les preuves moléculaires doivent être lues avec prudence. Les preuves archéobotaniques indiquent que la domestication s'est produite sur une longue période et a probablement été accompagnée de nombreux changements d'orientation et de degré de sélection, et de variations dans les pratiques d'entretien au fur et à mesure que les communautés et les civilisations se développaient ou subissaient des revers. Les preuves moléculaires indiquent que l'emplacement des centres supposés d'origine de nombreuses cultures était souvent en marge des centres de diversité identifiés par Vavilov. Le concept de centres de diversité s'est révélé d'une immense utilité, il nous aide à comprendre les tendances de diversité observées, à concentrer les efforts de collecte et de conservation et à rechercher des variations potentiellement utiles ou des traits spécifiques présentant un intérêt potentiel pour les sélectionneurs de plantes.

Mouvement des Cultures à Travers le Monde

La distribution de la diversité génétique dans les cultures n'est pas statique. Les cultures et les variétés ont été transportées par les agriculteurs et les sociétés tout au long de l'histoire. La révolution agricole néolithique qui a débuté dans le Croissant Fertile s'est déplacée dans la région méditerranéenne et en Europe. Les traces des premières cultures dans différentes parties de l'Europe révèlent la vitesse à laquelle cette révolution a pu se produire et le moment où l'agriculture s'est établie dans les différentes régions. Les premiers sites où le complexe domestique de blé, d'orge, de lentilles et de fève a été découvert dans le sud de la Turquie et en Syrie datent d'environ 10.000 ans. Il y a 6.000 ans, ce complexe avait atteint la Grèce puis l'Italie. Les cultures les mieux adaptées aux climats nordiques (blé et orge) ont été trouvées dans des sites en Grande-Bretagne datant d'il y a 3.000 ans (Zohary et Hopf, 1988). Des mouvements similaires de cultures individuelles ou de complexes de cultures ont été tracés pour de nombreuses espèces différentes. Au fur et à mesure des déplacements des cultures, de nouveaux modèles de diversité génétique se sont développés. Souvent, cela impliquait une perte supplémentaire de diversité dans les nouvelles zones occupées par la culture et l'accumulation de nouvelles mutations associées aux besoins des agriculteurs, ou l'adaptation à de nouveaux environnements de production.

La présence de centres de diversité dits secondaires est l'une des caractéristiques les plus fascinantes de la distribution de la diversité génétique des cultures. Il s'agit de zones de grande diversité de certaines espèces cultivées, qui se trouvent loin des centres où la culture semble avoir évolué. L'Éthiopie, par exemple, semble être un centre secondaire de diversité pour un certain nombre de cultures, notamment l'orge, le blé et la lentille, ainsi qu'un centre primaire de diversité pour le tef et *Brassica carinata*. La région des Andes centrales, en plus d'être un centre primaire de diversité pour la pomme de terre, est également un centre secondaire pour le maïs.

Les mouvements d'espèces végétales et animales, assistés par l'Homme à travers les continents, ont commencé peu de temps après l'établissement des espèces domestiquées dans leurs centres d'origine. L'ensemble de cultures du Proche-Orient, composé d'orge, de blé, de pois, de lentille, de vesce, de fève, de lin et de vigne, s'est répandu le long des rives de la Méditerranée, du Danube, et le long du bas du Rhin, à l'est jusqu'au nord de l'Inde et au sud à travers l'Arabie, le Yémen et en Éthiopie. Il y a 4.000 ans, le complexe de cultures avait atteint la Chine. Des restes de plantes carbonisées, découverts en Inde et datant d'environ 4.600 ans, ont été identifiés comme étant des grains de culture

de millet domestiqué en Afrique à la limite sud du Sahara (Zeder et *al.*, 2006). La banane, domestiquée au Sud-Est Asiatique, aurait été introduite en Afrique de l'Est il y a au moins 3.000 ans (Zeder et *al.*, 2006). De l'autre côté du monde, du manioc, des cultures racinaires et du maïs ont été trouvés au Panama dans un site forestier tropical datant de plus de 5.000 ans. Ce complexe de cultures s'est répandu depuis le Brésil sur une période de 2.000 ans (Piperno et *al.*, 2000).

Plus tard, les cultures ont traversé le continent eurasiatique suite à l'essor du commerce le long des routes de la soie. Les épices se sont déplacées de l'Asie vers le Proche-Orient et l'Europe par des voies maritimes et terrestres depuis le début de l'Antiquité jusqu'à la période médiévale. Les recherches génétiques et archéobotaniques permettent de retracer un ancien réseau commercial de l'océan Indien reliant l'Afrique, l'Arabie, l'Asie du Sud et les colonies plus à l'est. Les premiers mouvements de soja sont liés à la diffusion du bouddhisme à travers la Chine, puis de la Chine vers d'autres pays d'Asie du Sud et du Sud-Est (Du Bois et *al.*, 2008).

Le mouvement le plus important et le plus rapide des cultures était associé au développement des liens entre les Amériques et l'Europe à la suite des voyages de Christophe Colomb dans ce qui est désormais connu sous le nom de l'Echange Colombien (Crosby, 2003). Comme indiqué, certains mouvements et adoptions se sont produits très rapidement alors que d'autres ont apparemment pris plus de temps. Ce mouvement de cultures a conduit à la création de nouveaux centres secondaires de diversité. Par exemple, les variétés de haricot trouvées en Afrique Orientale sont extrêmement variables en raison du transfert de matériel provenant de deux pools génétiques différents en Amérique du Sud et de leur mélange, hybridation et sélection ultérieurs par les agriculteurs locaux. Dans leurs nouveaux environnements, un certain nombre de cultures ont développé des caractéristiques considérablement modifiées, et de nouvelles mutations adaptatives ont probablement été identifiées et fixées par les agriculteurs dans les nouveaux sites. Ainsi, bien que les pommes de terre d'Europe du Nord présentent des niveaux de diversité relativement faibles par rapport à celles trouvées dans les Andes d'où elles sont originaires, elles possèdent des gènes qui les adaptent aux conditions de longues journées qui caractérisent leur nouvel environnement.

Il est intéressant de voir la vitesse avec laquelle certaines cultures se sont établies dans les systèmes de production agricole Européens (et Américains). Dans une série de fresques peintes par Giovanni da Udine, à partir d'un dessin de Raphaël à Rome, vers 1517 (25 ans après le premier voyage de Christophe

Colomb vers le Nouveau Monde), nous pouvons déjà trouver du maïs et des haricots magnifiquement représentés, mais pas encore de pomme de terre ou de tomate (Caneva, 1992).

Domestication et Analyse de la Diversité chez les Variétés Traditionnelles

Le degré de domestication, ou la mesure dans laquelle une culture présente tous les traits considérés comme étant l'expression la plus complète de la domestication, varie considérablement d'une culture à une autre. Certaines céréales telles que le tef possèdent encore une graine de petite taille difficile à gérer; de nombreux produits «domestiqués» tels que les différents types de manioc, contiennent encore des toxines nuisibles à l'Homme qui nécessitent un traitement spécial avant l'utilisation. L'indéhiscence des gousses de graines peut être absente (comme dans le cas du sésame) ou partielle. Le degré de domestication des différentes cultures fruitières est également très variable; certaines, comme la pomme, sont largement adaptées à une culture intensive dans une large gamme d'environnements, tandis que d'autres conservent plusieurs caractéristiques de leur ancêtre sauvage. Dans le cas du blé ou du riz, environ 10.000 générations se sont succédées depuis les premiers événements entourant leur domestication. Cependant, pour les cultures fruitières maintenues sur des porte-greffes et ayant une longue durée de vie, le nombre de générations au cours desquelles la sélection a eu lieu est beaucoup moins important et peut ne représenter que des dizaines de générations.

La domestication continue aujourd'hui à la fois au sein et autour des systèmes de production traditionnels ainsi que par des efforts délibérés de sélection pour développer de nouvelles cultures. Citons comme exemples, la sélection continue, par des agriculteurs d'Afrique de l'Ouest, d'ignames provenant des lisières des forêts où des plantes sauvages et des adventices sont trouvées, et l'introduction de nouveaux arbres fruitiers sauvages dans les jardins familiaux au Guatemala (Galluzzi et *al.*, 2010).

Les premiers agriculteurs ont probablement exercé une pression de sélection pour créer du matériel plus uniforme, et il est probable que, assez tôt dans le processus de domestication, des variétés plus ou moins distinctes aient commencé à apparaître. Nous pouvons supposer que la sélection précoce de ce type a visé des propriétés liées à l'utilisation ou des traits tels que la période de maturité, ce qui a facilité la gestion et la récolte de la culture. Dans tous les cas, il est possible que des variétés identifiables aient commencé à apparaître assez

tôt dans le processus de domestication. À l'époque des premières descriptions écrites des cultures (par les Grecs il y a environ 2.500 ans), le concept de variété était bien établi et ses propriétés étaient connues.

La nature et l'évolution du système de sélection des cultures étaient probablement d'une grande importance dans l'émergence des premières variétés traditionnelles. Si les systèmes de reproduction totalement ouverts, tels que l'auto-incompatibilité, permettent la recombinaison sexuelle et la création de la diversité, ils risquent en revanche d'entraîner l'absence d'une pollinisation appropriée, la sécurité de la production de fruits ou de graines, et la production de propagules dont les performances sont prévisibles. La reproduction clonale et l'autofertilité permettent d'échapper à cette incertitude sexuelle, mais figent les génotypes complètement sous la reproduction clonale, ou partiellement sous l'autofertilité. Ces deux mécanismes de reproduction favorisent l'émergence de lignées ou de variétés distinctes, qui ont été sélectionnées par les agriculteurs, et qui peuvent être nommées et avoir une certaine durabilité.

La compréhension des processus de domestication et des gènes qui y sont impliqués fournit des informations importantes sur la meilleure approche d'analyse de la diversité des variétés traditionnelles. La connaissance de l'existence de différentes lignées dans une culture, de différentes origines de l'histoire de la production des cultures, et des gènes impliqués dans la domestication peut aider à orienter les recherches sur le maintien de la diversité au sein des systèmes agricoles et l'amélioration du matériel local par l'introduction de nouvelles variations. De même, l'identification des centres de diversité a attiré l'attention sur l'importance de certaines régions du monde comme étant des zones particulièrement importantes pour la conservation à la ferme ou comme étant des sources potentiellement riches en variations utiles.

Lectures Complémentaires

- Barker, G. 2009. *The Agricultural Revolution in Prehistory*. Oxford University Press.
- Harris, D. R., et G. C. Hillman, Eds. 1989. *Foraging and Farming: The Exploitation of Plant Resources*. Unwin and Hyman, London.
- Meyer, R. S., A. E. DuVal, et H. R. Jensen. 2012. "Patterns and processes in crop domestication: an historical review and quantitative analysis of 203 global food crops". *New Phytologist* 196:29–48.
- Miller, A. J., et B. L. Gross. 2011. "From forest to field: perennial fruit crop domestication". *American Journal of Botany* 98:1389–414.
- Pickersgill, B. 2007. "Domestication of plants in the Americas: insights from Mendelian and molecular genetics". *Annals of Botany* 100:925–40.
- Purugganan, M. D., et D. Q. Fuller. 2009. "The nature of selection during plant domestication". *Nature* 457:8 43–48.
- Smartt, J., et N. W. Simmonds, Eds. 1995. *Evolution of Crop Plants*, 2nd ed. Longman Scientific and Technical, Harlow.



Planche 2. La domestication est le résultat de la sélection pratiquée par l'Homme. Les préférences culturelles et sociales de l'Homme ont été essentielles au développement de la grande variété de types domestiqués qui se trouvent aujourd'hui chez de nombreuses cultures. La photo en haut à gauche montre des variétés de pommes de terre en Equateur dans les Andes Centrales, tandis que la photo en haut à droite montre des variétés d'éleusine (*Eleusine coracana*, une espèce négligée et sous-utilisée) à Bangalore dans l'État de Karnataka, en Inde, en Asie du Sud-Est. Les Andes centrales et l'Asie du Sud-Est sont considérées comme faisant partie des deux centres de diversité génétique des cultures identifiés par Vavilov. La photo en bas à gauche montre le processus de domestication en cours, un agriculteur ayant arraché des ignames sauvages (*Dioscorea alata*) à la brousse pour les planter dans son jardin familial dans le district de Kitui, dans la province de l'est au Kenya. La photo en bas à droite montre un agriculteur examinant une pomme sauvage (*Malus sieversii*) dans le district de Parkent, dans la province de Tachkent, en Ouzbékistan, un autre centre de Vavilov. Les agriculteurs d'Asie Centrale continuent à introduire dans leurs systèmes de production des espèces sauvages apparentées aux arbres fruitiers, à la fois pour les racines et les greffons. Crédits photos: J. Tuxill (en haut à gauche), S. Padulosi (en haut à droite), Y. Morimoto (en bas à gauche), D. Jarvis (en bas à droite).

CHAPITRE 3

Ressources Phytogénétiques, Conservation et Politiques Histoire des Développements Internationaux et Nationaux Soutenant la Conservation et l'Utilisation de la Diversité des Cultures

À la fin de ce chapitre, le lecteur devrait avoir compris :

- Les différentes idées sur la conservation des ressources phytogénétiques.
- La façon dont ces idées affectent les politiques et les approches internationales et nationales actuelles visant à soutenir la gestion et l'utilisation des ressources phytogénétiques à la ferme.

Nature, Biodiversité et Ressources Génétiques

Dans ce chapitre, nous examinons certains aspects des développements au niveau international et national dans le domaine de la conservation des ressources génétiques des cultures qui ont façonné les débats et les perspectives actuels sur la conservation des variétés de cultures traditionnelles. Les différentes manières dont les peuples autochtones, les communautés rurales, les programmes nationaux sur les ressources génétiques et les organisations ou accords internationaux abordent les questions de conservation et d'utilisation sont importantes lors de l'élaboration des travaux visant à comprendre et à soutenir le maintien de la diversité des cultures. Comprendre les intérêts et les besoins, parfois contradictoires des différents acteurs impliqués dans la création, la conservation et l'utilisation de la diversité des cultures est nécessaire pour définir et mettre en œuvre des mesures sensées, orientées vers la conservation et l'utilisation durable de la diversité des cultures.

Il existe un contraste marqué entre la vision essentiellement utilitaire des ressources génétiques—c'est-à-dire des ressources à gérer, à déployer et à utiliser pour atteindre des objectifs spécifiques tels que l'augmentation du rendement et des revenus (cette vision a caractérisé une bonne partie des efforts déployés par ceux qui ont participé à élaborer des programmes nationaux de travail sur les ressources phytogénétiques)—et les points de vue des peuples autochtones ou de nombreuses communautés rurales. Beaucoup de sociétés traditionnelles considèrent les êtres humains comme un élément indissociable de la nature, vivant en harmonie avec elle. Par exemple : «Chaque graine est éveillée, et de même, tout animal est en vie. C'est à ce pouvoir mystérieux que nous devons nous aussi notre existence. C'est pourquoi nous concédons à nos voisins, même nos voisins animaux, autant de droit qu'à nous d'habiter cette terre» (Sitting Bull). Cette perspective a conduit à un désaccord important entre les peuples autochtones et les gouvernements sur la manière dont le maintien et l'utilisation de la biodiversité devraient être abordés. Comme l'a noté un commentateur :

Les profondes différences culturelles, épistémologiques (façons de savoir), ontologiques (façons d'être) et cosmologiques (façons d'être en relation avec le monde) entre la culture de la graine commerciale ancrée dans les sociétés occidentales (occidentalisées) et la culture de la graine indigène ancrée dans les agricultures des peuples autochtones basées sur la terre, n'ont pas été prises en compte, depuis le début, par le réseau transnational de Recherche, de Vulgarisation, d'Education, de Science, de Connaissances et Technologie Agricoles et leurs théories et paradigmes dominants, exclusifs et assimilationnistes respectifs du développement rural/agricole (Tirso Gonzales dans Tauli-Corpuz et al., 2010).

Des divisions similaires ont été observées entre les acteurs de la conservation de la biodiversité. D'un côté, les humains sont perçus comme ayant une responsabilité à l'égard de la nature et comme étant chargés de la gérer pour les générations futures. D'un autre côté, il existe des perspectives qui considèrent l'être humain comme faisant partie de la nature, comme le reflètent les perspectives avancées par ceux qui soutiennent l'écologie profonde, selon laquelle le monde naturel est un équilibre subtil d'interrelations complexes où l'existence d'un organisme dépend de l'existence des autres dans les écosystèmes (Næss, 1989). Il a été avancé que les accords internationaux en vigueur, tels que la Convention sur la Diversité Biologique (CBD), et les modalités de leur mise en œuvre, tendent à confirmer l'idée que la biodiversité est quelque chose qui doit être gérée et qui peut être détenue et dotée d'une valeur économique.

La diversité des cultures doit son existence à l'intervention, la gestion et la sélection continue par l'Homme. Dans ce sens, elle peut être considérée comme le résultat de la domination de l'Homme sur la nature. Cette perspective se reflète dans le concept de ressources phytogénétiques, qui a encadré une grande partie de l'effort international et national visant à conserver la diversité des cultures, bien que ce concept ne soit pas accepté comme approprié par de nombreux peuples autochtones. Même parmi ceux qui sont à l'aise avec le concept de ressources génétiques—en tant que produit créé par les agriculteurs, les pastoralistes et les sélectionneurs des plantes du monde—il existe des divergences d'opinions considérables en ce qui concerne le contrôle, la propriété, la gestion et la façon dont les avantages d'utilisation devraient être abordés. Ainsi, la conservation à la ferme des variétés cultivées traditionnelles s'inscrit dans un paysage sociopolitique complexe. Ce chapitre résume l'histoire de la conservation des ressources phytogénétiques dans une perspective internationale afin de présenter certains des principaux débats et points de désaccord qui affectent le travail de conservation à la ferme.

La biodiversité est un mot ou un concept relativement nouveau—une contraction de la diversité biologique, qui a été utilisée pour la première fois dans les années 1980 (voir encadré 3.1). En fait, certains des mots clés utilisés pour décrire les concepts clés de la conservation de la diversité biologique des cultures (comme la biodiversité, et *in situ* et *ex situ*) sont relativement nouveaux. L'expression «ressources phytogénétiques» n'existait pas avant les années 1960. L'idée de conserver délibérément du matériel biologique que ce soit dans ou hors son habitat naturel (conservation *ex situ* et *in situ*) est également récente. La conservation utilisée dans le sens du maintien dans le temps de la diversité biologique est elle-même un concept relativement récent et, dans la littérature antérieure, elle était utilisée comme synonyme de préservation, entraînant avec elle l'idée d'un conservateur—une personne ayant la responsabilité d'un domaine tel que la nature.

L'élaboration de programmes délibérés visant à soutenir la conservation et l'utilisation des ressources phytogénétiques et des variétés traditionnelles s'est accompagnée de débats considérables, souvent acrimonieux, qui ont porté sur un certain nombre d'aspects différents. Il s'agit notamment de:

1. La manière dont la biodiversité agricole est perçue. S'agit-il d'une partie de la nature, qui inclut l'Homme et tous les autres éléments du paysage au sens large (voir, par exemple, l'approche de l'ONG ANDES: <http://www.andes.org.pe/es/>), d'une partie de la diversité biologique totale (ou biodiversité), ou d'une ressource développée par l'Homme en vue de sa gestion et son utilisation ultérieures (une ressource génétique)?

Encadré 3.1. Définitions de la Diversité Biologique

L'expression «diversité biologique» a été utilisée pour la première fois par Raymond F. Dasmann, spécialiste de la faune et de la flore sauvages et conservateur, dans le livre publié en 1968, intitulé «Un autre type de pays» qui prône la conservation de la diversité biologique. Cette expression n'a été largement adoptée qu'après plus d'une décennie, lorsque dans les années 1980, elle est devenue d'usage courant dans les domaines de la science et de la politique environnementale. Thomas Lovejoy, dans l'avant-propos du livre *Biologie de la Conservation*, a introduit le terme à la communauté scientifique. Jusque-là, le terme «diversité naturelle» était courant, introduit par la Division Scientifique de l'Organisation de la Préservation de la Nature (TNC) dans une importante étude de 1975, *La Préservation de la Diversité Naturelle*. Au début des années 1980, le programme scientifique de TNC et son chef, Robert E. Jenkins, avec Lovejoy et d'autres célèbres scientifiques américains de la conservation à l'époque, ont préconisé l'utilisation de la «diversité biologique».

La forme contractuelle du terme—biodiversité—a peut-être été inventée par W. G. Rosen en 1985 lors de la planification du Forum National sur la Diversité Biologique organisé en 1986 par le Conseil National de la Recherche (NRC). Il est apparu pour la première fois dans une publication en 1988 lorsque l'entomologiste E. O. Wilson l'a utilisé comme titre des actes de ce forum.

2. La propriété du matériel. L'agrobiodiversité et les variétés traditionnelles appartiennent-elles aux agriculteurs, aux pastoralistes, aux habitants des forêts et aux pêcheurs qui ont participé à son développement et à son maintien au fil des siècles, aux pays dans lesquels les ressources ont été trouvées (principalement les pays en développement du Sud), ou ces ressources sont-elles le patrimoine naturel de l'humanité, selon l'opinion exprimée par les spécialistes en conservation des ressources génétiques dans les années 1960?
3. Les moyens par lesquels les agriculteurs, les communautés, les sélectionneurs et, aujourd'hui, les ingénieurs généticiens devraient être reconnus et récompensés pour leurs contributions à l'évolution et à l'amélioration continues des variétés de cultures et les moyens de protection de ces variétés.
4. L'importance des entités individuelles (telles que les variétés ou populations traditionnelles) en tant qu'éléments en soi ou en tant que base pour une future sélection par rapport à leur rôle en tant que partie d'écosystèmes agricoles fonctionnels qui, avec toutes les autres composantes, fournissent une série d'avantages ou de services.

Chasseurs de Plantes et Collecteurs de Plantes

Comme indiqué au chapitre 2, les plantes cultivées ont fait le tour du monde en même temps que les mouvements de populations. Elles se sont

répandues à partir de leurs premiers centres de domestication, elles ont été modifiées en se mélangeant et en se croisant avec de nouvelles formes, se sont adaptées à de nouveaux environnements et ont participé au développement de nouvelles cultures adaptées à de nouvelles pratiques de production. Le blé et l'orge se sont répandus en Europe à partir du Moyen-Orient, si bien qu'il y a 4.500 à 5.000 ans, ils semblaient avoir été cultivés dans le centre de l'Angleterre et exportés à Rome, à l'époque romaine. Les Romains ont ramené en Italie de nouvelles cultures lors de leurs conquêtes autour de la Méditerranée. Même si les plantes elles-mêmes n'ont pas été introduites, des produits végétaux ont été ramenés tels que la myrrhe, l'encens et les épices résultant du commerce. Plus tard, au fur et à mesure que l'islam se répandait à travers la Méditerranée aux huitième et neuvième siècles, des cultures telles que l'aubergine, les épinards et la pastèque ont été introduites en Sicile et en Espagne. La Grande Route de la Soie a permis le transfert de produits et de semences de l'Asie de l'Est vers l'Europe pendant de nombreux siècles.

En Amérique, une diffusion similaire des cultures a eu lieu. Le maïs, le haricot, la courge, le poivron, le cacao, la pomme de terre et le manioc sont des exemples de cultures qui se sont répandues des zones où elles étaient censées être domestiquées vers des environnements beaucoup plus variés sur le continent (Sauer, 1993). Une nouvelle diffusion majeure des cultures a commencé avec l'établissement de liens entre l'Europe et les Amériques à la fin du quinzième siècle. Le maïs, le haricot, le poivron, la tomate et, plus tard, le manioc ont commencé à être cultivés dans l'Ancien Monde tandis que les cultures européennes étaient transportées vers le Nouveau Monde par les premiers explorateurs et colons d'Angleterre, d'Ecosse, de France, d'Espagne et du Portugal.

Le transfert de nouvelles cultures et variétés de cultures potentiellement utiles s'est poursuivi avec la croissance du commerce international aux dix-huitième et dix-neuvième siècles. Cela s'est parfois fait dans le cadre de la recherche de nouvelles cultures pour des environnements particuliers sous le contrôle des grandes puissances de l'époque (comme le thé au Sri Lanka). Parfois, il s'agissait d'une tentative délibérée de briser les monopoles existants, comme dans le cas du caoutchouc, dont quelque 70.000 graines ont été transportées par Sir Henry Wickham du Brésil à Kew, Londres, dans les années 1870, puis distribuées au Sri Lanka, en Malaisie et dans d'autres zones de production potentielles. L'attention s'est principalement focalisée sur les cultures agricoles à forte valeur potentielle telles que le coton, la canne à sucre et les oléagineux, mais les plantes ornementales ont également suscité un intérêt croissant.

La sélection végétale et la recherche en matière de sélection sont devenues de plus en plus importantes au cours de la première moitié du vingtième siècle et, dans le cadre de ce projet, les sélectionneurs de plantes ont commencé à développer des collections de certaines cultures importantes, telles que le blé, l'orge, le maïs et la canne à sucre. Ces collections ont été utilisées pour identifier les traits d'intérêt et servir de base aux croisements et à la sélection. Les plus grands praticiens de cette approche ont peut-être été Vavilov et ses collaborateurs du Bureau de Botanique Appliquée en Russie.

Lors de centaines de missions d'exploration génétique en Russie, en URSS et dans le monde entier, ces collectionneurs ont ramené des échantillons issus de nombreuses cultures, ils les ont cultivés, étudiés et utilisés dans des essais de croisement pour développer de nouvelles variétés. En 1940, l'Institut Panrusse de Botanique Appliquée et de Nouvelles Cultures avait accumulé une collection de plus de 250.000 accessions de nombreuses cultures, dont 30.000 pour le blé uniquement. Celles-ci étaient cultivées dans des stations et des sous-stations dans toute l'Union Soviétique en fonction de leurs besoins avec le magasin central de semences de Leningrad (actuellement Saint-Pétersbourg). Vavilov a utilisé cette vaste entreprise pour développer une compréhension géographique de la variation en termes de distribution et de diversité des gènes et des allèles, et a développé le concept de centres de diversité et d'origine des cultures (voir chapitre 2). Des descriptions détaillées de la variation de nombreuses grandes cultures ont été publiées entre 1935 et 1941 (Loskutov, 1999).

Les contemporains de Vavilov en Europe et en Amérique (par exemple, Stubbe en Allemagne, Percival et Hawkes au Royaume-Uni, Harry Harlan aux États-Unis) menaient des activités similaires et développaient d'importantes collections de matériel provenant de variétés traditionnelles du monde entier. Ces collections ont été utilisées à la fois pour la recherche sur l'évolution et la génétique et ont servi de base aux programmes de sélection dans les différents pays d'Europe. À la fin des années 1920 et pendant la majeure partie des années 1930, il semble que ces chercheurs effectuaient des visites assez fréquentes dans leurs instituts et laboratoires respectifs et procédaient à des échanges de matériel végétal de plantation. Bateson, L. R. Jones et Muller des États-Unis, Hawkes du Royaume-Uni et Frankel de la Nouvelle-Zélande ont tous visité l'institut de Vavilov au cours des années 1930, et il a continué ses propres visites dans les laboratoires des autres, jusqu'à ce que les événements politiques dans la seconde moitié des années 1930 l'en empêchèrent.

En plus de fournir des données génétiques, archéologiques et évolutives, ces programmes de collecte dans les régions les plus riches en ressources génétiques s'inscrivaient dans la quête moderniste de création de variétés améliorées de cultures et de bétail qui, selon certains, contribueraient à créer un nouveau monde et à construire le «nouvel homme» (Flitner, 2003). L'entreprise était fortement utilitaire, visant à fournir de nouvelles variétés pour l'agriculture dans les pays concernés. L'ampleur de l'entreprise de Vavilov reflétait la taille et la diversité climatique et agricole de la nouvelle Union Soviétique ainsi que la nécessité de disposer de cultures et de variétés adaptées à chaque région du pays.

Bien que la préoccupation de ces collecteurs, chercheurs et sélectionneurs soit l'avenir et la façon dont les ressources collectées peuvent être utilisées pour l'amélioration future de l'agriculture et de l'humanité, ils n'ignorent pas toujours un autre aspect de la question—la perte potentielle des ressources causée par le succès même de leur entreprise. Harry Harlan l'avait noté dès 1936 dans une monographie sur l'orge:

Les descendants de ces champs, avec toutes leurs variations survivantes, constituent le réservoir inestimable du germoplasme dans le monde. Il a fallu attendre de longs siècles pour sa réalisation. Malheureusement, du point de vue du sélectionneur, il est maintenant en danger. Lorsque de nouvelles variétés d'orge remplaceront celles cultivées par les agriculteurs d'Éthiopie ou du Tibet, le monde aura perdu quelque chose d'irremplaçable (Harlan et Martini, 1936)

La Seconde Guerre mondiale a interrompu cette initiative, qui est apparue de nouveau avec urgence après la guerre face à la famine en Europe et ailleurs dans le monde. Le besoin perçu par la plupart des pays était de s'assurer qu'ils possédaient la capacité et les ressources nécessaires pour placer leur agriculture sur une base solide et productive. Des investissements publics considérables dans la recherche agricole ont été réalisés à travers le monde. Les capacités agricoles des colonies ont été développées par les nations colonisatrices avec un accent mis sur les cultures agricoles utiles à leurs empires. En Europe, la priorité était de faire disparaître la famine et la plupart des pays ont beaucoup investi dans l'agriculture. Une partie de cet investissement a été consacrée au développement des collections. En Europe de l'Est et en Union Soviétique, les collections ont continué à être développées et conservées, bien que la prédominance de l'approche Lysenkoïste ait sérieusement limité les manières dont les collections étaient utilisées. Dans les années 1960, il existait d'importantes collections en Allemagne de l'Est, en Italie, aux Pays-Bas, au Royaume-Uni et dans un certain nombre d'autres pays.

Conservation des Ressources Phytogénétiques

Développement et Evolution des Programmes

Nationaux sur les Ressources Phytogénétiques

Les années 1980 et 1990 ont connu un développement remarquable des activités nationales de conservation et d'utilisation des ressources phytogénétiques (voir encadré 3.2). Au fur et à mesure que ces efforts se sont formalisés, ils ont été reconnus comme des programmes nationaux de ressources phytogénétiques ou des systèmes nationaux de ressources génétiques — autrement dit, les différentes composantes identifiées comme nécessaires au maintien et à l'utilisation des ressources phytogénétiques. Ces composantes variaient mais comprenaient généralement: une banque de gènes *ex situ*, un système d'information, un programme de recherche, certaines activités de renforcement des capacités identifiées, ainsi qu'une procédure de gestion et de prise de décision qui supervisait ces activités et participait aux débats et processus de conservation régionaux ou internationaux. Les programmes nationaux étaient généralement intégrés dans les systèmes agricoles du pays et n'avaient que peu ou pas de relations avec les agences environnementales ou les personnes impliquées dans les questions de conservation de la biodiversité.

Les collections nationales de ressources phytogénétiques étaient en grande partie développées dans le cadre des besoins des sélectionneurs et elles n'avaient pas de préoccupation importante en soi quant à la conservation des gènes ou des variétés collectées. Elles ont servi de base pour l'identification de nouveaux traits d'intérêt et pour la compréhension de l'hérédité des caractères utiles, ainsi que pour leur utilisation comme parents dans les programmes de croisement et de sélection.

Les banques de gènes, étroitement associées aux instituts de sélection ou de recherche, sont souvent les principaux fournisseurs de leur germoplasme. De nombreuses banques de gènes appartiennent au secteur public et, à ce titre, sont donc financées par les contribuables. Les relations entre les banques de gènes et les instituts de recherche ou de sélection peuvent présenter des avantages mutuels, puisque les données d'évaluation obtenues par un institut de sélection peuvent facilement être mises à la disposition d'une banque de gènes alliée et, à son tour, promouvoir l'utilisation du germoplasme. En conséquence, ces collections sont souvent utilisées de manière intensive. Dans certains pays, la gestion des collections des banques de gènes peut être fortement décentralisée et étroitement liée à un institut de recherche ou de sélection pour des cultures particulières.

Ces collections de banques de gènes risquent davantage d'être négligées à long terme, à moins que le gouvernement assume explicitement la responsabilité de maintenir en permanence ces collections décentralisées. Dans d'autres pays, des liens étroits ont été établis entre les banques de gènes (nationales) et les activités de conservation *in situ* et à la ferme. Ces arrangements facilitent énormément les approches de conservation dites complémentaires, renforcent l'interface entre la nature et le champ d'un côté et les utilisateurs de l'autre côté par le biais des services des banques de gènes et de la recherche, et favorisent ainsi l'utilisation des ressources génétiques conservées.

Néanmoins, le maintien à long terme de ces collections était certainement un objectif, et de nombreuses collections ont été maintenues sur de longues périodes. L'histoire du maintien des collections de ressources génétiques pendant le siège de Léninegrad face à la famine de la ville est à juste titre célèbre, mais d'autres collections ont également été soigneusement maintenues pendant de longues périodes. Par exemple, la collection de pommes de terre du Commonwealth maintenue par le Royaume-Uni a été créée à la suite de missions de collecte effectuées en 1938 et 1939 et est aujourd'hui conservée par l'Institut James Hutton (auparavant l'Institut de Recherche Ecosais sur les plantes cultivées).

Au fil des ans, les programmes nationaux de ressources génétiques ont commencé à se doter de vastes mandats. Les ressources génétiques animales sont souvent incluses en plus des ressources génétiques végétales. En outre, les programmes nationaux examinent non seulement la dynamique de la diversité génétique, mais également les interactions entre les espèces cultivées (parfois non cultivées) et les animaux d'élevage, ainsi que les rôles des espèces végétales et animales dans l'environnement agroécologique général. En résumé, l'intégration des activités des banques de gènes dans un programme national de ressources génétiques élargit la perspective, accroît les responsabilités des banques de gènes et favorise l'établissement de priorités plus équilibrées et réalistes. En général, ces programmes ou systèmes nationaux visent tous à fournir une plateforme de coordination au niveau national pour la conservation et l'utilisation durable des ressources génétiques et fournissent donc une base extrêmement importante pour les activités régionales et mondiales (Spillane et al., 1999). Néanmoins, et malgré la reconnaissance croissante de la biodiversité agricole par la CBD, la structure et les opérations de la plupart des programmes nationaux restent ancrées dans les agences agricoles et sont souvent mal reliées aux autres agences concernées par la conservation de la biodiversité sauvage.

Encadré 3.2. Gestion des Collections de Banques de Gènes

Les procédures appropriées de conservation *ex situ* des ressources phylogénétiques ont fait l'objet d'un nombre considérable de recherches, en particulier dans les années 1980. La méthodologie de conservation *ex situ* du germoplasme dépend de la nature biologique de la plante en question. Les espèces qui produisent des semences dites orthodoxes—c'est-à-dire des semences qui peuvent être séchées et stockées à basse température pendant une longue période—seront généralement conservées dans des banques de gènes de semences. Les espèces qui ne produisent pas du tout de graines et/ou qui se multiplient par voie végétative (et dont le génotype doit être conservé), et/ou qui produisent des graines dites récalcitrantes (c'est-à-dire des graines qui ne peuvent être séchées sans être tuées et qui ne peuvent donc pas être stockées), seront soit conservées dans la banque de gènes au champ, soit stockées sous forme de tissu, d'embryon ou même de suspension cellulaire dans une banque de gènes dite *in vitro*. Pour certaines espèces également, le pollen est stocké pendant des périodes plus ou moins longues. L'objectif de la conservation *ex situ* est de maintenir les caractéristiques génétiques de l'échantillon d'origine le plus longtemps possible sans mutation, ni dérive génétique ou changement.

Pour les banques de gènes de semences, le processus implique:

- *Un nettoyage des semences.* Les graines devraient être récoltées dans les meilleures conditions possibles lorsqu'elles ont atteint leur pleine maturité, puis nettoyées de tout matériel indésirable, tout en éliminant les graines endommagées ou cassées.
- *Un séchage.* L'étape suivante consiste à sécher les différents lots de semences à la bonne vitesse pour éviter le fendillement, et à la bonne température afin de ne pas affecter la longévité des semences. En général, les graines oléagineuses peuvent être séchées plus longtemps que les graines amylicées—c'est-à-dire que la teneur en eau ne dépasse pas 1 % pour les graines oléagineuses et 3 % ou plus pour les graines amylicées, et leur séchage doit se faire à des températures comprises entre 15 et 20°C.
- *Un stockage.* Le stockage des semences se fait généralement dans des chambres froides. La température réelle dépend de l'objectif du stockage; pour le stockage à long terme du germoplasme (du matériel de collection de base), une température de -18°C est généralement utilisée, tandis que le stockage à moyen terme (jusqu'à 5-10 ans) peut être atteint à une température de 5°C ou plus. Les emballages utilisés devraient être hermétiquement fermés et ne doivent pas permettre d'échange de gaz ou d'air pendant le stockage (par exemple, les sacs en aluminium à trois couches). Il est également devenu pratique courante de subdiviser les accessions individuelles en sous-échantillons d'une taille adéquate pour une utilisation et/ou une distribution ultérieure. Pour les semences orthodoxes de petite taille ainsi que pour le matériel *in vitro*, le stockage à long terme est possible en conservant les graines ou les cultures à très basse température, généralement en utilisant de l'azote liquide (-196°C) en cryopréservation. A cette température, toutes les divisions cellulaires et tous les processus métaboliques sont arrêtés et, par conséquent, le matériel végétal peut être stocké sans altération ni modification pendant une période théoriquement illimitée (Engelmann, 1997).

- *Une surveillance de la viabilité.* Un calendrier de contrôle de la viabilité doit être élaboré pour les différentes accessions de semences stockées. Cela permet de prévoir de manière relativement précise le moment où la viabilité des semences commence à descendre en dessous des seuils établis, permettant ainsi une régénération en temps voulu de l'accession.
- *Une régénération.* Lorsque la viabilité des semences descend en dessous du seuil minimal fixé, ou si la quantité de semences stockée pour une accession donnée est inférieure au seuil minimal, les accessions en question devront être cultivées dans des conditions écologiquement adéquates pour régénérer le germoplasme et/ou pour augmenter la quantité stockée.

Des procédures détaillées sur le séchage, le stockage et la surveillance de la viabilité des semences pour de nombreuses espèces cultivées sont disponibles dans la base de données sur les cultures (<http://cropgenebank.sgrp.cgiar.org/>). Des normes pour le stockage des semences dans les banques de gènes ont été élaborées et recommandées pour adoption internationale par la FAO et l'Institut International des Ressources Phytogénétiques (IPGRI), Elles sont actuellement en cours de révision et sont plus détaillées pour la conservation des semences, des champs et des banques de gènes *in vitro*.

Origines d'un Engagement International en Faveur de la Conservation des Ressources Phytogénétiques

Malgré les premières alertes comme celles de Harry Harlan à la Division de l'Exploration et de l'Introduction des Plantes aux États-Unis (Harlan et Martini, 1936), les questions sur la perte des ressources génétiques et la nécessité de maintenir la diversité génétique ne sont devenues des enjeux internationaux qu'au milieu des années 1960. Les généticiens et les sélectionneurs de plantes semblent avoir été de plus en plus conscients de la question au cours des années 1950, et Jack Harlan a attiré l'attention sur la perte de cette diversité lors d'un symposium sur les ressources génétiques à l'Académie Américaine des Sciences en 1959 (Harlan, 1961). Au cours des années 1960 et 1970, cette préoccupation s'est transformée en une série de programmes et d'initiatives qui ont créé les bases d'un effort international en matière de ressources phytogénétiques.

L'Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture (FAO), qui fait partie des Nations Unies, a commencé à être considérée comme un centre important pour les activités liées à la conservation et à l'utilisation des ressources génétiques. En 1957, la FAO a lancé le Bulletin d'Information de la FAO sur l'introduction des plantes, afin d'encourager la circulation du matériel génétique entre les différents instituts et, peu de temps après, a apporté un appui aux pays pour collecter et créer des centres régionaux des ressources phytogénétiques en Turquie, en Ethiopie et en Afghanistan. La réunion technique sur l'exploitation et l'introduction des plantes, qui s'est tenue à Rome en juillet

1961, a été le premier événement international consacré à la question de la perte de diversité génétique. Ceci a conduit à la création, en 1965, d'un groupe d'experts sur l'exploration et l'introduction des plantes. De 1965 à 1974, ce groupe s'est réuni régulièrement pour conseiller la FAO sur cette question et pour établir des directives internationales en matière de collecte, de conservation et d'échange du germoplasme. Suite à cette série de discussions internationales, la FAO a créé une nouvelle sous-division pour l'écologie végétale et les ressources génétiques au sein de sa Division de la Production Végétale et de la Protection des Plantes.

Le Programme Biologique International (IBP), lancé en 1964 par le Conseil International des Unions Scientifiques avec le soutien de l'UNESCO, était un deuxième domaine, existant en synergie et en concurrence avec la FAO, pour la définition de la question sur les ressources génétiques et les solutions correspondantes. Le programme comprenait une section intitulée «Utilisation et Gestion des Ressources Biologiques», avec un comité sur les pools de gènes de plantes dirigé par le généticien et sélectionneur de plantes Otto Frankel. Bien que l'IBP ait été fortement orienté vers des approches écologiques et démographiques, cette partie particulière de son programme s'est beaucoup concentrée sur les aspects pratiques de la conservation et de l'utilisation dans une perspective de l'amélioration des plantes.

Le troisième élément important a été la création du Conseil International des Ressources Phytogénétiques (IBPGR). Le Groupe Consultatif pour la Recherche Agricole Internationale a élaboré un programme d'action sur les ressources génétiques en 1972, qui a conduit à la création de l'IBPGR en 1974. Même s'il était basé à la FAO, le Conseil était, pratiquement, indépendant sur le plan programmatique et financier. Au cours des 15 années suivantes, la FAO et l'IBPGR ont pris de plus en plus de distance par rapport à leur approche concernant de nombreuses questions clés de conservation et d'utilisation des ressources phytogénétiques. En 1989, le Conseil d'administration de l'IBPGR a décidé de se séparer complètement de la FAO. Près de cinq ans plus tard, en 1994, L'IBPGR est devenu l'Institut International des Ressources Phytogénétiques (actuellement Bioversity International).

Cette évolution internationale, ainsi que les diverses décisions et recommandations formulées par les différentes organisations concernées, ont été décrites comme reflétant un certain nombre de valeurs dominantes de l'époque, notamment:

1. La perte de diversité dans les systèmes de production agricole (et donc la perte des variétés traditionnelles) était une conséquence inévitable et

nécessaire du développement agricole. La Révolution Verte a accéléré le rythme de cette perte et a nécessité une action plus importante, mais elle constituait une stratégie essentielle dans les efforts mondiaux visant à nourrir le monde.

2. Les ressources génétiques constituent un patrimoine mondial sur lequel les sélectionneurs de plantes sont libres de puiser gratuitement. Les innovations variétales étaient surtout perçues comme des efforts visant à réarranger des gènes qui étaient initialement dispersés chez de multiples variétés. Le libre accès aux variétés devrait être facilité par tous les moyens possibles, et les échanges internationaux de variétés améliorées devraient également être encouragés.
3. La conservation des ressources phytogénétiques devrait être axée sur le développement de banques de gènes *ex situ* dans des institutions du monde entier qui pourraient bénéficier d'un soutien international et qui seraient en mesure de distribuer le matériel qu'elles détiennent aux utilisateurs potentiels (tels que les sélectionneurs de plantes et la communauté des chercheurs).

Toutes ces questions devaient faire l'objet d'un débat au cours des décennies suivantes.

Débats Politiques sur la Conservation

Au cours des années 1970 et 1980, le débat s'est intensifié sur le développement d'une approche internationale et sa dépendance vis-à-vis de la conservation *ex situ* dans les grandes banques de gènes relativement bien dotées, situées en grande partie dans le Nord ou faisant partie du Groupe Consultatif pour la Recherche Agricole Internationale (CGIAR). En 1979, Patrick Mooney a écrit le livre intitulé «Semences de la terre», dans lequel il dénonçait à la fois l'érosion génétique et la prise de contrôle des ressources par les intérêts des pays du Nord. En 1984, il a fondé le Fond International pour l'Avancement Rural avec Cary Fowler. Plusieurs gouvernements de pays en développement ont exprimé leur inquiétude quant au développement des brevets sur les inventions biotechnologiques, alors que les ressources génétiques dans les pays en développement sont gratuites, et ont aussi soulevé des questions sur la possibilité d'obtenir des droits de propriété intellectuelle sur des échantillons provenant des collections des centres du CGIAR. Mooney a constaté que «le Tiers Monde est invité à mettre tous ses œufs dans le panier de quelqu'un d'autre» (Mooney, 1979).

Les questions de conservation des ressources génétiques, considérées par le passé comme étant de nature essentiellement technique, sont devenues de plus en plus politiques. En 1981, le groupe des 77 a soutenu une proposition mexicaine lors de la Conférence de la FAO, l'organe décisionnel suprême de la FAO (Résolution 6.81 de la vingt-et-unième session de la Conférence de la FAO en novembre 1981), demandant une convention internationale qui établirait un nouveau système de banque de gènes, indépendant du CGIAR, ce qui ramènerait l'IBPGR sous le contrôle de la FAO. Un engagement international sur les ressources génétiques a été négocié en 1983, réaffirmant les ressources génétiques comme «patrimoine commun de l'humanité». La Commission des ressources phytogénétiques de la FAO a été créée la même année afin de mieux représenter les pays en développement et de débattre des questions relatives aux «droits des agriculteurs». L'IBPGR n'a réagi que partiellement à ces critiques et revendications, malgré plusieurs négociations entre le CGIAR et la FAO. Bien qu'il soit de plus en plus préoccupé de soutenir le développement de programmes nationaux et le renforcement des capacités, il est resté principalement axé sur la collecte et sur les aspects techniques de la conservation *ex situ*. Au cours des années 1990, l'Institut International des Ressources Phytogénétiques (IPGRI)—le successeur de l'IBPGR—est devenu de plus en plus sensible aux dimensions politiques de la conservation et de l'utilisation des ressources génétiques et a lancé un vaste programme de travail sur la conservation à la ferme.

Esquinas-Alcázar et *al.* (2012) ont identifié deux questions majeures qui ont dominé les discussions à cette époque:

1. Les ressources phytogénétiques se trouvent partout dans le monde, mais la plus grande diversité se trouve dans les zones tropicales et subtropicales, où se situent la plupart des pays en développement. Lorsque les semences sont collectées et déposées dans des banques de germoplasme, souvent dans les pays développés, à qui appartiennent ces échantillons stockés? Aux pays où ils sont collectés? Aux pays où ils sont stockés? A l'humanité dans son ensemble?
2. Si les nouvelles variétés obtenues résultent de l'application de la technologie à la matière première ou aux ressources génétiques, pourquoi les droits des fournisseurs de la technologie sont-ils reconnus (droits des obtenteurs, brevets, etc.) et non les droits des fournisseurs des ressources génétiques?

La création de la Commission et la signature de l'Engagement international sur les ressources phylogénétiques pour l'alimentation et l'agriculture en 1983 ont créé un cadre pour le développement ultérieur des politiques internationales sur les ressources phylogénétiques. La nécessité de développer une approche qui reflète les réalités de l'agriculture et les modes d'utilisation des ressources dans l'agriculture est apparue très clairement. Il y a eu des préoccupations concernant l'approche de la CBD en matière de biodiversité (la Convention est entrée en vigueur en 1992), qui mettait l'accent sur les responsabilités et les droits souverains des pays, ainsi que l'impact potentiel sur l'utilisation des ressources génétiques comme conséquence de l'Accord sur les Droits de Propriété Intellectuelle liés au Commerce (TRIPS), adopté en 1994 dans le cadre de l'Accord créant l'Organisation Mondiale du Commerce. A la suite de longues négociations, souvent difficiles, les membres de la Commission ont convenu en 2001 d'établir un Traité sur les ressources phylogénétiques pour l'alimentation et l'agriculture, comportant les dispositions qui répondent directement à certaines caractéristiques particulières de la diversité des cultures, de leur gestion et de leur utilisation (voir ci-dessous). En plus des questions mentionnées ci-dessus, le Traité devait aborder les droits des agriculteurs sur les ressources génétiques qu'ils avaient, après tout, développées et conservées pendant de nombreuses générations, ainsi que des moyens permettant de rendre opérationnel l'accès mondial aux ressources génétiques par le biais d'un système multilatéral d'échange qui transcenderait l'approche bilatérale nationale de la CBD, basée sur les pays en matière d'échange de la biodiversité.

Les aspects techniques de la conservation ont également fait l'objet de plus en plus de discussions dans les années 1980 et 1990. Même au début des discussions techniques dans les années 1970, un débat a persisté sur les mérites relatifs des approches statiques de conservation *ex situ* et des approches dynamiques *in situ* (voir Pistorius, 1997), mais les approches *in situ* ont été largement rejetées, notamment parce que les variétés traditionnelles disparaissaient rapidement en raison du développement agricole et de la sélection végétale moderne (Frankel et Soulé, 1981). Cependant, dans de nombreux systèmes de production, les cultures et variétés traditionnelles ont clairement persisté pour toute une série de raisons, et les agents de conservation et de nombreuses ONG travaillant avec les agriculteurs et les communautés ont commencé à plaider pour que leur valeur soit reconnue et soutenue (pour plus de détails, voir Altieri et Merrick, 1987; Brush, 2000).

Convention sur la Diversité Biologique et Perspectives des Ecosystèmes

L'entrée en vigueur de la CBD en 1992 a considérablement modifié les «règles du jeu» internationales en matière de biodiversité agricole. L'article 1 de la Convention stipule que:

Les objectifs de la présente Convention, qui doivent être réalisés conformément à ses dispositions pertinentes, sont la conservation de la diversité biologique, l'utilisation durable de ses composantes et le partage juste et équitable des avantages découlant de l'utilisation des ressources génétiques, notamment grâce à un accès satisfaisant aux ressources génétiques et par un transfert approprié de technologies pertinentes, en tenant compte de tous les droits sur ces ressources et technologies, et au moyen d'un financement approprié.

Ainsi, bien que la Convention s'intéresse à la diversité biologique au sens le plus large du terme, elle continue d'utiliser le concept de ressources génétiques et souligne l'importance d'un partage juste et équitable des avantages découlant de leur utilisation. Elle a remplacé le concept de patrimoine mondial de l'humanité par les droits souverains des pays sur les ressources. Elle a envisagé un système dans lequel les pays réglementeraient l'accès aux ressources situées à l'intérieur de leurs frontières. En effet, la CBD reconnaît (1) la souveraineté des pays sur les «ressources biologiques», notamment les ressources génétiques (article 15), (2) l'obligation de partager les avantages découlant de l'utilisation de ces ressources avec les pays d'origine des ressources et les communautés locales et autochtones (articles 8j et 15), et (3) l'existence et la nécessité de respecter les droits de propriété intellectuelle sur le matériel biologique (article 16.5). Dans une large mesure, la CBD a lié la conservation de la biodiversité à la valeur marchande de ses composantes, les «ressources biologiques», que certains étaient susceptibles de s'approprier par le biais des droits de propriété intellectuelle (Aubertin *et al.*, 2007).

Les pays membres de la CBD ont récemment négocié un nouveau protocole international qui établit les mesures à adopter pour assurer un partage équitable des avantages avec les pays qui donnent accès aux ressources génétiques sur leur territoire: le Protocole de Nagoya sur l'accès aux ressources génétiques et le partage juste et équitable des avantages découlant de leur utilisation, adopté en 2010, dans le cadre de la Convention sur la Diversité Biologique.

Un autre élément de la CBD, important pour la conservation de la diversité des cultures, est la reconnaissance explicite qu'elle accorde à la conservation *in situ*, qu'elle décrit comme: «la conservation des écosystèmes et des habitats

naturels ainsi que le maintien et la reconstitution de populations viables d'espèces dans leur milieu naturel et, dans le cas des espèces domestiquées ou cultivées, dans le milieu où elles ont développé leurs propriétés distinctives».

Cette reconnaissance peut être considérée comme une conséquence de la nouvelle compréhension globale de la conservation de la biodiversité et en même temps comme un événement qui a contribué à consolider cette nouvelle compréhension. Au cours des années 1990, la conservation *in situ* a suscité un intérêt croissant et de nombreux programmes de recherche nationaux et internationaux ont été lancés. Cette approche, qui reflète les réflexions antérieures de Bennett (1970) et d'autres, visait à explorer des approches de conservation dynamiques qui soulignaient l'importance d'une adaptation et d'une évolution continues et reconnaissaient l'importance du maintien des systèmes dans lesquels la diversité des cultures est présente et évolue en raison de l'interaction entre l'environnement et l'Homme. Cette nouvelle approche a incité les scientifiques à travailler de façon plus multidisciplinaire qu'auparavant, en combinant l'anthropologie, la génétique de l'évolution, la génétique des populations, la biologie de la conservation, la sociologie et l'économie (Bonneuil et Fenzi, 2011/2012).

La mise en œuvre de la CBD a impliqué, entre autres, l'élaboration d'un certain nombre de programmes de travail, qui ont identifié le travail que les pays devraient entreprendre dans des zones clés de conservation. Le programme de travail sur la biodiversité agricole a été adopté en 2002. La CBD considère que la biodiversité agricole comprend toutes les composantes de la diversité biologique pertinentes pour l'alimentation et l'agriculture, ainsi que toutes les composantes de la diversité biologique constituant les écosystèmes agricoles, également appelés agroécosystèmes: la variété et la variabilité des animaux, des plantes et des micro-organismes au niveau de la génétique, des espèces et des écosystèmes, qui sont nécessaires pour maintenir les fonctions clés de l'agroécosystème, ainsi que sa structure et ses processus (décision V/5 de la COP). A noter également que la biodiversité agricole est le résultat des interactions entre les ressources génétiques, l'environnement, et les systèmes pratiques de gestion utilisés par les agriculteurs. Ceci est le produit à la fois de la sélection naturelle et de l'inventivité humaine développée au cours de millénaires. La convention identifie les dimensions suivantes de la biodiversité agricole: (1) les ressources génétiques pour l'alimentation et l'agriculture; (2) les composantes de la biodiversité qui soutiennent les services écosystémiques; (3) les facteurs abiotiques; et (4) les dimensions socioéconomiques et culturelles.

Cela place les ressources phytogénétiques ainsi que leur conservation et leur utilisation dans un contexte plus large de la diversité au sein du système agricole dans son ensemble et se reflète dans les programmes de travail de la CBD, qui comprennent des initiatives sur la pollinisation, la biodiversité des sols et la biodiversité pour l'alimentation et la nutrition. Dans ses récentes décisions sur la biodiversité agricole, la CBD a mis l'accent sur la collaboration avec la Commission des ressources génétiques de la FAO et le développement de programmes de travail collaboratifs, créant ainsi un cadre pour un consensus mondial sur la manière de traiter la biodiversité agricole au niveau international.

Au fil des ans, les décisions des conférences de la CBD ont de plus en plus souligné l'importance des perspectives écosystémiques. Cela reflète en partie l'importance des cadres développés et mis en avant dans l'Évaluation des Écosystèmes pour le Millénaire. Cette évaluation, publiée en 2005, a été un événement clé dans la mise en relation, sous la catégorie mondiale des «services écosystémiques», de la biodiversité sauvage et cultivée et, de plus en plus, du climat (MA, 2005). Ainsi, la diversité génétique des cultures s'est trouvée récemment considérée comme essentielle dans la prestation des services écosystémiques (Tableau 3.1), contribuant non seulement aux services d'approvisionnement (nourriture, fourrage, carburant, médicaments, etc.) mais aussi aux services de soutien, de régulation et de culture. Les services écosystémiques et le fonctionnement des écosystèmes sont considérés comme de plus en plus importants pour améliorer la durabilité des systèmes agricoles et pour répondre au changement climatique. L'agrobiodiversité au niveau du gène, de l'espèce et de l'agroécosystème augmente l'adaptabilité et la résilience face aux changements climatiques. La promotion de l'agrobiodiversité reste donc cruciale pour l'adaptation locale et la résilience des agroécosystèmes (Ortiz, 2011).

Bonneuil et Fenzi (2011/2012) ont suggéré qu'il est possible d'identifier deux paradigmes différents opérationnels par rapport à la conservation et à l'utilisation de la diversité des cultures. C'est le premier (qui a été opérationnel pendant la majeure partie du XX^{ème} siècle) à considérer la diversité des cultures essentiellement comme une ressource. Les ressources phytogénétiques étaient considérées comme une réserve de gènes d'intérêt pour l'agriculture et d'autres industries telles que les industries pharmaceutiques ou le textile. Ce paradigme était associé à une focalisation sur l'utilisation de banques de gènes *ex situ* pour la conservation de la diversité, à l'idée que les ressources génétiques étaient le

TABLEAU 3.1. AVANTAGES DE LA BIODIVERSITÉ POUR L'AGRICULTURE À TRAVERS LES SERVICES ÉCOSYSTÉMIQUES.

<i>Approvisionnement</i>	<i>Réglementation</i>	<i>Soutien</i>	<i>Avantage Culturel</i>
Aliments et nutriments	Contrôle des ravageurs	Formation du sol	Les bosquets sacrés comme source de nourriture et d'eau
Carburant	Lutte contre l'érosion	Protection des sols	Variétés de mode de vie agricole
Alimentation animale	Régulation du climat	Cycle des nutriments	Réservoirs de matériel génétique
Médicaments	Contrôle des risques naturels (sécheresses, inondations et incendies)	Cycle de l'eau	Sanctuaires de pollinisateurs
Fibres et textiles	Pollinisation		
Matériaux pour l'industrie			
Matériel génétique pour les variétés et les rendements améliorés			
Résistance aux ravageurs			

Adapté de MA (2005).

patrimoine commun de l'humanité, constituant un bien public mondial, et à l'importance croissante accordée aux professionnels dans la gestion, le maintien et l'utilisation de la diversité.

Selon Bonneuil et Fenzi, le paradigme le plus récent considère la diversité génétique comme une composante d'un système biologique dynamique et une partie d'un ensemble d'écosystèmes changeant et en évolution. Il existe une préoccupation concernant la conservation *in situ* et le maintien des situations dans lesquelles l'évolution et l'adaptation peuvent continuer à se produire au sein du système de production. Les agriculteurs, les communautés rurales et les peuples autochtones sont reconnus comme jouant un rôle clé dans la conservation. L'accent est mis sur les approches participatives en matière de conservation et d'utilisation. Ce paradigme reconnaît également la souveraineté nationale sur les ressources génétiques et la possibilité de développer des formes de protection qui codifient la propriété avec des droits et des responsabilités identifiés: les liens qui existent (en termes d'évolution, de flux de gènes et de sélection) entre des espèces sauvages apparentées.

Commission des Ressources Génétiques pour l’Alimentation et l’Agriculture (CGRFA) de la FAO, le Traité International sur les Ressources Phytogénétiques pour l’Alimentation et l’Agriculture (ITPGRFA) et le Système Mondial en Développement

La CGRFA a été créée en 1983 sous le nom de Commission des ressources phytogénétiques (voir ci-dessus) afin de faire face aux défis politiques de l’époque et créer un forum international pour traiter les questions relatives aux ressources phytogénétiques. Plus tard, son champ d’action s’est élargi pour inclure les ressources génétiques animales, forestières et aquatiques. Elle supervise désormais la production de rapports sur l’état des ressources génétiques mondiales pour les différentes composantes de la biodiversité agricole et constitue le forum pour l’élaboration de programmes de travail convenus à l’échelle internationale pour soutenir leur conservation et leur utilisation (voir www.fao.org/cgrfa).

Le ITPGRFA est entré en vigueur en 2004 et a été ratifié par plus de 125 pays. Il vise à créer un cadre mondial de collaboration sur les ressources phytogénétiques et à assurer leur conservation et leur utilisation dans l’intérêt de tous. Le Traité est censé fournir le cadre juridique international qui soutient la conservation à la ferme et, puisque la plupart des pays l’ont ratifié, il est également susceptible de fournir un cadre national pertinent. Toutefois, la mise en œuvre nationale est encore très inégale et peu de pays ont jusqu’à présent appliqué les différentes dispositions requises pour la mise en vigueur du Traité au niveau national. Parmi les dispositions importantes du Traité figurent l’article 5, qui exige que les pays établissent des programmes de conservation *ex situ* et *in situ* (notamment à la ferme); l’article 6, qui concerne l’utilisation durable des ressources phytogénétiques, et l’article 17, qui prévoit la mise en place des systèmes d’information nationaux et internationaux. Un article crucial, l’article 9, reconnaît les droits des agriculteurs à bénéficier des ressources génétiques qu’ils ont conservées. Le Traité a également établi un système multilatéral d’échange et de partage des avantages qui se limite actuellement à quelque 35 grandes cultures et plus de 50 espèces fourragères décrites comme étant importantes pour la sécurité alimentaire mondiale (voir www.planttreaty.org).

Le ITPGRFA peut être considéré comme l’élément le plus récent d’un système mondial de conservation et d’utilisation des ressources phytogénétiques en développement. Ce système peut être considéré comme incluant tous les différents éléments qui soutiennent la conservation à l’échelle internationale. Le tableau 3.2 liste les différents éléments de ce système mondial en développement, tels que décrits par Hodgkin et *al.* (2012). Il est possible de considérer que les

TABLEAU 3.2. ÉLÉMENTS D'UN ÉVENTUEL SYSTÈME MONDIAL DE SOUTIEN À LA CONSERVATION ET À L'UTILISATION DES RESSOURCES PHYTOGÉNÉTIQUES.

<i>Élément</i>	<i>Objectifs et notes</i>
*Accords internationaux	
*Commission des Ressources Génétiques pour l'Alimentation et l'Agriculture (CGRFA) de l'Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture (FAO)	La Commission s'efforce d'arrêter la perte des PGRFA et d'assurer la sécurité alimentaire mondiale et le développement durable en encourageant leur conservation, leur utilisation durable (notamment les échanges) et le partage juste et équitable des avantages découlant de leur utilisation. Elle couvre les ressources génétiques animales, halieutiques, forestières et microbiennes ainsi que les questions transversales et les perspectives écosystémiques. La Commission a élaboré un programme de travail pluriannuel pour orienter ses efforts.
*Traité International sur les Ressources Phytogénétiques pour l'Alimentation et l'Agriculture (ITPGRFA)	Ses objectifs sont la conservation et l'utilisation durable des PGRFA et le partage juste et équitable des avantages découlant de leur utilisation. Le Traité vise à reconnaître l'énorme contribution des agriculteurs à la diversité des cultures qui nourrissent le monde et à établir un système mondial permettant aux agriculteurs, aux sélectionneurs de plantes et aux scientifiques d'avoir accès au matériel phytogénétique et garantir que les bénéficiaires partagent les avantages qu'ils tirent de l'utilisation de ce matériel génétique avec les pays d'origine.
* Code international de conduite pour la collecte et le transfert du germoplasme végétal	Il vise à promouvoir la collecte rationnelle et l'utilisation durable des ressources génétiques, à prévenir l'érosion génétique et à protéger les intérêts des donateurs et des collecteurs du germoplasme. Il définit les responsabilités minimales des collecteurs, des sponsors, des conservateurs et des utilisateurs du matériel génétique collecté lors de la collecte et du transfert du germoplasme végétal. Il a été adopté par la Conférence de la FAO en 1993 et a été négocié par l'intermédiaire de la CGRFA, qui est également chargée de superviser sa mise en œuvre et son réexamen.
Programme de travail sur la biodiversité agricole de la Convention sur la Diversité Biologique (CBD)	Ces programmes visent à promouvoir les effets positifs et à réduire les impacts négatifs des pratiques agricoles sur la biodiversité dans les agroécosystèmes et leur interface avec d'autres écosystèmes, et à œuvrer pour la conservation et l'utilisation durable des PGRFA et le partage juste et équitable des avantages découlant de l'utilisation de ces ressources génétiques. La révision la plus récente du Programme de Travail de la CBD sur la biodiversité agricole remonte à 2008. La décision n°. X/34 de la dixième Conférence des Parties (COP-10) a attiré l'attention sur l'importance des travaux sur les espèces sauvages apparentées aux plantes cultivées, et les parties ont convenu de collaborer avec la CGRFA, le ITPGRFA et la FAO sur les activités identifiées. Lors de la COP-10, les parties ont convenu d'adopter le Protocole de Nagoya sur l'accès et le partage des avantages.

<i>Élément</i>	<i>Objectifs et notes</i>
*Accords régionaux en Asie, Afrique, Amérique du Sud et Europe	
Réseaux régionaux	Cette division comprend environ 18 réseaux régionaux et sous-régionaux identifiés dans le deuxième rapport sur l'état des ressources phylogénétiques dans le monde.
*Réseaux de culture	Les objectifs sont généralement de soutenir tous les travaux sur une culture particulière. Ils mettent souvent l'accent sur la génétique et la sélection.
*Réseaux thématiques	Ils comprennent, par exemple, des Cultures Pour l'Avenir qui s'intéresse aux espèces sous-utilisées ; le Groupe de Spécialistes de l'Union Internationale pour la Conservation de la Nature (IUCN) chargé des espèces sauvages apparentées aux plantes cultivées; et l'Organisme International des Jardins Botaniques pour la Conservation.
Forums internationaux et associations ayant des intérêts dans les ressources phylogénétiques pour l'alimentation et l'agriculture (PGRFA)	Ces forums comprennent, par exemple, Diversitas, l'IUCN, le Forum mondial de la recherche agricole et la Plateforme intergouvernementale scientifique et politique sur la biodiversité et les services écosystémiques.
Forums régionaux et associations ayant des intérêts dans les PGRFA	Ces forums existent pour chaque région, bien que leurs structures, organisations et leurs préoccupations pour les PGRFA soient quelque peu différentes. Ils incluent le Forum pour la Recherche Agricole en Afrique (FARA), l'Association des Institutions de Recherche Agricole de la région d'Asie-Pacifique (APAARI), le Forum pour les Amériques sur la Recherche Agricole et le Développement Technologique (FORAGRO), l'Association des Institutions de Recherche Agricole d'Asie Centrale et du Caucase (CACAARI) et l'Association des institutions de recherche agricole du Proche-Orient et d'Afrique du Nord (AARINENA).
*Système mondial d'information et d'alerte précoce sur les PGRFA	Son mandat consiste à suivre en permanence la situation de l'offre et de la demande de denrées alimentaires dans le monde, à publier des rapports sur la situation alimentaire dans le monde et à donner des alertes précoces en cas de crise alimentaire imminente dans chaque pays. Pour les pays confrontés à une grave situation d'urgence alimentaire, la FAO, le Système Mondial d'Information et d'Alerte Précoce et le Programme alimentaire mondial effectuent également des missions conjointes d'évaluation des cultures et de la sécurité alimentaire (CFSAMs).
*État des ressources phylogénétiques pour l'alimentation et l'agriculture dans le monde	Il évalue l'état de la diversité phylogénétique et les capacités aux niveaux local et mondial pour la gestion, la conservation et l'utilisation <i>in situ</i> et <i>ex situ</i> des PGRFA.

<i>Élément</i>	<i>Objectifs et notes</i>
GENESYS	GENESYS est actuellement en cours de développement pour améliorer l'échange d'informations sur les PGRFA à l'échelle mondiale dans le but d'assurer et d'améliorer la biodiversité dans le monde entier. Son objectif est de fournir aux sélectionneurs et aux chercheurs un point d'accès unique à l'information sur environ un tiers des accessions de banques de gènes dans le monde.
*Fond International et Mécanisme Financier pour les ressources phylogénétiques	L'objectif de cette stratégie de financement est d'améliorer la disponibilité, la transparence, l'efficacité et l'efficacité des ressources financières fournies pour la mise en œuvre des activités dans le cadre du ITPGRFA. Les objectifs de la stratégie de financement sont, entre autres, le développement de voies et de moyens par lesquels des ressources adéquates sont disponibles pour la mise en œuvre du Traité, conformément à l'article 18 du Traité.
* Fonds fiduciaire mondial pour la diversité des cultures	Le fonds fiduciaire recueille des dons auprès de particuliers, de fondations, d'entreprises et de gouvernements pour constituer un fonds de dotation qui soutiendra la conservation des principales collections de cultures à perpétuité.
Fonds pour l'environnement mondial (GEF)	Organisme financier indépendant, il accorde des subventions aux pays en développement et aux pays économiquement en transition pour des projets liés à la biodiversité, aux changements climatiques, aux eaux internationales, à la dégradation des sols, à la couche d'ozone et aux polluants organiques persistants. Bien qu'il soutienne principalement des projets nationaux, le GEF a une stratégie mondiale convenue et un objectif stratégique en matière d'intégration de la conservation, ce qui est pertinent pour la conservation et l'utilisation des PGRFA. Au cours des dix dernières années, le GEF du Programme des Nations Unies pour l'environnement a fourni plus de 100 millions de dollars pour soutenir des projets multinationaux.
*Réseau international de collections <i>ex situ</i> (y compris les collections du CGIAR, CATIE et le Réseau international des ressources génétiques de la noix de coco)	En 2006, conformément à l'article 15 du ITPGRFA, les centres ont placé leurs collections de banques de gènes <i>ex situ</i> sous l'égide du ITPGRFA. Les accords de l'article 15 remplacent les anciens accords conclus entre les centres et la FAO en 1994.
* Réseau de zones de conservation <i>in situ</i>	Deux réseaux pertinents qui existent déjà sont les Systèmes du Patrimoine Agricole d'Importance Mondiale et le Programme sur l'Homme et la Biosphère.
Réserve mondiale de semences du Svalbard	Il est conçu pour stocker des doublons de semences provenant de collections de semences du monde entier. Bon nombre de ces collections se trouvent dans des pays en développement. Si des semences sont perdues—par exemple, à la suite de catastrophes naturelles, d'une guerre ou simplement par manque de ressources—les collections de semences peuvent être rétablies en utilisant des semences du Svalbard.

<i>Élément</i>	<i>Objectifs et notes</i>
Initiative de partenariat mondial pour le renforcement des capacités en matière de sélection végétale (GIPB)	Sa mission est de renforcer la capacité des pays en développement en termes d'amélioration des cultures afin d'assurer la sécurité alimentaire et le développement durable grâce à de meilleurs systèmes de sélection et de distribution des plantes. Le succès de cette initiative repose sur une vision à long terme, qui consiste à améliorer les performances des cultures et la sécurité alimentaire grâce à l'établissement d'une capacité renforcée et durable de sélection végétale au niveau national.
*Plan d'Action Mondial (GPA) pour la conservation et l'utilisation des ressources phytogénétiques pour l'alimentation et l'agriculture	Il peut également être classé comme un accord, mais il est placé ici en raison de l'accent qu'il met sur les mesures à entreprendre pour soutenir les objectifs mondiaux de conservation. Les principaux objectifs du Plan d'Action Mondial sont les suivants: assurer la conservation des PGRFA en tant que base de la sécurité alimentaire; promouvoir l'utilisation durable des PGRFA pour favoriser le développement et réduire la faim et la pauvreté; promouvoir le partage juste et équitable des avantages découlant de l'utilisation des PGRFA; aider les pays et les institutions à identifier les priorités d'action; renforcer les programmes existants; et améliorer la capacité institutionnelle.
Collections nationales placées sous le Système Multilatéral (MLS)	Incluses ici pour souligner le fait que les collections nationales font autant partie du système mondial que les collections internationales et, une fois placées sous le système multilatéral, elles deviennent une ressource mondiale efficace.
Organisations internationales non gouvernementales	Ces organisations comprennent l'IUCN, l'organisme International des Jardins Botaniques pour la Conservation, ainsi que des organisations de la société civile avec un engagement à réaliser des objectifs spécifiques en matière de conservation des PGRFA, telles que le Centre thématique européen sur la diversité biologique, GRAIN, Mesures pratiques « Practical Action », etc.
Efforts de recherche internationaux	Comprennent les activités de recherche et de sélection du CGIAR et d'autres centres internationaux et régionaux.

Note: Il existe un certain nombre d'accords internationaux qui affectent l'utilisation des PGRFA par leur effet sur la diffusion, la disponibilité et la distribution des variétés végétales et des semences. Il s'agit notamment de l'UPOV, de la Convention de Rotterdam, des réglementations du commerce mondial et d'une série de programmes de certification des semences opérant à l'échelle internationale et régionale. Bien qu'ils ne soient généralement pas considérés comme faisant partie du système mondial de conservation et d'utilisation des PGR, leur effet sur l'utilisation des PGR et sur la quantité de la diversité croissante susceptible d'être trouvée dans les systèmes de production peuvent être importants.

* Inclus dans la description du Système mondial de la FAO.

Adapté de Hodgkin et al. (2012).

efforts de conservation à la ferme tirent une légitimité internationale de ce système mondial, et certains éléments le soutiennent directement. Le plus récent plan d'action mondial pour les ressources phytogénétiques approuvé par la CGRFA contient une section consacrée au soutien à la conservation et à l'amélioration des ressources phytogénétiques à la ferme. Le ITPGRFA finance un certain nombre de projets nationaux qui soutiennent la conservation à la ferme.

Les décisions et les programmes de la CBD tiennent de plus en plus compte des perspectives agricoles, étant donné que l'importance de la conservation au sein et aux environs des environnements agricoles est reconnue. Ainsi, l'objectif 13 d'Aichi reconnaît explicitement l'importance des espèces agricoles et déclare: «D'ici 2020, la diversité génétique des plantes cultivées, des animaux domestiqués et d'élevage et des espèces sauvages apparentées, notamment d'autres espèces à valeur socioéconomique et culturelle, est maintenue, et des stratégies ont été élaborées et mises en œuvre pour minimiser l'érosion génétique et préserver leur diversité génétique». De même, la CGRFA est passée d'un simple souci de garantir des ressources spécifiques à la prise en compte de la fonction et des services des écosystèmes et de la durabilité, reflétant ainsi les perspectives écosystémiques dans son travail. Cependant, la CBD et le ITPGRFA occupent encore des mondes conceptuels très différents. Le ITPGRFA se préoccupe beaucoup de la conservation *ex situ* et de l'importance d'un maintien efficace des accessions individuelles. Il reconnaît explicitement l'importance des banques de gènes internationales du CGIAR et du travail du Fonds Fiduciaire Mondial pour la Diversité des Cultures. La CBD reste principalement concernée par les perspectives des écosystèmes et par la conservation *in situ*.

Utilisation des Ressources Génétiques pour la Sélection Végétale

Sous sa forme primitive, la sélection végétale a commencé après l'invention de l'agriculture, lorsque les êtres humains sont passés d'un mode de vie de chasseurs-cueilleurs à celui de producteurs sédentaires de plantes et d'animaux sélectionnés. Il est difficile d'identifier à quel moment les techniques d'amélioration des cultures ont conduit au développement de nouvelles variétés de plantes qui n'existaient pas auparavant dans les populations naturelles, mais les archives archéologiques indiquent que les Assyriens et les Babyloniens ont pollinisé artificiellement le palmier dattier il y a au moins 2.700 ans. Les développements importants à partir du XVI^{ème} siècle comprennent les descriptions des plantes cultivées dans les herbiers du XVI^{ème} siècle, la description de la reproduction sexuée des plantes par R. J. Camerarios en 1694, les premières études systématiques sur l'hybridation des plantes par Joseph

Koelreuter de 1760 à 1766, et la classification des plantes développée par Carolus Linnaeus pendant la seconde moitié du XVIII^{ème} siècle. La sélection végétale en tant qu'activité commerciale est devenue de plus en plus importante au cours du XIX^{ème} siècle. Les sociétés de semences ont sélectionné des souches spécifiques qu'elles vendaient sous des noms identifiés. Le nombre de variétés de nombreuses cultures disponibles pour les agriculteurs a rapidement augmenté, et les catalogues de semences de la fin du XIX^{ème} siècle et du début du XX^{ème} siècle énumèrent souvent un très grand nombre de variétés, qui étaient souvent des re-sélections de types spécifiques par des semenciers individuels.

Le XX^{ème} siècle a connu la redécouverte des travaux de Mendel sur l'hérédité (initialement publiés en 1865) et le développement progressif de programmes de sélection végétale basés sur la génétique et les théories de la sélection. L'intérêt des hybrides F1 chez le maïs et d'autres cultures allogames a été reconnu et leur production est devenue la norme, non seulement chez le maïs, mais également chez le tournesol, la tomate et de nombreuses cultures maraîchères. Les programmes de sélection ont pris de l'ampleur grâce à la reconnaissance de l'importance d'utiliser un grand nombre de descendants issus de croisements planifiés. Du milieu du XX^{ème} siècle jusqu'aux années 1980, l'État a souvent joué un rôle majeur dans le développement de nouvelles variétés, en particulier après la Seconde Guerre mondiale en Europe, où la nécessité d'accroître la production en réponse aux pénuries alimentaires de l'après-guerre était d'une importance capitale. Le développement de moyens de protection des nouvelles variétés, en particulier au cours de la seconde moitié du XX^{ème} siècle, a joué un rôle important dans la stimulation des investissements du secteur privé dans la sélection végétale (voir le chapitre 10 pour plus de détails).

La création du système international de recherche agricole, qui remonte à 1940, lorsque les gouvernements américain et mexicain ont demandé le soutien de la Fondation Rockefeller pour la recherche sur les cultures vivrières de base, a constitué un autre événement marquant dans le domaine de la sélection des grandes cultures. C'est ainsi qu'une unité spéciale centrée sur le maïs, le blé, les haricots et la gestion du sol a été créée au sein du Ministère mexicain de l'agriculture. Suivant l'exemple mexicain, l'Inde et le Pakistan ont mis en place des programmes d'assistance technique dans les années 1950. En 1960, l'Institut International de Recherche sur le Riz (IRRI) a été ouvert à Los Baños, aux Philippines. L'amélioration génétique du riz à l'IRRI a suivi le modèle déjà formalisé de sélection généalogique, d'essais collaboratifs internationaux et le partage du germoplasme et d'informations qui avait été adopté précédemment

par le système du blé au Mexique. Le développement des premières variétés de blé semi-naines et à haut rendement par le programme mexicain de riz par l'IRRI, et l'expansion rapide de ces deux innovations à travers les réseaux internationaux de pépinières, ont stimulé l'origine de la Révolution Verte.

Les variétés traditionnelles ont fourni le matériel de base pour la sélection des premières variétés modernes développées par les programmes de sélection des secteurs public et privé. Comme ces nouvelles variétés ont été plus largement distribuées et adoptées, les variétés traditionnelles ont été remplacées. Ceci s'est accompagné d'une réduction générale de la diversité présente dans les zones d'adoption. Si les variétés modernes étaient nettement plus productives dans les conditions d'une agriculture à forte consommation d'intrants, elles ne répondaient souvent pas aux besoins des systèmes agricoles à faible niveau d'intrants dans les zones à environnement variable, où les variétés traditionnelles continuaient à être cultivées.

Les variétés développées dans le cadre de programmes de sélection établis étaient de plus en plus uniformes et génétiquement homogènes. Dans le cas des cultures autogames, les programmes de sélection généalogique ont conduit au développement de lignées homozygotes présentant les traits désirés de la nouvelle variété. Dans le cas des cultures allogames, la demande d'uniformité a été satisfaite par le développement d'hybrides F1 ou d'hybrides doubles. L'utilisation croissante de matériel hautement sélectionné et adapté aux techniques agricoles modernes a conduit, dans certains cas, à une réduction constante de la diversité dans les systèmes de production et à une tendance au développement des variétés à partir d'une base génétique étroite. Les sélectionneurs de plantes ont préféré utiliser, dans la mesure du possible, du matériel déjà amélioré, plutôt que du matériel tel que les variétés traditionnelles, qui nécessiteraient plusieurs cycles de sélection supplémentaires pour recréer le phénotype souhaité et les caractéristiques requises chez les variétés modernes. Bien sûr, si le caractère désiré n'était présent que dans ce matériel traditionnel, son utilisation et le travail supplémentaire qui en découle ont été acceptés. Comme indiqué ci-dessus, la transition des variétés traditionnelles aux variétés modernes s'est accompagnée d'une perte générale de la diversité génétique. Toutefois, dès que la transition a été effectuée, la perte de diversité a été beaucoup plus lente et ne semblait pas avoir été très importante pour certaines cultures. Une méta-analyse des changements survenus dans la diversité au fil du temps a suggéré que peu de changements avaient eu lieu au cours de la période 1930-1990 (van de Wouw *et al.*, 2010), à l'exception d'une réduction de 6 % au cours des années 1960 qui semble avoir été suivie d'une certaine reprise.

Au cours des dernières décennies, certains sélectionneurs de plantes ont commencé à tester et à adopter des approches innovantes pour l'amélioration des cultures qui se rapprochent plus des pratiques traditionnelles de gestion de la diversité des cultures par les agriculteurs que la sélection végétale conventionnelle, et qui ramènent la sélection végétale aux champs des agriculteurs. La sélection végétale évolutive a été introduite pour la première fois dans les années 1950 sur la base «d'un germoplasme largement diversifié et d'une soumission prolongée de la masse de la descendance à une sélection naturelle compétitive dans la zone d'utilisation envisagée» (Suneson, 1956). La sélection végétale participative (PPB) est le processus par lequel les agriculteurs participent régulièrement à un programme de sélection végétale avec des possibilités de prendre des décisions tout au long du processus (voir chapitre 12). En adoptant ces deux techniques et, parfois, en combinant les deux, les sélectionneurs visent à fournir aux agriculteurs des variétés et des populations plus diversifiées, avec de meilleures capacités d'adaptation et de performance dans différents environnements en l'absence d'intrants externes.

Conclusions—Un débat continu

Les débats politiques autour de conservation des ressources phytogénétiques se poursuivent, bien que leur intensité et leur nature varient en fonction des forums d'élaboration des politiques nationaux et internationaux où ils se déroulent. Les débats changent et évoluent avec l'évolution des perspectives politiques et de la nouvelle appréciation de l'importance des ressources génétiques pour les différents secteurs de la société. Parmi les éléments des discussions actuelles qui doivent être pris en compte se trouvent:

1. Si la préoccupation initiale en matière de la conservation à la ferme a mis l'accent sur les avantages de la conservation, il y a une prise de conscience croissante des dimensions socioéconomiques et culturelles et une préoccupation concernant les avantages pour les moyens de subsistance découlant du maintien des variétés traditionnelles.
2. Le changement climatique suscite un intérêt croissant pour l'adaptabilité et la résilience des systèmes de production, et par conséquent la nécessité de veiller à ce que la diversité soit présente pour fournir ces propriétés. Il suscite également un intérêt accru pour les ressources elles-mêmes de la part des sociétés de sélection végétale et une reconnaissance de l'importance d'assurer un approvisionnement continu en nouvelles variétés mieux adaptées.

3. L'interface entre la CBD, le ITPGRFA, la Commission des ressources génétiques et plus largement les décisions politiques internationales comme les Aspects des Droits de Propriété Intellectuelle (TRIPS) devient plus complexe et limite de plus en plus les décisions des pays. Ceci peut être souhaitable dans la mesure où, par exemple, le Traité impose aux pays des obligations claires en matière de soutien de la conservation à la ferme. Cependant, il en résulte également une prise de conscience accrue des perspectives de propriété, du droit de propriété et des considérations en termes de propriété intellectuelle relatives au développement de nouvelles variétés.
4. Les variétés traditionnelles sont dynamiques et changeantes (voir chapitre 11), et la plupart des programmes nationaux et internationaux de conservation et d'utilisation ne sont pas suffisamment équipés pour faire face à cet aspect. Même la législation la plus avancée qui soutient le maintien des variétés traditionnelles, les considère comme des entités essentiellement statiques avec des caractéristiques stables.
5. Le développement d'ONG et de mouvements sociaux actifs autour d'une préoccupation commune en matière d'alimentation et de souveraineté alimentaire devrait renforcer la reconnaissance de l'importance du maintien des variétés traditionnelles à la ferme. En même temps, les programmes renforcés de développement agricole restent souvent antagonistes au maintien de ce matériel en faveur de nouvelles variétés uniformes. La demande accrue de terres agricoles (comme le montrent les récents «accaparements de terres») menace également les approches locales du développement durable qui utilisent des variétés traditionnelles.
6. Depuis une cinquantaine d'années, la sélection végétale est de plus en plus commercialisée et dominée par les grandes multinationales semencières. Leur intérêt pour les variétés traditionnelles se limite à l'utilisation potentielle des traits de ces variétés en vue de la production de nouvelles variétés à haut rendement. Cela peut se faire par le biais de collections de germoplasme *ex situ*, permettant aux sociétés semencières d'encourager le renouvellement des variétés traditionnelles dans les systèmes de production. Des approches contrastées d'amélioration des cultures basées sur la PPB sont actuellement testées dans le monde entier, mais à part le programme de sélection de l'orge conduit par

le Centre International de Recherche Agricole dans les Zones Arides (ICARDA), qui a impliqué des pays du Moyen-Orient et d’Afrique du Nord et de l’Est, il s’agit de petits programmes impliquant un nombre limité de cultures.

Les pressions reflétant ces différentes questions et points de vue opposés des différents acteurs continueront sans aucun doute à affecter les activités de conservation à la ferme et le travail des personnes impliquées.

Lectures Complémentaires

- Bonneuil, C., and M. Fenzi. 2011/2012. “Des ressources génétiques à la biodiversité cultivée”. *Revue d’anthropologie des connaissances* 5:206–33.
- Chiarolla, C. 2011. *Intellectual Property, Agriculture, and Global Food Systems*. Edward Elgar Publishing, UK.
- Esquinas-Alcazar, Jose, Angela Hilmi, and Isabel Lopez Noriega. 2012. “A brief history of the negotiations on the International Treaty on Plant Genetic Resources for Food and Agriculture”. Pp. 135–49 in *Crop Genetic Resources as a Global Commons: Challenges in International Law and Governance* (M. Halewood, I. Lopez Noriega, and S. Louafi, Eds.) Routledge, NY.
- Gepts, Paul. 2004. “Who Owns Biodiversity, and How Should the Owners Be Compensated?” *Plant Physiology* 134 no. 4:1295–307.
- Hodgkin, T., N. Demers, and E. Frison. 2012. “The evolving global system of conservation and use of plant genetic resources for food and agriculture”. In *Crop Genetic Resources as a Global Commons: Challenges in International Law and Governance* (M. Halewood, I. Lopez Noriega, and S. Louafi, Eds.) Routledge, NY.
- Moore, Gerald K., and Witold Tymowski. 2005. *Explanatory Guide to the International Treaty on Plant Genetic Resources for Food and Agriculture*. IUCN, Gland, Switzerland.
- Pistorius, Robin. 1997. *Scientists, plants and politics: a history of the plant genetic resources movement*. Bioversity International (IPGRI & INIBAP), Rome.
- Tauli-Corpuz, V., L. Enkiwe-Abayao, and Raymond De Chavez, Eds. 2010. *Towards an Alternative Development Paradigm: Indigenous Peoples’ Self-Determined Development*. Tebtebba Foundation, Baguio City, Philippines.
- Thrall, P. H., J. G. Oakeshott, G. Fitt, S. Sotherton, J. J. Burdon, A. Sheppard, R. J. Russell, M. I. Zalucki, M. Heino, and R. F. Denison. 2011. “Evolution in agriculture: the application of evolutionary approaches to the management of biotic interactions in agro-ecosystems”. *Evolutionary Applications* 4:200–215.
- Tilford, D. S. 1998. “Saving the blueprints: The international legal regime for plant resources”. *Case Western Reserve Journal of International Law* 30:373–446.



Planche 3. L'élaboration de programmes de soutien à la conservation et à l'utilisation des ressources phylogénétiques et des variétés traditionnelles s'est accompagnée de débats considérables, souvent acrimonieux, sur des questions telles que la perception de la biodiversité agricole, la propriété du matériel et la façon dont les agriculteurs, les communautés, les sélectionneurs et, de nos jours, les ingénieurs en génétique devraient être reconnus et récompensés pour leurs contributions à l'évolution et l'amélioration continues des variétés végétales. Certains sélectionneurs de plantes ont commencé à tester et à adopter des approches innovantes en matière d'amélioration des cultures qui sont plus proches des pratiques traditionnelles des agriculteurs en matière de gestion de la diversité des cultures que la sélection végétale conventionnelle, et qui ramènent la sélection végétale aux champs des agriculteurs. La photo en haut à gauche montre une table ronde lors de la 146^{ème} session du Conseil de la FAO à Rome. La conservation et l'utilisation des ressources phylogénétiques ont été un élément récurrent dans l'agenda de cet organisme intergouvernemental. La photo en haut à droite montre la collection ex situ de niébé de la banque de gènes de l'Institut International d'Agriculture Tropicale (IITA) située au Nigeria. Chacune des photos du bas montre une méthode différente de sélection végétale participative évolutive. A gauche, un agriculteur et un chercheur effectuent une sélection massale sur le maïs. A droite, des sélectionneurs et des agriculteurs sélectionnent ensemble des plantes de riz au Népal. Crédits photos: ©FAO/Alessia Pierdomenico (en haut à gauche), IITA (en haut à droite), D. Jarvis (en bas à gauche), B. Sthapit (en bas à droite).

CHAPITRE 4

Diversité et son Evolution chez les Populations de Cultures

À l'issu de ce chapitre, le lecteur devrait avoir bien compris:

- Les concepts de base de la diversité génétique et de ses mesures chez les populations végétales,
- Comment la taille de la population, les forces évolutives et la biologie de la reproduction affectent l'étendue et la distribution de la diversité génétique.

La génétique des populations est traitée en introduction, pour ceux qui ne sont pas familiers avec le sujet. Les lecteurs intéressés peuvent compléter et élargir leurs connaissances en consultant des manuels tels que Gillespie (2004), Hedrick (2004), Hartl and Clark (2007), Hamilton (2009), Frankham et *al.* (2010), ou d'autres textes standards sur la génétique des populations.

Nature de la Diversité

La diversité décrit la nature et l'étendue de la variation qui se produit dans un système ou par rapport à un ensemble d'entités. Trois niveaux de biodiversité sont généralement distingués—écosystème, espèce et génétique (Frankel et *al.*, 1995). La diversité des écosystèmes décrit la variété ou le nombre d'écosystèmes dans une zone (finalement la biosphère entière), tandis que la diversité des espèces s'intéresse au nombre et à la fréquence des espèces. La diversité génétique est le résultat de la variabilité génétique dans ou entre un ensemble d'individus d'une variété, d'une population ou d'une espèce. Elle résulte des différences entre les séquences d'ADN des différents individus.

Chez les plantes cultivées, la diversité génétique est le plus souvent considérée comme une différence entre les variétés d'une culture. Les plantes individuelles d'une variété donnée peuvent se rapprocher de l'uniformité, comme dans le cas de cultures exclusivement autogames tel que le riz, ou de cultures à multiplication végétative telles que la pomme de terre ou la pomme (par exemple, les différences entre les variétés de pomme comme la Red Delicious et la Granny Smith). Les cultures partiellement ou totalement allogames peuvent

présenter de grandes quantités de variation au sein ainsi qu'entre les variétés. Par exemple, des cultures comme le maïs, le millet perlé ou les choux peuvent montrer une variation considérable d'une plante à l'autre au sein d'une même variété à pollinisation libre.

La quantité de diversité présente chez les espèces, les populations ou les variétés végétales reflète la quantité de variation de la séquence d'ADN présente, ce qui entraîne des différences entre les gènes. Les gènes sont des séquences d'ADN responsables d'une caractéristique héréditaire discrète, correspondant généralement à une seule protéine ou ARN. Les séquences d'ADN sont organisées en chromosomes dans les noyaux des cellules ou se trouvent dans des organites cellulaires comme les chloroplastes et les mitochondries.

La constitution génétique fournit la première base pour la description des propriétés d'une plante. Un locus génétique peut avoir d'autres formes, appelées allèles. Un locus est l'emplacement d'un allèle sur un chromosome. Chez un organisme diploïde, comme le riz, chaque chromosome portera un allèle du même gène, occupant la même position (ou locus) sur chaque élément de la paire de chromosomes homologue. Si les deux allèles d'un même locus sont identiques, l'individu est dit homozygote par rapport à ce gène.

Si les allèles sont différents, l'individu est décrit comme hétérozygote. Souvent, un locus ne semble avoir que deux allèles dans la population (par exemple, les pois ronds et ridés étudiés par Mendel). Cependant, un locus peut également avoir plusieurs allèles alternatifs. C'est souvent le cas des variations biochimiques ou moléculaires telles que les protéines des graines, les isozymes ou les microsatellites décrits ci-dessous.

Au sein d'une population de plantes ou d'une variété traditionnelle, il peut y avoir un, deux ou plusieurs allèles, ou versions du gène. Un génotype est un ensemble de la constitution génétique d'un individu, se référant soit à l'ensemble des allèles d'un nombre limité de loci, soit à tous les loci du génome. Un phénotype est la somme des caractéristiques physiques d'une plante et résulte de l'interaction entre l'état génotypique d'un individu et les conditions environnementales.

Toutes les différences dans la séquence d'ADN n'entraînent pas une différence physique au niveau de la plante. En fait, une grande partie de la variation de séquence chez de nombreuses espèces est codée et peut n'entraîner aucune différence visible au niveau des caractéristiques de la plante. La variation qui peut être détectée comprend des différences évidentes dans des traits qualitatifs spécifiques, comme la couleur des fleurs, et une variation des caractéristiques

TABLEAU 4.1. TYPE DE DONNÉES: EXEMPLES PHÉNOTYPIQUES ET EXEMPLES GÉNÉTIQUES. A NOTER QUE LES DONNÉES PHÉNOTYPIQUES ET GÉNÉTIQUES PEUVENT ÊTRE MÉTRIQUES, ORDONNÉES OU NON ORDONNÉES.

<i>Type de données</i>	<i>Exemples phénotypiques</i>	<i>Exemples génétiques</i>
Traits métriques ou de mesure	Hauteur de la plante, poids des graines	Différences de séquences d'ADN
Dénombrement ou données qualitatives – ordonnées	Nombre de graines par gousse	SSR ou allèles microsatellites
Dénombrement ou données qualitatives non ordonnées	Résistance aux maladies à gènes majeurs, couleur des graines	RAPD, AFLP

quantitatives comme la hauteur, le temps de maturité et le poids des graines (Tableau 4.1). Elle comprend également la variation des traits liés à la performance comme la résistance aux ravageurs et aux maladies, les différences biochimiques dans la production de formes enzymatiques spécifiques ou de métabolites secondaires, et les différences au niveau de la séquence d'ADN. Cette dernière est devenue une méthode d'analyse de la diversité de plus en plus importante et utilisable au cours de la dernière décennie. Différentes procédures sont maintenant disponibles pour détecter différents types de variation d'ADN chez les individus (voir chapitre 5).

Cultures, Variétés et Populations: Structure de la Population

Un aspect important du maintien et de l'utilisation de la diversité des cultures à la ferme consiste à comprendre la quantité et la distribution de la diversité génétique des cultures présentes dans les champs des agriculteurs. La quantification et l'analyse des caractéristiques de la diversité génétique permettent de répondre à des questions telles que: Dans quelle mesure les variétés d'une culture ou les différentes populations d'une variété cultivée actuellement dans un village ou dans une ferme sont-elles génétiquement variables? Dans quelle mesure les variétés diffèrent-elles les unes des autres par le type et degré de variation qu'elles présentent? Certaines variétés présentent-elles des caractéristiques uniques (seules ou en combinaison) qui sont absentes chez d'autres variétés?

Répondre à ces questions fait appel à la génétique des populations végétales, une discipline qui vise trois objectifs: (1) décrire la diversité génétique au sein et entre les populations d'une espèce végétale, (2) estimer la nature et l'importance des forces évolutives qui façonnent ces modèles de diversité

observés, et (3) développer des modèles permettant de prédire la stabilité et le changement de ces modèles. La génétique des populations végétales étaye des décisions telles que le nombre de populations ou de variétés différentes dans une zone qui fournissent un échantillon adéquat de la diversité d'une culture pour différents objectifs, tels que répondre aux besoins des agriculteurs et des communautés, favoriser l'adaptabilité, limiter la vulnérabilité, ou atteindre des objectifs généraux de conservation.

Une population est un groupe de plantes d'une même culture ou d'une espèce qui sont cultivées ensemble dans une localité donnée. Dans le cas des variétés traditionnelles, les différents agriculteurs maintiennent généralement des populations séparées, et les populations individuelles qu'ils maintiennent constituent leur unité de gestion de la diversité variétale.

Dans une zone déterminée, la structure de la population d'une espèce cultivée peut être complexe et peut comporter plusieurs niveaux hiérarchiques. Au niveau le plus élevé, se trouvent le nombre de variétés et la superficie proportionnelle cultivée relative à chaque variété de cette espèce. Ensuite, chaque variété peut être cultivée sous forme de plusieurs populations distinctes dans différentes fermes et différents champs de la communauté ou de la région. Le niveau final de structure peut être évident au sein d'une population locale en tant que sous-populations distinctes, comme les cohortes liées à l'âge d'un arbre fruitier pérenne, ou les plantes poussant dans des microhabitats distincts définis par une variation locale du sol, de l'exposition ou des conditions d'humidité. Encore une fois, le nombre et la taille des sous-populations précisent la structure.

Taille

La taille d'une population est le nombre d'individus cultivés dans cette population dans une région donnée. En fonction de la population et de l'espèce, il peut s'agir du nombre de plantes dans un seul champ ou du nombre de plantes d'une variété dans une zone déterminée. Bien qu'au cours d'une génération donnée, toutes les plantes individuelles d'une même population ne se croisent pas et n'échangent pas de gènes avec toutes les autres, elles peuvent potentiellement le faire. Dans le cas des espèces autogames ou propagées par voie clonale, la population locale a tendance à se fragmenter en de nombreuses lignées différentes qui seraient génétiquement isolées, à l'exception de rares croisements. Dans le cas de nombreuses grandes cultures multipliées par semences, le nombre d'individus dans une seule population est très élevé, avec des agriculteurs cultivant plusieurs milliers d'individus dans un champ. Les

cultures pratiquées dans les jardins familiaux ont généralement des tailles de population beaucoup plus petites, avec seulement quelques individus cultivés dans n'importe quel jardin familial de cultures comme le poivron, la courge éponge ou les arbres fruitiers.

La taille d'une population est un facteur qui affecte sa composition génétique, en particulier lorsqu'il y a de grands changements de taille dus à des événements aléatoires ou catastrophiques. Les petites populations ont tendance à avoir moins de diversité génétique et un plus grand nombre de loci homozygotes que les grandes populations. Une réduction de la taille de la population entraîne la perte de certains allèles individuels et la fixation d'autres allèles au sein de la population. Certains changements dans la taille de la population peuvent survenir en raison des pratiques de gestion normales, comme lorsque les agriculteurs choisissent un petit nombre de plantes comme parents pour la génération suivante. Toutefois, des changements peuvent également survenir en raison de la propagation d'une maladie grave ou d'une inondation, d'un ouragan ou d'un autre événement similaire (voir chapitre 7).

Deux paramètres utiles pour décrire l'abondance ou la taille d'une population à des fins de comparaison sont la fréquence et la densité. La fréquence fait référence à la proportion d'unités spatiales dans une zone qui contient les individus de la population, telle que la proportion de champs, ou de surface dans une ferme, ou dans un paysage qui contient une variété particulière. La densité est le nombre d'individus par unité de surface, par exemple par champ ou par ferme. Une variété particulière d'arbre fruitier peut être cultivée par tous les foyers d'un village et avoir une fréquence élevée mais une faible densité, en supposant que les agriculteurs ne cultivent qu'une seule de chaque variété dans chaque ferme.

Même dans le cas de populations végétales naturelles, tous les individus d'une population ne produiront pas le même nombre de descendants lors de la génération suivante. Chez les populations de plantes cultivées, les agriculteurs choisissent souvent un nombre limité de plantes ou de têtes de semences pour fournir les semences de l'année suivante, mais même sans cela, les semences réellement semées proviendront généralement d'un petit nombre de plantes de la culture précédente. La taille «effective» d'une population correspond, au plus, au nombre d'individus qui contribuent réellement à la production de gamètes de la génération suivante. Il est probable qu'elle soit inférieure à ce nombre si la fécondité de chaque plante parentale varie beaucoup, par exemple lorsque la plupart des graines proviennent d'une seule plante. Dans ce cas, la

taille effective est généralement beaucoup plus petite que la taille réelle de la population. En plus des décisions des agriculteurs quant au nombre de parents producteurs de semences, la taille effective de la population reflétera les effets fondateurs antérieurs, les goulots d'étranglement en termes de taille, le système de sélection de la culture et la variation de la fécondité des plantes.

Maturité, Pérennité et Structure

Comme déjà mentionné, les différences de maturité des plantes dans une population peuvent avoir un effet significatif sur la structure d'une population. Les plantes qui fleurissent à des moments différents ne se croiseront pas, ce qui peut entraîner une divergence dans les différentes sous-populations arrivant à maturité à des moments différents. Évidemment, cela peut aider les agriculteurs à assurer une continuité dans l'approvisionnement en une culture, comme c'est le cas pour de nombreux légumes frais. Les différences de temps de floraison sont également importantes dans l'isolement des différentes variétés, comme dans le cas du maïs, les aidant à demeurer distinctes en réduisant les risques de croisement entre elles.

La détermination fait référence à la tendance des plantes d'une population à fleurir et à mûrir en même temps de manière synchronisée. La détermination peut être soumise à une forte pression de sélection dans le champ de l'agriculteur, pour la production et la récolte des semences. L'âge et la maturité des plantes peuvent varier considérablement, mais les périodes de floraison et de fructification peuvent se chevaucher pendant une longue période (de nombreuses années). Pour les populations d'espèces de plantes pérennes, c'est le moment de la floraison dans l'année plutôt que la maturité en soi, qui affectera la structure de la population.

Les espèces de cultures pérennes, comme les arbres fruitiers et les palmiers dattiers, peuvent avoir une structure d'âge complexe à la ferme. Les agriculteurs peuvent avoir choisi différents génotypes lors de la plantation de nouvelles cohortes ou de la reconstitution des pertes. Il en résulte des possibilités d'influencer le système de reproduction, le rendement en fruits et l'échange de gènes entre les cohortes d'âge. Dans les populations de plantes sauvages, la banque de semences dormantes dans le sol constitue une importante cohorte de structure d'âge. Les semences de fruits écartées et les banques de semences locales sont des analogues dans les populations de cultures horticoles et de grandes cultures.

Connectivité

La connectivité fait référence aux liens entre les éléments spatialement répartis entre les populations végétales et implique à la fois l'isolement spatial des populations et la fréquence de la migration (des semences ou du pollen) entre les populations ou les sous-populations. Le terme «flux de gènes» s'applique lorsque la fréquence des allèles diffère entre les populations donneuses et receveuses. Plusieurs modèles théoriques sont disponibles pour analyser la connectivité entre les populations, comme le modèle continent, le modèle des îles multiples et le modèle du tremplin (voir Hamilton (2009), pour plus d'informations).

Le concept de métapopulation (ou «population des populations») se situe à une extrémité du spectre de la «connectivité». Les principales dynamiques d'une métapopulation sont l'extinction de populations distinctes dans le système pour laisser «des niches» temporairement vacantes, qui seront ensuite réoccupées ou colonisées par dispersion. Le concept met l'accent sur les processus écologiques d'extinction et de recolonisation locales des populations plutôt que sur les processus génétiques de pollinisation croisée, de migration ou de mélange de semences. Le concept de métapopulation semble pertinent dans les situations où une seule variété est cultivée dans différents champs autour d'un paysage. Parfois, la variété peut disparaître d'une ferme ou d'un champ et, par la suite, l'agriculteur pourra remplacer les semences à partir d'une source externe. La façon dont les approches de métapopulation peuvent aider à comprendre la structure génétique des variétés traditionnelles sera discutée au chapitre 11.

Dans les situations où la taille de la ferme ou du champ diminue, ou lorsque de nouvelles variétés modernes raffinées s'étendent sur des superficies croissantes, la superficie cultivée d'une variété traditionnelle particulière peut se réduire à une taille plus petite. Finalement, l'échantillonnage inhérent à ces processus peut donner lieu à de nouvelles variantes reconnaissables, en particulier en combinaison avec les choix de l'agriculteur. Certaines variétés de cultures peuvent continuer à exister pendant longtemps dans de très petites populations cultivées par un ou deux agriculteurs seulement, tandis que d'autres disparaissent rapidement, mais il est difficile de déterminer si ceci est lié à la petite taille de leur population ou à d'autres raisons (par exemple, l'agriculteur trouve une meilleure variété alternative). Les petites populations de variétés rares de cultures, partiellement ou totalement allogames, sont susceptibles de souffrir de la perte de variants alléliques et de la dépression de consanguinité.

Populations Minimales Viables

La taille, le cycle de vie, la connectivité et le système de reproduction (voir ci-dessous) d'une population forment le cadre du concept de population minimale viable. Il s'agit de la taille d'une population nécessaire pour avoir un niveau de diversité génétique qui assurera la persistance d'une population pendant une période déterminée, généralement avec une probabilité déterminée (voir Frankel et *al.*, 1995 pour plus de détails). Dans le cas des plantes cultivées, le concept peut être plus pertinent en ce qui concerne le maintien de petites populations de grandes espèces pérennes—comme les arbres fruitiers—ou cultures de jardin familial—comme les épices, les piments ou les légumes. Toutefois, étant donné la nature essentiellement gérée des variétés de cultures et l'importance des décisions des agriculteurs pour déterminer la persistance d'une variété, le concept de population minimale viable est difficile à appliquer à la conservation des cultures, bien qu'il soit un concept utile pour évaluer les tailles de la population observée.

Structure Génétique de la Population

Jusqu'à présent, les populations ont été discutées en termes de nombre d'individus sans aucune référence particulière à leur constitution génétique. L'analyse de la structure génétique des populations attire l'attention sur les caractéristiques génétiques des populations—les gènes et les variants alléliques et leur fréquence dans une population—et sur la façon dont elles varient au sein et entre les populations dans l'espace et dans le temps. Comme indiqué ci-dessus, un ensemble considérable de méthodes différentes a été élaboré pour déterminer l'étendue et la distribution de la diversité au sein et entre les populations. Ces méthodes comprennent l'analyse de la variation constatée à l'aide de caractères morphologiques, de variables quantitatives liées à la performance de traits biochimiques et de marqueurs d'ADN. De nombreux pays et laboratoires dans le monde entier ont maintenant la capacité de générer des données moléculaires à partir du polymorphisme de longueur des fragments amplifiés (AFLP), des microsatellites, du polymorphisme d'un seul nucléotide (SNP) et des marqueurs de séquence exprimée (EST). Les capacités de séquençage se sont rapidement développées au cours de la dernière décennie et il est maintenant réaliste de parler en termes de génération de séquences d'ADN de loci spécifiques d'un grand nombre de plantes, ou même de génération de données en séquence complète pour un nombre important de plantes d'une espèce (voir chapitre 5). Cependant, la gestion et l'analyse des données issues de ces procédures posent encore d'importants problèmes.

Malgré le développement extraordinaire des capacités d'analyse de l'ADN, il convient de rappeler qu'il est encore possible d'obtenir beaucoup d'informations utiles à partir de données quantitatives ou même simplement à partir de données sur la distribution des variétés, à condition qu'elles soient collectées et analysées de manière à fournir des informations sur les questions spécifiques à traiter. Même l'ensemble le plus complet de données d'ADN doit être en fin de compte relié d'une manière ou d'une autre aux traits morphologiques, agronomiques et autres traits utiles auxquels s'intéressent les agriculteurs et les producteurs.

Richesse et Équitabilité

La richesse et l'équitabilité sont deux notions ou paramètres clés de la diversité qui revêtent une importance particulière pour l'étude et le maintien de la diversité des cultures. La richesse est le nombre total d'allèles différents, ou génotypes ou types distincts présents dans un échantillon donné. L'équitabilité fait référence à la similarité dans la fréquence des différents types (allèles ou génotypes) et à l'absence d'un ou de quelques types qui dépassent largement en nombre tous les autres types concomitants (Frankel et *al.*, 1995). Les concepts de richesse et d'équitabilité peuvent être appliqués aux données moléculaires telles que les nombres d'allèles microsatellites, les haplotypes, les états alléliques identifiables (par exemple, la couleur des graines ou les marqueurs biochimiques). Ils s'appliquent également aux fréquences des variétés de cultures individuelles ou au nombre de cultures ou d'espèces présentes dans un système de production. Le plus souvent, les données qualitatives sont utilisées pour estimer la richesse et l'équitabilité, mais les données quantitatives peuvent aussi fournir des estimations (Tableau 4.2).

Le tableau 4.3 présente un exemple de richesse et d'équitabilité des variétés de sorgho de Yambasse au Burkina Faso. Les résultats d'une enquête menée auprès de huit agriculteurs différents montrent qu'ils ont cultivé un total de six variétés différentes sur des superficies allant de 5.000 m² à 17.500 m². La variété la plus courante (Belko) a été cultivée sur 38 % de la terre utilisée, tandis que la moins commune (Bura pelga) a été cultivée sur seulement trois pourcent de la terre. Les agriculteurs sont passés d'une à trois variétés sur des superficies variant d'environ 2.500 m² à environ 10.000 m² (un hectare).

A partir des données, il a été possible de calculer la richesse et l'équitabilité pour chaque agriculteur et pour la communauté échantillonnée (richesse = 6; équitabilité calculée comme l'indice de diversité génétique de

TABLEAU 4.2. MESURE DE LA RICHESSE ET DE L'ÉQUITABILITÉ.

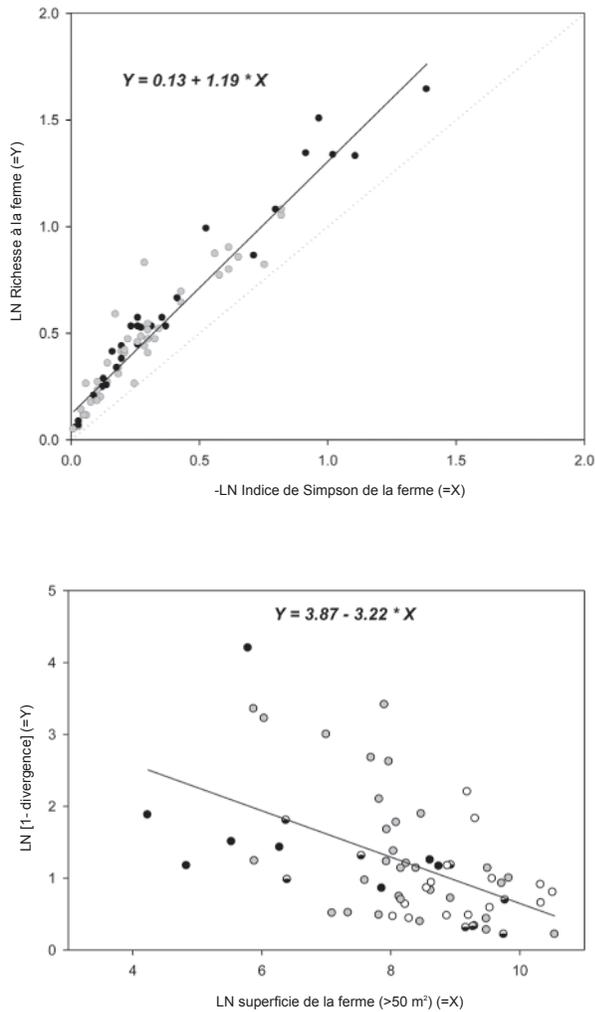
	<i>Richesse</i>	<i>Équitabilité</i>
Données quantitatives ou métriques	Etendue (dépend de la taille de l'échantillon) Après la classification, le nombre de classes	Coefficient de variation, asymétrie, aplatissement. Composantes de la variance
Données qualitatives ou de comptage	Nombre de types Nombre d'allèles par locus Nombre de génotypes multilocus, clones, haplotypes	Similarité dans la fréquence des types Indice de diversité génétique de Nei Indice de diversité génétique de Nei, indice de Shannon-Weaver. Note: ces indices combinent équitabilité et richesse

Nei [ou panmictique H_c] = 0,72). Il a également été possible d'estimer la divergence—la proportion de diversité supplémentaire présente dans différentes zones de variétés, maintenue par les différents agriculteurs faisant partie de l'échantillon (H_c communauté—moyenne H_c agriculteur/ H_c communauté = 0,36). Jarvis *et al.* (2008) ont étudié la diversité des variétés traditionnelles de 27 cultures provenant de huit pays (Figure 4.1). Ils ont noté les noms des variétés et les superficies qu'elles occupaient dans trois communautés de chaque pays en discutant avec des agriculteurs de plus de 2.000 foyers dans 26 communautés de différents pays. Les chercheurs ont conclu que la richesse et l'équitabilité étaient étroitement liées, aussi bien au niveau de la ferme qu'au niveau de la communauté. Dans certains cas, une forte dominance s'est produite, avec une bonne partie de la richesse variétale maintenue à de faibles fréquences. Cela indique que la diversité peut être maintenue comme une assurance pour répondre aux futurs changements environnementaux ou aux besoins sociaux et économiques. Dans d'autres cas, une distribution plus équilibrée des fréquences des variétés a été trouvée, ce qui implique peut-être que les agriculteurs sélectionnent des variétés pour répondre à une diversité de besoins et d'objectifs actuels. Les estimations de la divergence, mesurée comme la proportion de l'équitabilité de la communauté présentée par les agriculteurs, soulignent l'importance d'un grand nombre de petites exploitations agricoles adoptant des stratégies variétales nettement diversifiées comme une force majeure qui maintient la diversité génétique des cultures à la ferme.

TABLEAU 4.3. RICHESSE ET ÉQUITABILITÉ DES VARIÉTÉS DE SORGHO POUR UN SEUL SITE À YAMBASSE AU BURKINA FASO.

Nom de l'agriculteur	Superficie totale (m ²)	Noms des variétés de sorgho							Richesse au foyer	Indice de Simpson (1-sumsq)
		Belko	Gambre	Kara Wangra	Zulore	Zugilissi	Bura pelga	Richesse au foyer		
Bouda, Laurent	17.500	0,29		0,14		0,57		3	0,57	
Mare, Salamata	5.000		0,50					2	0,50	
Ouedraogo, Marcelline	5.000	1,00						1	0,00	
Ouedragog, Hamidou	17.500	0,29			0,14	0,57		3	0,57	
Sampelga, Barahissa	5.000		0,50				0,50	2	0,50	
Ouedraogo, Inoussa	7.500	0,67				0,33		2	0,44	
Dakissaga, Boukare	17.500	0,57			0,14	0,29		3	0,57	
Dakissaga, Bintou	5.000		0,50					2	0,50	
Total des terres cultivées au sorgho dans les foyers échantillonnés	80.000									
Superficie couverte par chaque variété dans la communauté (%)		Richesse moyenne au niveau du foyer et indice de Simpson		Richesse de la communauté (nombre total de variétés dans la communauté)		Richesse moyenne au niveau du foyer et indice de Simpson		Richesse de la communauté (nombre total de variétés dans la communauté)		
		0,38	0,09	0,09	0,06	0,34	0,03	2,25	6	
Indice de simpson de la communauté (en fonction du pourcentage de la superficie couverte par chaque variété au niveau de la communauté)		0,72								
Divergence (= indice de Simpson communauté - moyenne indice de Simpson foyer/indice de Simpson communauté)		0,36								

Source: Sawadogo et al. (2005b).



a) Relation entre l'équitabilité et la richesse à la ferme, les deux sur une échelle logarithmique. Cercle noir = produit de base principal; cercle gris = produit de base non principal; 2 3 2 contingence x (p = 0,03).

b) Relation entre la superficie de la ferme et la divergence, sur une échelle logarithmique. Cercle blanc = allogamie; cercle semi-rempli = allogamie partielle; cercle gris = autogamie; cercle noir = clonale. Le graphique exclut les fermes de moins de 50 m² par foyer (c.-à-d. les jardins familiaux).

Figure 4.1. Richesse, équitabilité et divergence à la ferme pour 27 cultures provenant de 26 communautés dans huit pays différents (de Jarvis *et al.*, 2008, Copyright 2008 National Academy of Sciences, U.S.A.)

Diversité, Hétérozygotie, Autofécondation et Structure

Au niveau allélique, les paramètres génétiques de la population suivants et leurs statistiques d'échantillonnage sont couramment utilisés pour décrire différents aspects de la diversité génétique des populations.

Pourcentage de loci polymorphes. C'est la proportion de loci échantillonnés qui sont considérés comme polymorphes. L'estimation dépend de la fréquence de l'allèle majoritaire au-dessus duquel le locus est défini comme monomorphe (par exemple, 95 % ou 99 %) et de la technique utilisée pour détecter la variation. La mesure comparable dans les études moléculaires est la proportion de sites nucléotidiques en ségrégation par site nucléotidique.

Richesse allélique. Il s'agit généralement du nombre moyen d'allèles par locus pour un certain nombre de loci dans la ou les population(s) considérée(s). Elle décrit la quantité de diversité dans la variété, la population ou la zone considérée. La taille de l'échantillon affecte fortement la valeur réelle de l'estimation. Lorsque des comparaisons sont faites entre des populations sur la base d'échantillons de tailles différentes, l'estimation peut être ajustée à l'aide de méthodes de sous-échantillonnage ou de raréfaction.

L'hétérozygotie, la proportion de génotypes qui sont hétérozygotes, est une autre mesure utile de la diversité génétique au sein d'une population. Le niveau d'hétérozygotie observé (H_o) est la proportion de loci qui s'avèrent génétiquement hétérozygotes, il mesure la combinaison des allèles en génotypes diploïdes. Le niveau d'hétérozygotie attendu ($H_e = 1 - \sum P_i^2$) est le niveau d'hétérozygotie attendu d'un croisement aléatoire (panmixie) étant donné un ensemble de fréquences d'allèles (P_i). Cette hétérozygotie panmictique attendue est une mesure de la diversité génétique connue sous le nom d'indice de Nei de la diversité génétique. Elle est clairement liée à l'indice de dominance écologique de Simpson ($\sum P_i^2$). La différence entre la quantité d'hétérozygotie observée (H_o) et celle attendue (H_e) peut fournir des informations sur l'autofécondation dans une population ou une variété.

L'autofécondation est le croisement d'individus apparentés au sein d'une population. Chez les organismes habitués à des croisements distants (par exemple, le maïs), une autofécondation continue peut entraîner une perte de la vigueur ou une dépression de consanguinité.

Diversité génétique. La diversité de Nei est la probabilité que deux éléments tirés au hasard d'une population ou d'un échantillon soient différents—que ce soit deux copies aléatoires d'un gène aient des allèles différents, ou que deux variétés aléatoires d'une culture tirées de la même zone soient différentes. Dans

les études moléculaires, la diversité des nucléotides est le nombre moyen de différences nucléotidiques par site entre deux séquences choisies au hasard dans un échantillon de population. Dans les populations à croisements aléatoires, cela correspond à une hétérozygotie au niveau nucléotidique.

Divergence. La divergence peut être définie et mesurée de différentes manières. L'une d'entre elles consiste à considérer la diversité génétique totale de l'ensemble du système (par exemple, un pays ou un ensemble de populations dans une région) et à la comparer à la moyenne de la non-identité (diversité génétique de Nei) au sein des populations, mesurée comme tout ensemble de traits ou de marqueurs. La divergence est ensuite mesurée comme la proportion de la non-identité totale qui se trouve entre les populations. Ainsi, la différenciation de la population peut être mesurée comme la proportion de (H_T) qui est supérieure à la diversité génétique moyenne (hétérozygotie panmictique) trouvée au sein des populations (H_S): $G_{ST} = 1 - (H_S/H_T)$.

Cette mesure est pratique pour la comparaison entre différents systèmes, mais insensible à l'accumulation de divergence entre les populations, ou lorsque la non-identité locale (H_S) est déjà élevée. Elle ne tient pas compte de la différence entre les entités: deux séquences, deux variétés, deux fermes, deux régions, etc. En l'absence de sélection, le taux de divergence est égal au taux de mutation et il est indépendant de la taille de la population, reflétant la dérive génétique. Cependant, dans la plupart des situations de culture, la sélection par les agriculteurs augmentera probablement le taux de divergence et amplifiera l'effet de la dérive.

Fréquence et distribution des allèles. Les allèles peuvent être répandus et présents dans de nombreuses populations, ou être localement restreints et présents seulement dans une ou deux populations dans l'ensemble des cultures ou des espèces. Ils peuvent se produire à des fréquences raisonnables (généralement supérieures à 0,05) dans toute leur étendue ou être plus ou moins rares (fréquence inférieure à 0,05).

Marshall et Brown (1975) ont utilisé la fréquence et la distribution des allèles pour distinguer quatre types d'allèles (Tableau 4.4). Ils ont suggéré que, toutes choses étant égales par ailleurs, les stratégies de conservation devraient être conçues de manière à maximiser les chances de maintenir des allèles localement communs, car ces allèles sont susceptibles d'inclure ceux qui sont adaptés à des endroits spécifiques, comme la tolérance aux stress locaux (par exemple la sécheresse, le gel ou les maladies). Les allèles qui sont répandus et courants seront automatiquement inclus dans toute stratégie d'échantillonnage raisonnable.

TABEAU 4.4. DIFFÉRENTES CLASSES DE FRÉQUENCE ET DE DISTRIBUTION DES ALLÈLES.

		<i>Distribution des allèles</i>	
		<i>Répandue</i>	<i>Locale</i>
Fréquence des allèles	Commun		
	Rare		

Évolution des Variétés de Cultures et des Populations

Au cours des derniers millénaires, les cultures ont subi d'importants changements avec une domestication croissante, et continuent à changer et à évoluer sous l'influence de la sélection naturelle et humaine. Pendant une bonne partie de cette période, les agriculteurs ont sélectionné la diversité de leurs cultures et ont façonné, délibérément et inconsciemment, leurs cultures pour qu'elles répondent à leurs besoins et à leurs environnements particuliers. Au cours des 150 dernières années ou environ, la sélection végétale commerciale ou scientifique a éclipsé la sélection à la ferme, produisant un changement beaucoup plus rapide dans certaines de nos cultures les plus importantes telles que le riz, le blé, le maïs, les fruits et légumes à grande valeur ajoutée et les oléagineux.

Le changement évolutif est un processus inévitable qui accompagne la gestion des plantes cultivées et produit des effets qui sont souvent plus évidents pour l'observateur que ceux observés dans les populations sauvages (par exemple, la forme, la couleur et la taille de la partie récoltée de la plante). L'évolution entraîne des différences entre les variétés, qui reflètent des différences dans l'étendue et la distribution de la diversité génétique présente dans les populations de culture. Cette diversité n'est pas répartie au hasard dans l'espace et dans le temps. Les fréquences des différents allèles et leur nature, ainsi que les différentes caractéristiques des populations telles que l'hétérozygotie, la diversité génétique, l'équitabilité et la richesse, sont le résultat de différentes forces évolutives (sélection, mutation, recombinaison, migration et dérive génétique), de la biologie de la reproduction notamment les systèmes de reproduction, la pollinisation et les mécanismes de dispersion des semences, et de la manière dont ils interagissent les uns avec les autres dans différentes cultures et situations, créant ainsi des opportunités pour l'isolement génétique, le flux de gènes, l'extinction de la population locale et d'autres facteurs.

L'analyse de Barnaud *et al.* (2007) sur la structure génétique et les dynamiques des variétés traditionnelles de sorgho dans un village du nord du Cameroun fournit un exemple de cette interaction. Les agriculteurs de Duupa

dans le village ont distingué 59 taxons de sorgho nommés, représentant 46 variétés traditionnelles. Dans chaque champ, les semences sont semées sous forme de mélange (en moyenne 12 variétés traditionnelles par champ), ce qui permet un flux génétique important. Barnaud *et al.* (2007) ont enregistré les schémas spatiaux de plantation et les perceptions des agriculteurs à l'égard des variétés traditionnelles, et ont caractérisé 21 de ces variétés à l'aide de marqueurs SSR (Répétitions de Séquences Simples). L'analyse, en utilisant des méthodes de distance et de regroupement, a permis de classer les 21 variétés étudiées en quatre groupes. Ces groupes correspondent à des groupes de variétés traditionnelles fonctionnellement et écologiquement distincts. La variation génétique intra-variétale représentait 30 % de la variation totale. Le G_{ST} moyen sur les variétés traditionnelles était de 0,68; ce qui indique une forte consanguinité au sein des variétés. La différenciation entre les variétés était importante et significative ($G_{ST} = 0,36$). Les facteurs historiques, la variation des systèmes de sélection et les pratiques des agriculteurs ont tous influencé les schémas de variation génétique. Les pratiques des agriculteurs sont indispensables au maintien des variétés traditionnelles présentant différentes combinaisons de caractères agronomiques et écologiques, malgré le flux de gènes.

Sélection

Les individus au sein des populations, et même de populations différentes au sein d'une même espèce, diffèrent inévitablement dans leur probabilité de survie et dans leur taux de reproduction. Cependant, cette variation de la reproduction n'a pas nécessairement de conséquence sur l'évolution. Pour modifier la composition génétique de l'espèce, les individus porteurs d'un certain gène ou d'une combinaison de gènes doivent constamment figurer parmi ceux qui sont favorisés, par rapport au reste de la population.

La sélection est la principale force évolutive qui façonne les niveaux et les modèles de diversité des cultures. Elle se produit lorsque certains individus d'une population sont plus susceptibles de survivre jusqu'à maturité et de produire plus de descendants en raison de leur constitution génétique. La sélection modifie habituellement la fréquence des allèles, favorisant ainsi certains allèles au détriment d'autres, et donne lieu à des changements dans les fréquences génotypiques des générations suivantes. Elle peut se produire à n'importe quel ou à tous les stades de la vie de la plante ou de la culture: germination, émergence, croissance, floraison, production de graines ou récolte.

Tous les processus de sélection n'entraînent pas un changement évolutif. Par exemple, une population peut être en équilibre de fréquence des allèles sous sélection équilibrante, comme dans le cas des allèles d'auto-incompatibilité chez certaines cultures de Brassica, ou dans le cas de la sélection multi-niches, où différentes variantes sont adaptées à différentes parcelles de l'environnement. Cette sélection équilibrante est une force conservatrice importante qui maintient la diversité à des fréquences d'équilibre. De même, tous les changements évolutifs ne sont pas le résultat de la sélection (par exemple, les changements de fréquence des allèles qui découlent du processus d'échantillonnage aléatoire comme la dérive génétique dans de petites populations et les goulots d'étranglement dans la taille des populations). Toutefois, en général, il existe une relation étroite entre la sélection et le changement génétique évolutif. Le processus de sélection est extraordinairement riche et varié. La théorie de la sélection reconnaît de nombreux modes, qui sont énumérés dans le tableau 4.5 comme étant les termes utilisés pour spécifier divers types de sélection. Ces modes ne doivent pas être considérés comme des types exclusifs. Au contraire, la plupart des situations à la ferme ou dans la nature implique une action conjointe considérable des différents modes de sélection. Le lecteur qui souhaite approfondir chaque mode est invité à consulter les manuels de génétique des populations cités dans la section «lectures complémentaires».

Chez les cultures, la sélection peut être volontaire et effectuée par les agriculteurs pour maintenir certaines caractéristiques ou répondre à des besoins spécifiques. En outre, les opérations agricoles peuvent entraîner des pressions de sélection involontaires qui ont des résultats imprévus. Chez les populations renfermant une variation génétique, la sélection pour l'adaptation résultera de l'effet de facteurs environnementaux. Des exemples de sélection délibérée et consciente comprennent le développement et le maintien de variétés ayant certaines couleurs de graines ou une teneur en amidon chez le maïs (couleur bleue ou rouge, corné ou denté), des formes de la feuille chez la chicorée (feuilles entières comme chez la variété scarola ou très disséquées comme chez la variété indivia), des caractéristiques de maturité particulières (maturité précoce et tardive chez de nombreuses cultures) ou des propriétés de cuisson et d'utilisation (comme la sucrosité chez le sorgho).

Des exemples de changements induits sélectivement à partir de choix corrélés, ou moins conscients, de la part des agriculteurs sont: (1) une récolte précoce provoquée par la sécheresse entraînant des changements de date de maturité (comme dans le cas des variétés de sorgho et de millet en Afrique de l'Ouest au cours des 20 dernières années; Bezançon et *al.*, 2009), (2) la sélection de types particuliers de plantes tels qu'une floraison minimale chez la pomme

TABLEAU 4.5. MODES DISTINCTS DE SÉLECTION REGROUPÉS SELON LES PRINCIPAUX ATTRIBUTS DÉFINISSANT LES DIFFÉRENCES INDIVIDUELLES D'APTITUDE À LA REPRODUCTION.

<i>Propriétés</i>	<i>But ou contexte</i>	<i>Modes de sélection</i>
Phénotypiques	Valeurs des caractères	Direct, Directionnel, De troncature, Stabilisateur, Perturbateur
	Sensibilisation des agriculteurs	Délibéré, Involontaire, Inconscient, Corrélé
Fluctuantes	Variabilité	Fluctuations Temporelles ou Spatiales, stades de la Vie ou de la Maturité
Génétiques	Diversité allélique	Purifiant, Équilibrant, Avantage hétérozygote, Diversifiant
	Système génétique	Haploïde, Sexuel, Parenté
Population	Variables écologiques	Naturel, Fréquent ou Dépendant de la Densité, Sélection r contre K

de terre résultant de sélection en vue d'une production accrue de tubercules, et (3) la sélection contre l'égrenage chez les céréales à petits grains pendant la domestication. Les cas de sélection environnementale comprennent ceux résultant de pressions biotiques telles que la tolérance ou la résistance au champ à de nombreux ravageurs et maladies (voir le chapitre 7). Au chapitre 11, nous reviendrons sur le point crucial selon lequel les différents modes de sélection interagissent dans le système agricole.

L'efficacité de la sélection directionnelle dépend de l'héritabilité des caractères et de l'intensité de la sélection, telle qu'elle est exprimée dans l'équation: $R = h^2S$, où R est la réponse à la sélection, h^2 est l'héritabilité et S est l'intensité de la sélection. Les traits comme le rendement et les composantes du rendement varient quantitativement et sont contrôlés par de nombreux gènes dont l'expression est fortement influencée par l'environnement. Les traits ont généralement une faible héritabilité et une réponse lente à la sélection par génération. En revanche, les traits simplement hérités répondent rapidement, car les agriculteurs peuvent facilement les sélectionner ou pas.

Dans la pratique, les agriculteurs (et les sélectionneurs professionnels de plantes) examinent généralement de nombreux traits différents, souvent sous un contrôle génétique complexe. Les types préférés peuvent également présenter une aptitude réduite en termes de performance globale et de survie en raison d'effets de liaison ou de pléiotropie, de sorte que les efforts de sélection des agriculteurs soient contrecarrés par d'autres forces sélectives agissant, par exemple, sur les traits du cycle biologique telles que les caractéristiques de dormance des semences, les caractéristiques de croissance ou la réponse à la

photopériode. Cela signifie que, même lorsque les agriculteurs effectuent une sélection rigoureuse, la réponse peut être faible, laissant des quantités importantes de variation chez les variétés traditionnelles. Chez les espèces allogames comme le maïs, la sélection individuelle des plantes au sein des populations se limite essentiellement au côté femelle. La semence réellement choisie résulte d'une pollinisation ouverte largement aléatoire du côté mâle. Ce système de reproduction est notamment conservateur en ce qui concerne les effets de la sélection et permet de conserver la diversité génétique des populations.

Mutation

La mutation est un changement héréditaire dans la séquence nucléotidique d'un chromosome et constitue donc une source de nouvelle variation génétique. Les taux naturels de mutation sont faibles (environ 10^{-5} par gène ou 10^{-9} par site nucléotidique), et la plupart des mutations sont neutres par rapport à l'aptitude de l'organisme, ou n'ont que des effets mineurs, généralement délétères. Cependant, la domestication des cultures est le résultat de la sélection par l'Homme de mutations spécifiques qui permettent une adaptation à la culture et à l'utilisation, comme les complexes de gènes d'absence d'égrenage chez la plupart des céréales et le gigantisme des fruits et des légumes abordés au chapitre 2. Dans certains cas, comme la coloration du grain du maïs, l'Homme semble avoir choisi des systèmes mutables associés à un taux accru de mutation. Ces systèmes codent pour des profils variés au niveau des semences (maïs), des tiges (canne à sucre) ou des feuilles et aident les agriculteurs à reconnaître les variétés. La détection, par les agriculteurs, des formes «hors-type» ou de nouvelles formes qui peuvent être le résultat d'une mutation est un processus continu chez de nombreuses cultures. Celles-ci peuvent être maintenues parce qu'elles sont précieuses pour la production ou l'utilisation ou, tout simplement, en raison de l'intérêt que porte l'Homme à la diversité et de son désir à la conserver.

Recombinaison

La recombinaison est le processus qui génère de nouvelles combinaisons d'allèles au niveau des gènes liés. Les gènes portés par différents chromosomes se recombinent librement lors de la méiose, tandis que les allèles de ceux présents sur le même chromosome seront transmis ensemble, dans une certaine mesure, en fonction de leur proximité sur le chromosome (c'est-à-dire de leur degré de liaison) et du degré de recombinaison. Comme pour la mutation, la recombinaison peut aboutir à de nouveaux types de plantes visibles (nouvelles

combinaisons de caractères ou expression d'allèles récessifs) qui peuvent être sélectionnés par les agriculteurs.

La possibilité et les effets de recombinaison sont fortement influencés par le système de reproduction. La fécondation croisée ou le croisement aléatoire conserve une hétérozygotie multiple et la possibilité de recombinaison, tandis que l'autofécondation affaiblit l'hétérozygotie et diminue ainsi la recombinaison. Chez les espèces allogames, toutes les combinaisons de gènes (favorables ou défavorables) seront rompues par la recombinaison, à moins qu'elles ne soient maintenues ensemble par une liaison chromosomique étroite. Chez les espèces diploïdes autofertiles, l'autofécondation ralentit la recombinaison entre les gènes et maintient plus longtemps les combinaisons alléliques sélectionnées ensemble. De plus, à chaque génération, l'autofécondation réduit toute hétérozygotie présente chez les génotypes favorisés. Lorsque les plantes se reproduisent de manière asexuée, par exemple à partir de tubercules ou de morceaux de tiges ou de graines issues de l'apomixie, le génotype entier est préservé et il n'y a pas de recombinaison. La sélection peut donc se faire à ce niveau entre différents clones.

Migration

Le mouvement des cultures et des variétés d'un endroit à un autre, d'un pays à un autre et d'un continent à un autre est une caractéristique de l'agriculture. La migration des plantes domestiquées a accompagné la migration de l'Homme, l'espèce migratrice la plus prospère, et a conduit à l'établissement de nouvelles cultures dans différentes régions du monde, comme le maïs, la pomme de terre et le haricot en Europe et en Afrique, ou le blé et le soja en Amérique. Ce processus s'apparente à la dispersion des populations naturelles et à la création de nouvelles populations. En génétique des populations, la migration s'applique au processus de mouvement de plantes individuelles, de propagules végétatives, de semences ou du pollen entre les populations. Lorsque ce type de mouvement s'accompagne d'un croisement entre les migrants et la population, il entraîne une intégration génétique dans une nouvelle population introgressée. Lorsque l'échantillon de gamètes ou de semences arrivant diffère génétiquement de la population réceptrice, le flux de gènes est dit avoir eu lieu.

La migration et le flux de gènes associé, qu'ils soient délibérément gérés ou accidentels, sont des caractéristiques importantes des variétés traditionnelles des cultures, en particulier chez les cultures à pollinisation croisée ou partiellement croisée comme le maïs, le millet perlé et le sorgho. Dans le cas de ces cultures à pollinisation croisée, des pratiques de gestion délibérées peuvent

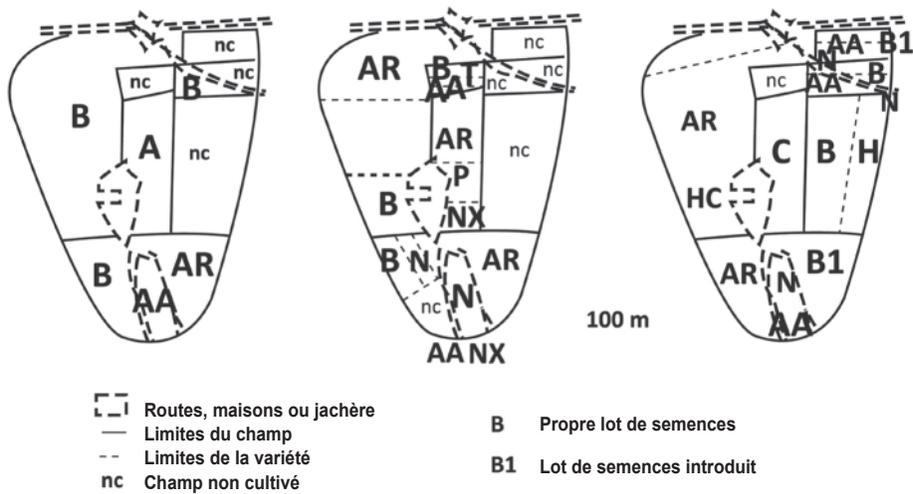
être nécessaires pour assurer le maintien des principales caractéristiques de certaines variétés. Chez certaines cultures, le flux de gènes provenant de plantes sauvages apparentées a joué un rôle important dans leur évolution, en élargissant progressivement leur base génétique et en augmentant la diversité disponible pour la sélection (Jarvis et Hodgkin, 1999).

Comme la mutation ou la recombinaison, la migration peut également être une source utile à de nouvelles variations pour l'agriculteur. La migration, suivie d'un croisement et d'une recombinaison, crée de nouvelles variantes qui peuvent s'intégrer aux variétés traditionnelles existantes ou peuvent créer de nouvelles formes. Une étude détaillée de Louette (1999) a révélé un profil de variétés de maïs (à la fois traditionnel et moderne) en constante évolution dans sept champs à Cuzalapa, au Mexique, pendant trois campagnes agricoles. Des réductions régulières de la taille effective de la population ont eu lieu dans une proportion de lots de semences avec la perte d'allèles rares. Louette a affirmé que si les agriculteurs avaient géré leurs lots de semences séparément les uns des autres, la diversité de certains lots de semences aurait diminué, entraînant une augmentation de la consanguinité et une perte du potentiel de production. Cependant, cela n'a pas été le cas, car la migration (l'introduction de nouvelles variétés) et les pratiques de gestion de l'agriculteur se sont combinées pour aboutir à l'introduction d'une nouvelle diversité et d'un flux de gènes important entre les variétés de maïs (Figure 4.2).

Dérive Génétique

Les fluctuations aléatoires des fréquences des gènes dans une population d'une génération à une autre donnent lieu à une dérive génétique. L'étendue de la dérive génétique dépend de la taille de la population; plus les populations sont petites, plus l'effet est important. En fin de compte, la dérive génétique conduira à la fixation d'allèles à n'importe quel locus, un processus qui se produira au hasard de sorte que dans deux ou plusieurs populations ou sous-populations, différents allèles puissent être fixés à n'importe quel locus particulier. La dérive génétique dans des sous-populations divisées peut donner lieu à de petits changements entre les populations, qui s'accumulent au fil des générations et donnent lieu à une différenciation génétique.

En biologie de la conservation, les effets potentiels de la dérive génétique sont plus évidents dans les très petites populations, c'est-à-dire les très petits échantillons, ou dans les goulots d'étranglement. Les deux principaux effets généraux sont la perte de variantes alléliques, particulièrement les plus rares et



Cycle court local: B = Blanco, N = Negro, AA = Amarillo Ancho, Ta = Tabloncillo, P = Perla.

Cycle long local: C = Chianquiahuitl.

Cycle long étranger: A = Amarillo, AR = Argentino, NX = Negro exotico, H = Hybrid.

Figure 4.2. Localisation des variétés de maïs dans sept champs observés au cours de trois campagnes agricoles (extrait de Louette, 1999, republié avec la permission de Lewis Publishers)

l'augmentation du niveau d'autofécondation (ou réduction de l'hétérozygotie). Au fur et à mesure que la taille d'une population ou d'un échantillon diminue, la perte de la richesse allélique ou l'érosion génétique devient évidente, et les effets de l'autofécondation prédominent au sein des minuscules populations. Cette théorie est à l'origine de la règle dite des 50-500, selon laquelle la taille minimale viable d'une population pour éviter l'autofécondation est de 50, et celle pour stopper l'érosion génétique est de 500. Éviter la dépression de consanguinité est une question d'adaptation immédiate et d'aptitude à la survie actuelle, et la richesse allélique est nécessaire à la capacité d'adaptation ou à la survie pour répondre aux futurs environnements. Le lecteur est invité à consulter des manuels de génétique des populations comme Frankham *et al.* (2010) pour en savoir plus sur ces sujets.

Biologie de la Reproduction

La biologie de la reproduction d'une plante fait référence aux différents mécanismes qui permettent à une plante de produire une descendance. Elle influence la façon dont la diversité génétique est répartie et se propage au sein

et entre les populations et constitue donc un processus clé dans la dynamique de la diversité à la ferme.

Systèmes de Sélection (Reproduction)

Les principaux systèmes de reproduction des plantes sont l'allogamie (fécondation croisée), l'autogamie (autofertilité) et la reproduction asexuée ou végétative (notamment l'apomixie, qui est une reproduction asexuée sans fécondation résultant d'une modification de la fonction sexuelle). Chez de nombreuses cultures, des systèmes de reproduction mixtes peuvent se produire bien que la sélection humaine ait généralement favorisé l'un par rapport à l'autre (par exemple, la production de semences chez les céréales ou la propagation clonale chez la pomme de terre). Le système de reproduction est influencé par la date de maturité, le déterminisme de la floraison, le mode de pollinisation et le degré de parenté entre les parents, ainsi que par des caractéristiques morphologiques ou biochimiques spécifiques (comme la monoécie = fleurs mâles et femelles sur la même plante comme chez le maïs, la dioécie = population végétale avec plantes mâles et femelles séparées comme la pistache ou les systèmes auto-incompatibles comme chez certaines cultures de *Brassica*). Les systèmes de reproduction des plantes cultivées aident à déterminer comment la diversité génétique sera structurée au sein et entre leurs populations, et affectent la façon dont une nouvelle diversité génotypique peut apparaître chez chaque espèce.

Les plantes ayant un degré d'autofertilité élevé sont appelées autofécondées ou autogames. Les plantes auto-incompatibles sont principalement des plantes allofécondées ou allogames. Les plantes à propagation asexuée ou végétative sont parfois appelées espèces clonales. En fait, les populations végétales présentent un large éventail de systèmes de reproduction. Ces systèmes sont flexibles et varient d'une population à l'autre et au fil du temps. Un exemple de ceci vient du pool génétique de la tomate (espèce *Lycopersicon*). La tomate cultivée (*L. esculentum*) et d'autres espèces sont autogames, tandis que certaines espèces sont totalement auto-incompatibles et donc allogames (par exemple, *L. chilense*). Cependant, pour certaines espèces, la situation est plus dynamique. Ainsi, *L. pinpinellifolium*, peut-être un ancêtre du cultigène. Il est autocompatible, mais avec 40 % de croisements au centre de sa distribution allongée, diminuant à 0 % à ses extrêmes. D'autres espèces de *Lycopersicon* (comme *L. hirsutum*) sont auto-incompatibles et génétiquement variables dans leurs populations centrales, mais autocompatibles dans des populations marginales et presque monomorphes.

Chez les espèces allogames, la reproduction sexuée entraîne la production d'individus avec de nouvelles combinaisons de gènes, et chaque individu est génétiquement unique. L'hétérozygotie moyenne de la population est conservée tandis que des individus présentant de nouvelles combinaisons d'allèles à différents loci sont générés. En revanche, les espèces autofertiles produisent une descendance chez laquelle chaque plante individuelle ne porte qu'une fraction des allèles variants aux loci pour lesquels sa plante parentale était hétérozygote. Ainsi, en moyenne, la moitié de l'hétérozygotie parentale est perdue. Avec le temps, ce processus fige la diversité dans des lignées isolées et limite considérablement le taux de génération de nouveaux génotypes multilocus. Par contre, les plantes à reproduction asexuée régénèrent l'ensemble de leur génotype multilocus, sauf dans le cas d'une mutation rare. Les populations végétales sont de taille limitée et un petit nombre de parents (comme chez les fondateurs ou les goulots d'étranglement après la sélection) peuvent se combiner à un système d'autoreproduction ou un système clonal pour réduire rapidement la diversité monolocus et multilocus.

Étant donné que la reproduction sexuée implique l'échange de matériel génétique, la connaissance du mode de reproduction d'une espèce constitue un facteur important pour comprendre le profil de la diversité génétique au sein d'une population. Par exemple, les populations des espèces allogames ont tendance à présenter des niveaux de diversité plus élevés au sein de leur propre population par rapport aux populations des espèces à prédominance autogames, qui sont plus susceptibles d'avoir proportionnellement plus de diversité génétique entre les populations. Hamrick et Godt (1997) résument les effets du système de reproduction sur la variation au sein et entre les populations de cultures, à partir d'une analyse des études sur les isozymes. Le tableau 4.6 présente un résumé comparatif des caractéristiques génétiques des trois principaux modes de systèmes de reproduction chez les plantes.

La reproduction asexuée est une caractéristique essentielle chez de nombreuses plantes cultivées, multipliées par des parties de racine, par des tubercules ou par des boutures. La pomme de terre, l'igname, la patate douce, la banane, le taro et la canne à sucre sont toutes des espèces à reproduction asexuée d'une importance mondiale majeure. La majorité des principales cultures fruitières sont multipliées par bouturage ou par ramification à partir de plantes «mères» sélectionnées, notamment la fraise, la pomme, l'abricot, le litchi et le ramboutan. Chez beaucoup de ces cultures, une certaine reproduction sexuée peut encore se produire, ce qui permet le développement de nouveaux types par recombinaison

TABEAU 4.6. EFFETS GÉNÉRAUX DES SYSTÈMES DE SÉLECTION VÉGÉTALE SUR LES PROPRIÉTÉS GÉNÉTIQUES DES POPULATIONS.

<i>Propriété génétique</i>	<i>Allogames</i>	<i>Autogames</i>	<i>Espèces clonales</i>
Niveau de polymorphisme au sein des populations	élevé	faible	limité
Richesse allélique	élevée	modérée	limitée
Hétérozygotie	élevée	faible à nulle	élevée
Génotypes distincts	les individus sont génétiquement uniques	nombre limité de génotypes multilocus	peu de génotypes ou des génotypes uniques
Recombinaison	élevée	limitée	aucune
Différences de population dans les niveaux de polymorphisme	limitées	élevées	faibles à extrêmes
Divergence de la population	limitée	marquée	faible à extrême
Réponse à la sélection maternelle	conservatrice, lente	purifiante, rapide	rigide, rapide
Migration	semences et pollen	structure multilocus	structure multilocus

et production de semences. Dans certaines régions des Andes, des clones et de véritables semences de pomme de terre sont exploitées par les agriculteurs et les sélectionneurs. Au Bénin, les agriculteurs maintiennent les clones d'igname préférés en replantant des sections de racines tout en introduisant en même temps du nouveau matériel provenant de la forêt environnante, et résultant de la reproduction sexuée. Chez le palmier dattier, la reproduction à partir de drageons permet aux agriculteurs de maintenir des génotypes spécifiques souhaitables, tandis que la germination spontanée à partir de semences abandonnées constitue une source de nouveaux génotypes à partir desquels un agriculteur peut sélectionner un nouveau phénotype attrayant.

Pollinisation

La pollinisation est le mouvement des grains de pollen de l'anthere vers le style. Alors qu'il ne dépend que de la gravité pour sa dispersion sur une distance supérieure à quelques mètres, le pollen peut être transporté par le vent peut se déplacer sur des distances beaucoup plus grandes. Dans certains cas, il a été signalé que du pollen transporté par le vent peut parcourir des centaines de kilomètres. Pour de nombreuses cultures, les insectes peuvent être un vecteur important de dispersion du pollen (Klein *et al.*, 2007) et ont été rapportés comme porteurs de pollen viable jusqu'à un kilomètre de son point d'origine.

Bien que le pollen puisse parfois parcourir de grandes distances, la plupart du temps la pollinisation se produit localement et la fécondation résulte généralement du pollen produit à proximité. La distance dépend en partie du système de reproduction de la culture en question. La recherche sur les distances d'isolement nécessaires pour produire des lignées de semences pures permet de mieux comprendre des limites extérieures d'une pollinisation réussie pour des cultures de différents systèmes de reproduction. Le mouvement du pollen chez les espèces à reproduction croisée est beaucoup plus important que chez les espèces autofertiles. Chez les cultures à reproduction croisée, une distance de 1.000 mètres est considérée comme une distance d'isolement sécuritaire. En revanche, la distance d'isolement sûre pour la plupart des espèces autofertiles est généralement d'environ 200 mètres et, chez les céréales, des distances de 20 mètres peuvent suffire.

Les divers mécanismes de dispersion du pollen (gravité, insectes, oiseaux, vent) dont dispose une plante peuvent avoir un impact important sur la distribution potentielle de la diversité génétique au sein et entre des populations végétales (Loveless et Hamrick, 1984). Contrairement aux espèces sauvages, la dispersion des gènes par le pollen, bien qu'elle soit localement importante chez les espèces allogames comme le maïs, demeure une force beaucoup plus faible que la dispersion par les semences. Les plantes cultivées se caractérisent par des systèmes élaborés de semences, impliquant des forces sociales et économiques au niveau local et une migration humaine à des échelles géographiques.

Dissémination des Graines

Chez les plantes qui se reproduisent sexuellement, divers mécanismes de dissémination des graines peuvent également affecter la distribution des graines. Les agents possibles de dissémination des graines comprennent la gravité, le vent, les eaux de crue et divers animaux, y compris l'action de l'Homme. Certaines formes de dissémination des graines peuvent transporter les graines sur de grandes distances depuis leur origine et peuvent avoir un effet significatif sur la migration et le flux de gènes entre les populations.

Chez la plupart des plantes cultivées domestiquées, en particulier celles où les graines constituent la principale partie utile de la plante, les formes naturelles de dissémination des graines sont négligeables par rapport aux formes de dissémination réalisées par l'Homme. En fait, la capacité naturelle des graines à se détacher facilement de l'épi ou de la panicule, un terme appelé «égrenage», a été perdue dans de nouveaux cas par la sélection des agriculteurs.

Les mouvements de cultures, de variétés et de populations gérés par l'Homme peuvent également avoir des effets secondaires inattendus lors du transfert du matériel vers de nouvelles situations ou destinations imprévues. Bien qu'elle soit souvent bénéfique et qu'elle occupe une place importante dans l'histoire de l'humanité, cette forme de dissémination peut parfois avoir des conséquences catastrophiques en raison de l'introduction d'un nouveau ravageur ou d'une nouvelle maladie associée, ou de l'introduction d'une nouvelle mauvaise herbe. Un exemple est l'introduction de la cochenille du manioc en Afrique (Nassar et Ortiz, 2007).

Pour les espèces sauvages, notamment les espèces apparentées aux plantes cultivées, les mécanismes naturels de dissémination des graines peuvent avoir un impact majeur sur la migration individuelle et la génétique des populations. Comme dans le cas du pollen, les systèmes de dissémination des graines qui reposent uniquement sur la gravité sont généralement limités aux zones qui entourent immédiatement la plante mère. D'autre part, les espèces dont les systèmes de dissémination sont explosifs ou plumeux dépendent souvent du vent pour une plus grande mobilité des géographiques. La plus grande mobilité des graines est potentiellement liée à différentes formes de dissémination animale, car les graines qui s'attachent aux oiseaux ou aux mammifères ou qui sont consommées par eux peuvent parcourir des centaines de kilomètres avant d'être déposées.

Conclusions

La diversité génétique observée, et qui constitue la base des moyens de subsistance des agriculteurs ainsi que l'objet des activités de conservation, résulte de l'interaction des forces sélectives avec la mutation, la recombinaison, le flux de gènes et la dérive génétique. La façon dont ces forces fonctionnent chez n'importe quelle culture dépend de la biologie de la culture, de l'environnement dans lequel elle se trouve et de la façon dont elle est utilisée et cultivée. Les méthodes de génétique des populations fournissent l'information nécessaire pour décrire les profils de diversité observés et pour élaborer et vérifier des hypothèses sur les facteurs qui sont les plus importants pour créer, maintenir ou affecter les profils observés. Dans le prochain chapitre, nous aborderons certaines des approches qui se sont avérées les plus utiles pour comprendre la diversité génétique des cultures et pour soutenir la conservation ou l'utilisation de la diversité génétique disponible.

Lectures Complémentaires

- Frankel, O. H., A. H. D. Brown, and J. J. Burdon. 1995. *The Conservation of Plant Biodiversity*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Gillespie, J. H. 2004. *Population Genetics: A Concise Guide*. Johns Hopkins University Press.
- Hamilton, M. B. 2009. *Population Genetics*. Wiley Blackwell.
- Hartl, D. L., and A. G. Clark. 2007. *Principles of Population Genetics*, 4th ed. Sinauer Associates.
- Hedrick, P. W. 2004. *Genetics of Populations*, 3rd ed. Jones and Bartlett.
- Laurentin, H. 2009. “Data analysis for molecular characterization of plant genetic resources”. *Genetic Resources and Crop Evolution* 56:277–92.
- Mohammadi, S. A., and B. M. Prasanna. 2003. “Analysis of Genetic Diversity in Crop Plants—Salient Statistical Tools and Considerations”. *Crop Science* 43 No. 4:1235–48.



Planche 4. La sélection, la taille de la population, et la biologie de la reproduction sont des facteurs importants qui déterminent le niveau et les profils de diversité des cultures. Certaines plantes comme la grenade sont caractérisées à la fois par des fleurs hermaphrodites (bisexuelles) et des fleurs fonctionnellement mâles sur la même plante, une condition appelée andromonécie. Le flux de gènes de migration, qu'il soit délibérément géré ou accidentel, a une influence importante sur les variétés traditionnelles des cultures, en particulier chez les cultures à pollinisation croisée comme le maïs. En haut à gauche: variétés de maïs en Equateur avec des périodes de floraison différentes, ce qui permet de les maintenir distinctes en réduisant les chances de croisement entre elles. En haut à droite: Un agriculteur ouzbek examine des grenades en vue d'une sélection. En bas à gauche: différentes tailles de parcelles pour les variétés traditionnelles de riz—une culture autogame—affectant la taille de la population des variétés à Jumla au Népal. En bas à droite: des chercheurs interrogent un agriculteur marocain dans son champ de fève, une culture partiellement allogame, où les niveaux de pollinisation croisée peuvent dépendre de la variété cultivée et de l'environnement. Crédits photos: C. Fadda (en haut à gauche), M. Turdieva (en haut à droite), D. Jarvis (en bas à gauche), A. H. D. Brown (en bas à droite).



CHAPITRE 5

Mesure de la Diversité des Cultures

Ce chapitre traite les différents types d'informations qui décrivent l'étendue et la distribution de la diversité génétique des cultures. Les méthodes par lesquelles les données sont obtenues et analysées sont aussi décrites. Certains des problèmes courants susceptibles d'être rencontrés pour obtenir, analyser et interpréter les données sont également identifiés.

À la fin de ce chapitre, le lecteur devrait comprendre les points suivants:

- Les méthodes de description de l'étendue et de la distribution de la diversité au sein de la culture à la ferme en utilisant les noms des variétés, les traits agromorphologiques, et les marqueurs biochimiques et moléculaires.
- Les méthodes de travail avec les agriculteurs pour obtenir les informations et les données sur l'étendue et la distribution de la diversité.
- Les différentes façons d'analyser les données sur la diversité génétique et de rassembler les informations sur l'ensemble de données; la relation entre les noms attribués par les agriculteurs aux variétés et les identités; les descriptions des traits données par les agriculteurs et les utilisations de ces variétés ainsi que la structure génétique.

Cultures et Variétés Végétales dans les Systèmes de Production

Toute variété végétale, cultivée par un agriculteur et présente dans un paysage agricole particulier, existe dans un contexte plus large du système de production. Elle est cultivée en même temps que d'autres cultures et variétés, le plus souvent avec du bétail, et accompagnée d'autres espèces végétales qui

fournissent les haies vives, les bois de chauffage, les matériaux de construction, les médicaments et autres produits utiles. Ce contexte plus large, associé à la nature de l'environnement de production, influence la quantité et le type de terre disponible pour une culture, les pratiques culturelles et le calendrier de production, ainsi que les variétés cultivées.

Différentes cultures et variétés seront utilisées dans différentes situations à la ferme, en fonction de facteurs tels que la qualité de la terre et la disponibilité de la main-d'œuvre. Un exemple courant est la différence trouvée dans les types de variétés de cultures qui peuvent être cultivées dans les jardins familiaux ou les champs de culture. Toute analyse de la diversité des cultures doit prendre en compte ce contexte plus large. Elle doit également bien tenir compte des perspectives des différents types d'agriculteurs (hommes et femmes, agriculteurs riches et pauvres, jeunes ou vieux) en ce qui concerne l'importance des différentes cultures, du bétail et des autres espèces qu'ils maintiennent et utilisent.

Les caractéristiques du système de culture auront également un effet majeur sur les variétés que les agriculteurs choisiront de cultiver. Ainsi, la culture itinérante, sous toutes ses formes, implique l'utilisation de cultures et de variétés adaptées aux différentes phases du cycle de défrichage, de culture et de régénération naturelle. Dans de nombreuses régions du monde, différentes variétés ont tendance à être préférées pour différentes saisons de culture (voir chapitre 6). Par exemple, les agriculteurs peuvent cultiver différentes variétés d'orge pendant les deux saisons *mehir* (longues pluies) et *belg* (courtes pluies) au Tigré, en Éthiopie (Hadado et *al.*, 2009). Dans une grande partie de l'Inde et du Népal, différentes cultures et variétés sont cultivées durant les saisons *kharif* et *rabi*, reflétant la disponibilité de l'eau et d'autres caractéristiques distinguant les deux saisons.

Dans toute enquête ou programme de travail visant à soutenir l'utilisation des variétés traditionnelles à la ferme, il est utile d'inclure un certain nombre de cultures différentes permettant de fournir une image du système de production dans son ensemble. Le choix de cultures de différentes catégories (par exemple, céréales, légumineuses à graines, graines oléagineuses, légumes et fruits) reflétant les pratiques agricoles, les besoins des utilisateurs, les perspectives économiques et les caractéristiques biologiques, est important pour déterminer pourquoi des profils spécifiques de diversité existent ou des décisions spécifiques sont prises.

Exploration de l'Étendue et de la Distribution de la Diversité

Les informations sur l'étendue et la distribution de la diversité génétique d'une culture dans n'importe quelle zone peuvent provenir de différentes sources qui fournissent des informations complémentaires sur l'organisation de la diversité. Celles-ci incluent l'identité variétale (illustrée par des noms ou des unités séparées ou distinctes d'une culture qu'un agriculteur reconnaît dans sa gestion), les modes de distribution des traits agromorphologiques ou des caractères visibles, ainsi que la gamme et les schémas de variation des caractéristiques biochimiques ou moléculaires, ou «marqueurs». Aucune de ces sources n'est complète en soi, et chacune fournit des informations précieuses utiles pour comprendre comment les agriculteurs et les communautés gèrent la diversité génétique des cultures.

Structure et Noms des Variétés

La compréhension de l'étendue et de la distribution de la diversité génétique d'une culture dans n'importe quelle région commence par des enquêtes auprès des agriculteurs quant à la sélection de leur matériel végétal de plantation (semences, tubercules ou autres propagules) utilisé pour cette culture. Une première étape de ce processus consiste à comprendre la structure de la variété. Comment les agriculteurs locaux comprennent-ils l'unité de diversité, la variété identifiable ou le groupe de variétés? Quelles sont les caractéristiques de la culture qui sont importantes dans la gestion de la diversité variétale? Quels caractères sont associés à l'identité de la variété? Quelles pratiques affectent le maintien et l'échange de matériel?

Les réponses à ces questions nécessitent une exploration des aspects physiques du système de production (eau, sol, etc.), des aspects socio-économiques et culturels (notamment l'appartenance ethnique, le sexe, le revenu, la caste et la classe), et des aspects géographiques (la manière avec laquelle l'agriculteur, la communauté et le paysage sont liés), ainsi que l'étude plus directe de la manipulation du matériel végétal de plantation et de la manière avec laquelle les agriculteurs gèrent leurs cultures. Ces enquêtes visent à comprendre la façon avec laquelle les agriculteurs des communautés reconnaissent et utilisent leurs variétés. Toutes ces informations sont mieux obtenues en utilisant une série d'approches participatives différentes, dans lesquelles les agriculteurs et leur communauté sont pleinement impliqués dans le processus de collecte d'informations et sont reconnus comme la source ultime d'informations nécessaires (voir aussi Susskind et *al.*, 2012 pour une évaluation critique de certaines questions générales associées aux approches participatives).

Les noms peuvent refléter un ensemble de propriétés différentes associées à une variété, telles que:

- La source d'origine du matériel (par exemple : le nom d'un agriculteur, d'une région ou de la station expérimentale à partir de laquelle il a été obtenu).
- La morphologie de la plante (par exemple, la couleur, la forme, le type de croissance, la hauteur).
- Les performances agronomiques de la variété (par exemple, le temps de floraison, la précocité et les capacités de rendement).
- L'adaptation de la variété à des facteurs environnementaux particuliers (par exemple, le type de sol, la résistance à des maladies particulières).
- L'utilisation du matériel (par exemple un temps de cuisson rapide, le goût, l'aptitude à servir de paille ou de fourrage, les rôles religieux ou cérémoniels).

Les agriculteurs perçoivent et utilisent également des traits descriptifs à différents stades du développement d'une plante, du stade graine, en passant par les stades plantule et floraison jusqu'au stade fructification pour identifier et nommer les variétés. Ainsi, les caractéristiques que les agriculteurs utilisent pour identifier et maintenir les variétés traditionnelles sont souvent complexes et interdépendantes, car une variété est généralement définie par une combinaison de critères agromorphologiques. Souvent, les noms donnés par les agriculteurs aux variétés reflètent directement des traits spécifiques, comme les variétés d'éleusine (*Eleusine corocana*) dans la province du Tigré en Ethiopie, nommées en fonction de la couleur de leur graine: rouge (keyih), blanc (tsa'ada) ou noir (tselim) (Teshaye et al., 2005). Cependant, Les noms locaux des cultures peuvent également être métaphoriques, comme la variété de maïs nal-t'eel, dont le nom signifie «maïs coq» dans la langue des agriculteurs mayas qui le cultivent dans le sud du Mexique, il s'agit d'une référence évocatrice du statut de la variété en tant que premier maïs à mûrir dans la région.

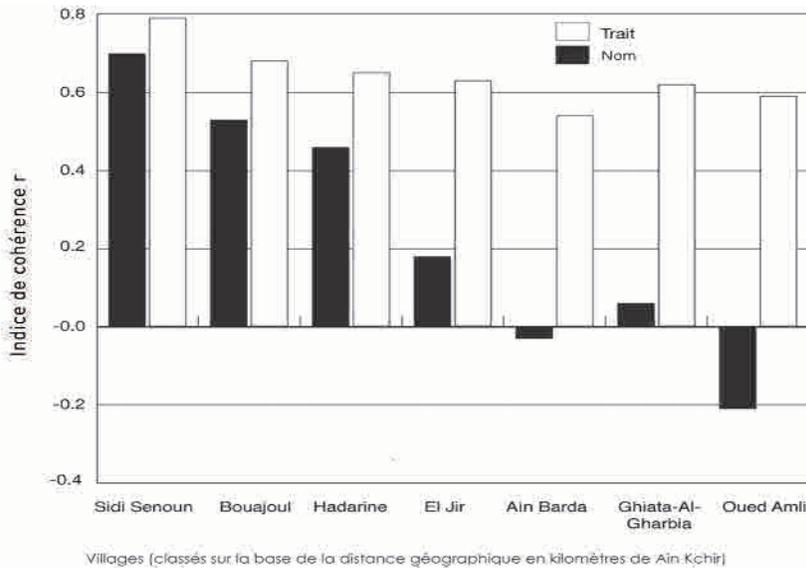
Les caractéristiques que les agriculteurs préfèrent ou apprécient le plus chez une variété donnée ne sont pas nécessairement les mêmes que celles utilisées pour la nommer. Par exemple, les caractéristiques que les agriculteurs apprécient chez une variété peuvent être plus liées aux aspects agronomiques (par exemple, le rendement ou la résistance à la sécheresse) ou à l'utilisation (par exemple, la cuisson ou la qualité du fourrage), alors que le vrai nom de la

variété fait référence à ses propriétés visuelles (par exemple, la couleur ou la forme). Les noms peuvent changer avec le temps. Une variété nouvellement introduite peut être nommée d'après sa source ou la personne qui l'a introduite mais, au fur et à mesure de sa mise en place, elle acquiert un nom associé à ses caractéristiques (Nuitjen et Almekinders, 2008). En Ouganda, de nouveaux clones de bananes peuvent arriver dans un village sans leur nom d'origine et se voir attribuer un nouveau nom par la suite. Différents groupes ethniques peuvent changer le nom d'une variété après avoir commencé à la cultiver. Essayer de comprendre comment les variétés ont acquis leurs noms et de savoir si tous les groupes d'une communauté utilisent ou perçoivent un nom de la même manière constitue une partie importante de l'identification de la structure variétale. Les agriculteurs d'âges, de genres ou de catégories économiques différentes peuvent apprécier les caractéristiques d'une variété particulière de différentes manières, ce qui peut se refléter dans les dénominations variétales.

Cohérence des Noms de Variétés

Un défi commun rencontré dans l'étude de la structure et de l'identité des variétés consiste à démêler la façon dont les agriculteurs utilisent les noms pour leurs variétés (voir Sadiki et *al.*, 2007 pour une discussion plus complète). D'un foyer à l'autre, d'un village à l'autre et d'une région à l'autre, les agriculteurs peuvent ou non être cohérents dans la façon dont ils nomment et décrivent la même variété, et les noms de variétés peuvent changer avec le temps. Le nom d'une variété peut être utilisé de manière constante dans tout le village mais peut changer au niveau régional. Par exemple, les noms des variétés de fève dans différents villages voisins au Maroc ont été comparés à la cohérence des traits agromorphologiques utilisés pour les distinguer. Les noms et les traits utilisés dans le village d'Ain Kchir ont été pris comme données de référence. Les noms ont changé plus rapidement que les traits agromorphologiques utilisés pour distinguer les différentes variétés sur la même distance (Figure 5.1).

Par ailleurs, une variété peut avoir plusieurs noms au sein d'un même village, et ces noms se répètent essentiellement de manière cohérente au niveau régional d'une communauté à l'autre. Il arrive qu'un même agriculteur utilise des noms différents pour la même variété, en fonction du contexte de la conversation et de l'information transmise. Comme indiqué ci-dessus, au sein d'une communauté, l'utilisation de noms particuliers peuvent varier en fonction de variables sociales particulières, telles que le genre, l'âge et l'appartenance ethnique des agriculteurs. Le fait de démêler les facteurs qui peuvent affecter



¹ Coefficient de corrélation entre r (indice de cohérence) et d (distance en km de Ain Kchir aux sept autres villages) pour les noms et les traits = -0,537 et -0,173, respectivement ; degré de signification de la corrélation pour les noms et les traits = 0,002 et 0,280, respectivement.

Figure 5.1. Cohérence du nom chez la fève (*Vicia faba*) au Maroc et chez le sorgho (*Sorghum bicolor*) au Burkina Faso (d'après Sadiki *et al.*, 2007, avec la permission de Bioversity International)

l'utilisation du nom lui-même peut être informatif sur la gestion de la diversité. Sawadogo *et al.* (2005b) ont constaté que les noms de variétés de sorgho étaient liés à la morphologie de la plante (par exemple la hauteur, la forme, la couleur, la taille du grain et les caractéristiques de la glume) à l'agronomie (par exemple, le cycle de croissance, les dates de floraison), à l'adaptation à l'environnement (par exemple, la tolérance à la sécheresse, la résistance aux maladies et aux ravageurs), et aux utilisations (par exemple, la qualité de la cuisson, le goût). Des différences dans les noms attribués aux variétés ont eu lieu dans les deux villages enquêtés, jusqu'à quatre noms ont été utilisés pour certaines variétés. Bien que certaines variétés n'aient été cultivées que dans un seul site, elles étaient connues dans l'autre site, où elles portaient des noms différents. Les différences linguistiques étaient également importantes pour expliquer la différence dans les noms utilisés.

Certains enquêteurs ont attiré l'attention sur des incohérences dans la dénomination de certaines variétés traditionnelles de cultures dans une région, en soulignant le «manque de cohérence» entre les agriculteurs et les communautés dans l'utilisation des noms, et la faible corrélation avec d'autres marqueurs

génétiques comme raisons de la méfiance des analyses basées sur l'utilisation des noms. Toutefois, les noms des variétés constituent une unité de gestion de la diversité des cultures avec un contenu génétique et culturel, et une conséquence de sélection et d'évolution. Les noms fournissent un moyen informatif pour comprendre l'utilisation de la diversité par les agriculteurs (Brown, 1999; Jarvis et *al.*, 2007b). Toute enquête devrait impliquer l'exploration de la manière dont les agriculteurs utilisent les noms. Un autre aspect concernera la mesure dans laquelle les variétés, portant le même nom, partagent des caractéristiques agromorphologiques autres que celles pouvant être utilisées comme identifiants de la variété. Une dernière dimension serait d'explorer le degré de cohérence entre les résultats des marqueurs protéiques ou d'ADN et les caractéristiques agromorphologiques ou les traits des variétés de cultures définis par les agriculteurs.

Agromorphologie—Caractérisation et Evaluation

Les caractéristiques agromorphologiques comprennent les traits facilement observables chez une culture (par exemple : orge à six rangs ou à deux rangs; des graines rouges, noires, ou blanches chez l'éleusine; ou les types courts par rapport aux types hauts) ainsi que toutes les caractéristiques quantitatives associées à la production contribuant directement au rendement (taille et nombre des graines par plante chez les cultures céréalières, taille et nombre de tubercules récoltés chez la pomme de terre ou le taro, etc.). Les traits agromorphologiques incluent également toute une série de variables associées à la production, telles que le nombre de jours jusqu'à la maturité, la résistance aux maladies et aux ravageurs, et la tolérance aux stress abiotiques tel que le gel, la sécheresse ou l'excès d'eau. Ce sont des caractères plus ou moins héréditaires et peuvent être caractéristiques de variétés spécifiques ou peuvent varier indépendamment de la variété.

Caractérisation et évaluation

Les personnes travaillant sur les ressources génétiques distinguent souvent entre la caractérisation et l'évaluation. Dans l'usage de ces termes, la caractérisation fait référence à des traits qui sont, plus ou moins, simplement héréditaires et qui présentent peu de variation avec l'environnement, et qui peuvent donc être mesurés ou observés directement sur des plantes cultivées dans n'importe quel environnement (comme la couleur de la fleur, la couleur de la graine ou la détermination de la croissance). Idéalement, ces traits permettent un diagnostic et ne sont pas particulièrement affectés par l'environnement.

L'évaluation porte généralement sur des traits quantitativement héritables et qui varient souvent considérablement en fonction de l'environnement. Ce sont généralement les traits associés au rendement, à la qualité du produit, à la performance, et à la tolérance aux stress biotiques et abiotiques, sous un contrôle génétique plus ou moins complexe.

La mesure empirique et l'analyse des caractères agromorphologiques, ainsi que la collecte et l'analyse d'autres données génétiques, sont importantes pour comprendre comment les traits individuels des plantes, et les groupements de traits qui sont utilisés pour identifier les variétés traditionnelles, sont sélectionnés et gérés par les agriculteurs. La caractérisation agromorphologique et l'évaluation des variétés intéressent directement aussi bien les sélectionneurs de plantes que les agriculteurs. Bien que cela prenne du temps, la collecte et l'analyse de traits agromorphologiques sont souvent relativement peu coûteuses et simples comparées à d'autres moyens de mesure de la diversité génétique.

Essais à la ferme et en station expérimentale

Il est souhaitable qu'une partie de la mesure et de l'analyse de la variation agromorphologique soit réalisée conjointement par les chercheurs et les agriculteurs. Cette collaboration permet non seulement de comprendre comment les variétés sont décrites et appréciées par les agriculteurs, mais aussi de s'assurer que les chercheurs comprennent comment les agriculteurs perçoivent les différents traits et leur importance relative, ainsi que les états de caractère qu'ils reconnaissent et considèrent comme pertinents. Lorsque les agriculteurs disposent de terres et sont en mesure de les intégrer dans leurs pratiques culturales normales, des essais locaux portant sur différents échantillons ou variétés peuvent être planifiés et combinés à une caractérisation préliminaire des variétés dans les champs où elles sont cultivées, c'est-à-dire dans le cadre d'essais à la ferme gérés par les agriculteurs. Les principes de base d'un essai à la ferme sont les suivants (1) utiliser un champ choisi par l'agriculteur, (2) semer à un moment où l'agriculteur le fait normalement, et (3) gérer l'essai de la même manière qu'un agriculteur gère habituellement sa propre culture (Mutsaers et *al.*, 1997).

Les manières avec lesquelles les essais à la ferme sont conduits dépendent clairement de la disponibilité de la terre et de la main-d'œuvre, ainsi que des pratiques propres aux agriculteurs et de leurs intérêts. Cependant, des essais de culture dans différentes fermes en utilisant une sorte de répétition ou de dispositif parcellaire, améliorent la valeur des résultats obtenus. Généralement, trois ou plusieurs fermes séparées, situées dans différentes parties de la communauté,

sont nécessaires car elles montrent les différences entre les variétés dans les différents micro-environnements; elles permettent également une assurance contre les événements aléatoires tels que les inondations, les glissements de terrain ou d'autres perturbations qui pourraient détruire un ou plusieurs essais.

Un certain nombre d'échantillons ou de populations collectés de chez différents agriculteurs et appartenant aux variétés les plus courantes (pour couvrir la gamme de diversité de ces variétés) devraient être inclus. Même pour les variétés rares, au moins deux populations prélevées auprès de différents agriculteurs devraient être utilisées lorsqu'elles existent: Cependant, la clé de tous les essais à la ferme est d'inclure des «témoins», c'est-à-dire des variétés améliorées avec des caractéristiques connues par les chercheurs et qui sont sélectionnées en fonction des objectifs spécifiques de l'essai. Par exemple, si l'idée est d'examiner les niveaux de résistance aux maladies ou aux ravageurs, des témoins à la fois sensibles et résistants devraient être placés afin de contrôler la pression exercée par la maladie ou les insectes. Souvent, dans le cas de variétés rares, il se peut qu'il n'y ait pas assez de semences, et les variétés doivent donc d'abord être multipliées au cours d'une précédente saison de culture. Les essais à la ferme fournissent également aux agriculteurs des informations sur la performance comparative des variétés dans leurs propres conditions et dans le même type d'environnement de production (Snapp, 2002; Virk et Witcombe, 2008; Lammerts van Bueren et Myers, 2011).

Les essais au champ dans une station expérimentale ou un site proche complètent un ensemble d'essais à la ferme. Ces essais sont effectués dans des conditions plus contrôlées qu'à la ferme. Ils sont également susceptibles d'inclure un dispositif d'essai randomisé avec plus de répétitions, des parcelles plus grandes, un dispositif en parcelles divisées (split plot) avec différents traitements, ou des dispositifs alternatifs adaptés aux objectifs de l'essai, et à la mesure de variables supplémentaires ainsi qu'un plan de travail structuré pour la mesure des traits. Les agriculteurs devraient être invités à assister à ces essais chaque fois que c'est possible et à évaluer eux-mêmes le matériel. Quelles que soient les procédures utilisées, tous les essais devraient être conduits de telle façon qu'une analyse statistique des données quantitatives soit possible en utilisant une répétition et des témoins appropriés. Les méthodes qui peuvent être utilisées à cet effet, aussi bien à la ferme qu'en station expérimentale, ont été décrites par Mutsaers *et al.* (1997) et peuvent également être consultées dans le *Bulletin Technique* n° 4 de l'IPGRI (IPGRI, 2001).

Les essais à la ferme et en station constituent un moyen important pour valider les informations obtenues lors des discussions de groupes et des entretiens conduits sur l'identité et les caractéristiques des différentes variétés. Les essais d'identification visant à documenter les critères que les agriculteurs utilisent pour décrire leurs variétés locales peuvent être organisés de façon collaborative en semant plusieurs rangées de chaque variété de culture dans une parcelle de démonstration sans que les agriculteurs sachent quelles variétés ont été utilisées ou l'endroit où elles ont été semées. Un échantillon d'agriculteurs peut ensuite être invité à identifier les variétés à plusieurs stades de croissance de la plante: plantules ou plantes immatures; plantes en floraison; plantes à maturité des fruits, des épis, ou des hampes florales; et fruits, graines ou matériel de reproduction végétative post-récolte.

La sélection (consciente ou inconsciente) par les agriculteurs peut inclure des traits agromorphologiques importants pour la productivité et l'utilisation, ainsi que des traits associés à l'identité d'une variété. Au cours du processus de sélection, de nouveaux traits sont souvent identifiés (le résultat d'une mutation, un flux de gènes, ou une recombinaison), et ceux-ci peuvent être retenus ou rejetés en fonction de leur pertinence ou de leur valeur potentielle perçue. Il existe de nombreux exemples dans la littérature relatifs à des agriculteurs ayant détecté et conservé de nouveaux types qui semblent répondre à leurs besoins (Richards et Ruivenkam, 1997).

Les procédures de collecte des données sur les caractères agromorphologiques sont standard et peuvent être suivies aussi bien pour les essais à la ferme que pour les essais au champ dans des stations expérimentales (bien que dans ces derniers cas, beaucoup plus de données soient souvent collectées). Elles consistent en une prise des mesures physiques des caractéristiques de la plante (généralement la morphologie, la phénologie, la performance et la résistance aux ravageurs et maladies). Les caractéristiques morphologiques comme la taille de la graine, la couleur du fruit ou la longueur de la feuille peuvent être mesurées directement. L'évolution phénologique du développement des feuilles, des fleurs et des fruits peut être tracée sur une saison de croissance pour quantifier des variables telles que le temps nécessaire à la première floraison ou à la maturation des fruits. Concernant les traits liés à la performance, ils comprennent le nombre et la taille des graines ou d'autres parties productives de la plante.

Observation directe dans les champs des agriculteurs

Il est souvent utile de mesurer directement des traits spécifiques dans les champs des agriculteurs. Cela permet d'évaluer des caractéristiques telles que la sévérité des ravageurs et des maladies, la période de floraison ou de maturité, ou le nombre de talles. Par exemple, la période de floraison peut être déterminée en observant le nombre de plantes en floraison dans un champ chaque jour à partir de la date de floraison de la première plante jusqu'à ce que 50 % des plantes fleurissent. Les méthodes dont les attaques par des ravageurs et maladies peuvent être évaluées sont illustrées dans le chapitre 7. Il est important de noter qu'il s'agit d'observations sans répétition, et que les valeurs obtenues peuvent être considérablement affectées par des facteurs environnementaux. La réalisation de ces observations dans plusieurs champs contrastés fournit une certaine estimation de l'importance de la variation de l'environnement dans une localité donnée.

Essais sous serre et au laboratoire

Bien que la plupart des traits agromorphologiques soient évalués par des essais aux champs, certains peuvent être mieux testés en serre ou au laboratoire. Les chambres de culture sont utilisées pour caractériser et évaluer les populations végétales dans des conditions physiques contrôlées (par exemple, différents niveaux de salinité, température, humidité et CO₂). Les tests de certains agents pathogènes spécifiques nécessitent souvent des essais répétés sous serre en utilisant des races d'agents pathogènes définies (voir chapitre 7). Une étude au laboratoire sur la résistance différentielle aux charançons des variétés traditionnelles éthiopiennes de sorgho a révélé que les profils de sensibilité à l'infestation par le charançon, dans des conditions de laboratoire, étaient fortement corrélés avec les catégorisations faites par les agriculteurs concernant la sensibilité des variétés (Teshome et *al.*, 1999). Dans un certain nombre d'instituts de pointe, des installations spécifiques de phénotypage ont été développées, permettant une détermination beaucoup plus précise de traits spécifiques dans des conditions hautement contrôlées. Il s'agit généralement d'une analyse de populations en ségrégation associée à des études de génétique moléculaire.

Les analyses nutritionnelles ou bromatologiques constituent un moyen pour distinguer les variétés en fonction de leur teneur en macronutriments spécifiques (glucides, protéines et lipides) et en micronutriments (vitamines et oligo-éléments). Des variations considérables ont été décrites dans la composition du bêta-carotène chez les patates douces, des caroténoïdes chez le

maïs et de la phytase, un inhibiteur d'absorption du fer et du zinc chez l'orge (Frison et *al.*, 2006; Bohn et *al.*, 2008). Chez les variétés traditionnelles et améliorées de riz collectées en Asie, une variation importante de la composition en nutriments a été observée pour les protéines, le fer, le zinc, le calcium, la thiamine, la riboflavine, la niacine et l'amylase. Ces études ont montré que certaines variétés de riz contiennent 2,5 fois plus de fer et 1,5 fois plus de zinc que les autres variétés. La majorité des variétés situées à l'extrémité supérieure du spectre étant des variétés traditionnelles et celles situées à l'extrémité inférieure ont tendance à être des variétés modernes à haut rendement (Kennedy et Burlingame, 2003). L'analyse des nutriments peut valider les connaissances des agriculteurs concernant les propriétés nutritionnelles bénéfiques de variétés particulières, mais peut également identifier des avantages nutritionnels qui sont moins évidents pour les agriculteurs et les consommateurs.

Choix et Analyse des Données

Bien qu'il puisse sembler y avoir un grand nombre de variables ou de traits potentiels qui pourraient être analysés, un choix basé sur le point de vue de l'agriculteur concernant les variables importantes, associé à la liste essentielle du chercheur, permettra d'obtenir un nombre gérable pour l'analyse. Les listes de descripteurs élaborées par Bioversity et ses partenaires pour un grand nombre de cultures fournissent des listes de vérification utiles pour les caractères connus pour leur variation au sein d'une culture donnée et peuvent servir de guide pour choisir ce qui est pertinent pour toute enquête spécifique (<http://www.bioversityinternational.org/browse—by/tag/descriptors>). Ces listes devraient être utilisées avec discernement mais sont utiles dans la mesure où elles fournissent une manière standard de description et de mesure des caractères choisis pour toute étude.

Lorsque les valeurs d'un grand nombre de variables sont collectées, il peut s'avérer utile d'appliquer diverses méthodes statistiques telles que l'ordination pour analyser les résultats. Le nombre de caractères agromorphologiques à collecter peut-être réduit par des méthodes statistiques telles que l'ordination (voir chapitre 6). Au Mexique, l'Analyse en Composantes Principales (ACP) a été utilisée pour déterminer que sept caractères agromorphologiques expliquaient 85 % de la variabilité rencontrée chez 15 variétés de maïs (Arias et *al.*, 2000).

De nombreux travaux peuvent être utilisés pour orienter la conception des études agromorphologiques et l'analyse des données qui en résultent. Il s'agit notamment de Mead et *al.* (2003) sur les méthodes statistiques générales en

agriculture et en biologie expérimentale, de Wildi (2010) qui couvre l'analyse des données en écologie végétale, et de Dunn et Everitt (2004) pour l'application de l'ordination à la caractérisation variétale. Mutsaers et *al.* (1997) est également utile, en particulier pour l'analyse des expérimentations à la ferme.

Variation Biochimique

Les variétés de nombreuses cultures diffèrent souvent par leurs traits biochimiques. Ceux-ci incluent la variation des métabolites secondaires, tels que les différents niveaux de glucosinolates chez les Brassicacées, les différentes compositions en sucre et en amidon chez différentes variétés de maïs ou de sorgho, et les différentes quantités de facteurs antinutritionnels chez le manioc. Souvent, l'analyse de cette variation dépasse le domaine des acteurs impliqués dans la conservation à la ferme, mais il peut y avoir des situations (comme pour les facteurs antinutritionnels chez *Lathyrus sativus* [gesse commune ou khesari dhal]) où ils sont directement importants soit pour la santé de la communauté locale, soit pour la résistance aux maladies, et qui méritent donc d'être étudiés.

Un certain nombre de techniques sont disponibles pour détecter la variation génétique dans les types et les quantités de diverses protéines végétales. Par exemple, la variation de la séquence des acides aminés dans différentes formes d'enzymes végétales (isozymes) présentes chez différentes plantes et héritées en tant qu'allèles alternatifs (allozymes) peut être visualisée par électrophorèse. Pendant de nombreuses années, lors des années 1980 et 1990, la variation des isozymes a fourni une méthode clé pour analyser la variation chez les populations végétales. Hamrick et Godt (1997) ont utilisé les données sur les isozymes compilées à partir de la littérature pour comparer la variation chez les espèces autopolinisées et celles à pollinisation croisée, ainsi que chez les espèces cultivées et sauvages, ce qui donne un bon aperçu sur l'utilisation de cette approche. L'utilisation de variantes génétiques dans les protéines et les isozymes de stockage dans les graines a largement cédé la place à des méthodes moléculaires basées plus directement sur la variation de séquence d'ADN. Pourtant, les techniques les plus anciennes peuvent jouer un rôle, par exemple dans l'identification des variétés, l'analyse du système de croisement, ou des situations où les équipements moléculaires sont limités ou inexistantes.

Variation Génétique Moléculaire

Les méthodes moléculaires sont de plus en plus utilisées pour étudier la variation génétique. Ces méthodes permettent de détecter la variation dans la

séquence d'ADN. Au cours des vingt dernières années, un nombre croissant de techniques sont devenues disponibles et leur utilisation dans l'analyse de la génétique des plantes et de la diversité génétique a fait l'objet de nombreuses revues et manuels différents. Actuellement, il existe des études complètes comprenant Semagn *et al.* (2006) et Agarwal *et al.* (2008). Le site Web de Bioversity International donne accès à un module d'apprentissage en deux volumes: http://www.bioversityinternational.org/training/training_materials/using_molecular_marker_technology_in_studies_on_plant_genetic_diversity_vol_1.html et http://www.bioversityinternational.org/training/training_matériaux/analyse_de_diversite_genetique_avec_molecular_marker_data_learning_module_volume_t.html.

La plupart des méthodes couramment utilisées en génétique des populations et dans l'analyse de la diversité génétique font appel à la «variation anonyme» c'est-à-dire à la variation sur des loci dont la fonction biologique spécifique, si elle existe, est inconnue. Cependant, la disponibilité croissante d'informations sur la localisation et la séquence de gènes spécifiques fournit maintenant des indications sur la variation pouvant être associée à des régions spécifiques du génome ou à des enzymes spécifiques, des protéines, des voies métaboliques, et même des traits. Au fur et à mesure que des séquences complètes deviennent disponibles pour un certain nombre de plantes cultivées (voir <http://ncbi.nlm.nih.gov/genomes/PLANTS/PlantList.html> pour des informations sur la disponibilité des séquences génomiques des plantes), et avec l'apparition et l'utilisation croissante des techniques de séquençage de nouvelle génération (voir, par exemple, Egan *et al.*, 2012), ainsi que des méthodes qui fournissent des informations sur les ESTs (Marqueurs de Séquences Exprimées), les façons dont les technologies moléculaires peuvent être utilisées pour étudier la variation chez les plantes cultivées vont probablement continuer à évoluer et à se développer rapidement.

Le choix du marqueur moléculaire le plus approprié dépend d'un certain nombre de facteurs différents, dont l'espèce étudiée et le but de l'étude. Ainsi, une étude visant à identifier la parenté d'individus dans une population ou à développer un profil génétique d'une culture diffère de celle visant la reconstruction des relations évolutives entre les variétés et les espèces cultivées. Aux niveaux intraspécifique et intrapopulation, qui sont les échelles de recherche les plus utilisées pour les études de conservation à la ferme, les meilleurs marqueurs sont ceux caractérisés par une spécificité du locus génétique, une codominance, un polymorphisme élevé, une distribution aléatoire et fréquente dans tout le génome et des niveaux élevés de reproductibilité. La

connaissance des caractéristiques des différents systèmes de marqueurs et de leur comportement génétique aide à l'interprétation des résultats obtenus à partir des études moléculaires.

La technique du polymorphisme de longueur des fragments de restriction, développée au cours des années 1960, a été la première méthode de marquage moléculaire ayant permis de détecter le polymorphisme d'ADN. L'ADN de différentes plantes, digéré par des endonucléases de restriction, a fourni des profils de fragments d'ADN différents, selon le polymorphisme présent au niveau des emplacements des séquences d'ADN clivées par les endonucléases. La technique était robuste mais nécessitait des quantités relativement importantes d'ADN de bonne qualité. L'invention de la technologie de la réaction de polymérisation en chaîne (PCR) a conduit au développement d'un grand nombre d'approches différentes pour la génération des marqueurs moléculaires, qui sont divisés en deux classes: (1) les techniques basées sur la PCR en utilisant des amorces arbitraires ou les techniques à séquence non spécifique, et (2) les techniques basées sur la PCR en utilisant des amorces à séquence ciblée (Agarwal et *al.*, 2008). Le tableau 5.1 présente certaines des techniques les plus courantes qui ont été utilisées dans l'analyse de la diversité génétique des plantes cultivées et donne quelques exemples de leur utilisation.

Parmi les techniques basées sur la réaction de polymérisation en chaîne (PCR), les microsatellites (SSR), le polymorphisme de conformation des acides nucléiques simple brin (SSCP), les séquences polymorphes amplifiées et clivées (CAPS), et le séquençage direct de l'ADN sont les plus populaires, masquant l'utilisation de la technique la moins fiable qui correspond à la technique d'amplification aléatoire d'ADN polymorphe (RAPD). Le principal inconvénient de certaines techniques basées sur la PCR est qu'elles nécessitent une étape préliminaire d'amplification des gènes cibles par PCR et donc une certaine connaissance préalable des séquences des amorces les plus appropriées pour l'amplification du segment d'ADN sélectionné. C'est un facteur limitant, particulièrement dans les travaux sur les organismes non modèles tels que les espèces et les variétés rares pour lesquelles peu d'informations sont disponibles. Cependant, les informations sur les sondes pour les SSR ou sur les amorces pour l'amplification de gènes sélectionnés sont de plus en plus disponibles pour un nombre croissant de cultures et d'espèces sauvages apparentées. Les sondes aussi bien que les amorces sont de plus en plus partagées entre les laboratoires.

Vigouroux et *al.* (2011a) ont utilisé les SSR pour tester les changements dans les modèles de diversité chez le millet perlé sur une période de 27 ans sous

TABLEAU 5.1. COMPARAISON DES DIFFÉRENTES MÉTHODES MOLÉCULAIRES POUR L'ANALYSE DE LA DIVERSITÉ GÉNÉTIQUE.

<i>Technique</i>	<i>Abondance</i>	<i>Avantages</i>	<i>Inconvénients</i>	<i>Poly-morphisme</i>	<i>Spécificité du locus</i>	<i>Quantité d'ADN nécessaire</i>	<i>Principale application</i>
RFLP	Elevée	Aucune connaissance préalable de l'ADN cible n'est requise; faible coût de développement	Reproductibilité; exigeante et longue; sur le plan technique nécessite un grand échantillon d'ADN et des sondes radioactives spécifiques.	Codominant	Oui	Elevée	Génotypage; Cartographie génétique
RAPD	Elevée	Aucune connaissance préalable de l'ADN cible n'est requise; faible coût de développement	Reproductibilité; exigeante sur le plan technique; la qualité et la concentration de l'ADN matrice peuvent grandement influencer le résultat.	Dominant	Non	Faible	Génotypage
SSR	Moyenne	Reproductible; très polymorphe	Connaissance préalable des sondes; coût de développement élevé	Codominant	Oui	Faible	Génotypage, génétique des populations, Phylogéographie
SSCP	Faible	Faible coût de développement; peu de temps est nécessaire pour l'analyse	Les mobilités des simples brins (SS) dépendent de la température	Codominant	Oui	Faible	Génotypage

CAPS (connu aussi par PCR- RFLP)	Faible	Reproductible et rapide; facile à interpréter; faible coût de développement	Connaissance préalable des sondes pour le gène cible; le pouvoir discriminant dépend du gène cible	Codominant	Oui	Faible	Criblage génétique pour mutations
SCAR	Faible	Reproductibilité élevée	Connaissance préalable des sondes pour le gène cible	Codominant	Oui	Faible	Génotypage
AFLP	Elevée	Aucune information préalable sur la séquence n'est nécessaire; fiable et reproductible	exigeante sur le plan technique; coût de développement modéré	Dominant	Non	Faible	Génotypage, génétique des populations
Séquençage d'ADN	Faible	Reproductibilité élevée ; faible coût de développement ; possibilité de construire une banque de données	Connaissance préalable des sondes; le gène cible devrait être choisi en fonction du but	Non Applicable	Oui	Faible	Phylogénie, phylogéographie
SNP	Elevée	Reproductibilité élevée ; polymorphisme élevé	Coût de développement élevé	Codominant	Oui	Faible	Génotypage, génétique des populations, phylogénie

la gestion des agriculteurs au Niger. Dans ce pays, le millet perlé et le sorgho constituent les principales cultures céréalières de base, et de nombreuses variétés traditionnelles sont toujours en culture. Les agriculteurs utilisent principalement leurs propres semences ou, en cas de pénurie, les semences des membres de leur famille. Autrement, ils se procurent des semences des marchés locaux. De 1976 à 2003, la région a connu plusieurs périodes de sécheresse. Bien qu'il y ait eu une très forte variabilité interannuelle, les précipitations ont diminué de 4 mm par an à Niamey, au Niger, soit un total de 200 mm au cours des 50 années allant de 1950 à 2003. Des échantillons de millet perlé ont été collectés dans différentes régions du pays en 1976. L'analyse de la diversité génétique chez le sorgho et le millet en utilisant respectivement 28 et 25 SSR, sur plusieurs centaines d'accessions collectées en 1976 et en 2003 a fourni des estimations du nombre d'allèles, de la diversité génétique de Nei et de l'hétérozygotie observée pour chaque locus et chaque collection. Dans l'ensemble, il n'y avait aucune preuve de perte de la diversité génétique en termes de richesse allélique pour aucune des deux cultures, et une faible différenciation entre les collections de 1976 et de 2003 ($G_{ST} = 0,0025$ pour le sorgho).

Une expérimentation conduite dans un jardin commun portant sur des accessions de millet perlé collectées en 1976 et 2003 et évaluées sur trois saisons a montré quelques changements significatifs dans les traits d'adaptation. Les variétés collectées en 2003 ont fleuri un peu plus tôt et avaient des épis plus courts, ce qui indique un changement évolutif au cours de la période. Des gènes polymorphes affectant la variation du temps de floraison chez le millet perlé (PHYC et PgMADS11) ont été identifiés et montrent une empreinte de sélection, suggérant qu'ils jouent un rôle dans l'adaptation des variétés de millet perlé (Vigouroux et *al.*, 2011a).

Parmi les techniques basées sur la PCR, les SSR et le séquençage direct de l'ADN sont probablement les techniques les plus couramment utilisées en raison de leur prix relativement abordable et leur reproductibilité élevée. La popularité des marqueurs SSR est due à leur niveau élevé de polymorphisme et à la possibilité d'analyser plusieurs loci, permettant de dresser un profil complet d'ADN des individus et des populations. Cependant, la technique exige un coût de développement initial élevé si les sondes ne sont pas disponibles, mais de nombreuses étapes peuvent être automatisées pour permettre de tester un grand nombre d'échantillons. La technique n'est pas sans écueils tels que la codominance incomplète, l'amplification biaisée, la recombinaison par PCR et la paralogie cryptique (deux allèles de différentes origines génétiques

produisant la même longueur de fragment, et donc non reconnus comme allèles non ségrégatifs).

Le séquençage direct de l'ADN donne la description la plus complète de la variabilité. Il permet de mettre en évidence la nature réelle de la variabilité, fournissant la séquence exacte des nucléotides dans le segment d'ADN cible et permettant une étude de la relation entre les séquences et les variantes fonctionnelles des gènes pertinents. Actuellement, le séquençage direct se concentre sur un locus à chaque fois, et la description de la variabilité génétique ne concerne que les gènes cibles. Les gènes présents dans les organites (ADNmt et ADNcp) ont été couramment employés dans les études de populations et phylogéographiques, en raison de leurs multiples copies cellulaires, de leur hérédité non recombinante (généralement maternelle) et de leur taux de mutation élevé comparé à l'ADN nucléaire. Cependant, comme l'ADNmt et l'ADNcp sont hérités par la mère, seules les hiérarchies ou les phylogénies maternelles sont révélées. A chaque génération, le génome nucléaire sera porteur des gènes d'origine paternelle qui, avec la reproduction sexuée, se recombineront en de nouveaux génotypes. Ces gènes—s'ils sont nouveaux dans la population—ne porteront pas la balise ADNcp de leur parent mâle d'origine, mais porteront toujours l'ADNcp de la femelle par laquelle ils passent. Le séquençage direct possède également un grand avantage dans la mesure où les séquences obtenues peuvent être stockées dans des bases de données spécifiques comme la banque de données ADN du Japon (DDBJ), le laboratoire Européen de biologie Moléculaire (EMBL) et la GenBank du Centre national d'informations sur les biotechnologies (NCBI) aux États-Unis. Ces bases de données permettent aux chercheurs de réutiliser des séquences publiées et de comparer la variabilité des populations sans le besoin d'analyser tous les spécimens en même temps, ce qui assure une reproductibilité élevée et une comparabilité des résultats.

Les techniques basées sur la PCR telles que le SSCP, les CAPS, le polymorphisme de longueur des fragments amplifiés (AFLP) et la caractérisation de la région amplifiée par séquence (SCAR) présentent l'avantage d'être relativement peu exigeantes sur le plan technique, peu coûteuses par rapport à d'autres techniques (à l'exception de l'AFLP) et d'être très reproductibles. Ces techniques permettent un profil génétique basé soit sur un seul locus (SSCP, CAPS) ou sur plusieurs loci (RFLP, AFLP et SCAR). Cependant, leur capacité à révéler l'étendue de la variabilité génétique dépend en grande partie des séquences cibles et d'un certain nombre d'autres facteurs tels que la combinaison des enzymes de restriction utilisées. L'utilisation de nouvelles approches

émergentes, telles que l'analyse du polymorphisme d'un seul nucléotide (SNP) ou l'utilisation du séquençage de nouvelle génération (NGS), permettra aux chercheurs d'explorer de plus en plus la variabilité génétique présente dans tout le génome des cultures et des variétés comme dans le cas du «génotypage par séquençage» comme décrit par Poland et Rife (2012).

Le développement de nouvelles techniques moléculaires pour le criblage de la variabilité génétique a stimulé le développement de nouveaux outils informatiques pour les analyses de tout type de données génétiques produites. La plupart des données multilocus produites par les techniques RFLP, SSCP, CAPS et SCAR peuvent être analysées en termes de fréquences de bandes spécifiques (ou de variantes) en utilisant des outils statistiques traditionnels. Pour l'analyse de variation d'autres marqueurs tels que les SSR, les SNP et des séquences d'ADN, un certain nombre de progiciels spécifiques ont été développés pour permettre au chercheur d'effectuer des analyses plus complètes et plus sophistiquées. L'annexe A présente une liste de divers progiciels disponibles. Le logiciel peut être divisé en quatre catégories:

- Logiciels d'analyse statistique des fréquences (par exemple, analyse multidimensionnelle, analyse des coordonnées principales).
- Logiciels de reconstruction des arbres phylogénétiques (fonctionnant généralement avec des séquences d'ADN).
- Logiciels pour les analyses de réseaux et les analyses phylogéographiques utilisant à la fois la séquence d'ADN et les données du marqueur.
- Logiciels d'étude de la structure des populations couramment utilisés pour les données des SSR et SNP, mais certains progiciels d'analyse peuvent également être utilisés avec des séquences d'ADN.

Un guide utile sur les progiciels d'analyse disponibles et leur utilisation peut être trouvé dans Excoffier et Heckel (2006).

Collecte des Données à l'aide d'Approches Participatives

La compréhension de l'étendue, de la distribution et de la structure de la diversité génétique chez les variétés traditionnelles implique un travail en étroite collaboration avec les agriculteurs. Les principes généraux élaborés pour le travail participatif devraient être adoptés (Gonsalves et *al.*, 2005), et de nombreuses approches développées pour le travail ethnobiologique au champ sont directement pertinentes (voir Emerson et *al.*, 2011). En premier

lieu, développer une compréhension claire de la structure variétale et la façon dont les agriculteurs utilisent les noms implique un processus participatif itératif dans lequel les agriculteurs, individuellement et en groupe, présentent comment ils perçoivent les variétés qu'ils cultivent. Ceci fournit également un premier aperçu des différents traits qui sont importants pour les agriculteurs et de la manière dont la variation de ces traits est gérée au niveau de la communauté et de la ferme. Cette approche peut être complétée ultérieurement par des essais à la ferme planifiés et entrepris conjointement avec les agriculteurs, ce qui permet d'explorer la variabilité agromorphologique. Les contributions et l'information des agriculteurs constituent également un élément essentiel lorsque les échantillons sont utilisés pour un travail sur la diversité biochimique ou moléculaire. Une série d'approches de diagnostic participatif est disponible et peut être utilisée pour comprendre les façons dont les agriculteurs gèrent et nomment les variétés (Tableau 5.2).

Il est important de développer une bonne relation de collaboration avec une communauté avant de commencer le travail. Les membres de la communauté vont être interrogés sur de nombreuses questions, qui peuvent leur prendre beaucoup de temps. Les personnes concernées peuvent considérer certaines informations comme privées ou confidentielles. Elles doivent être à l'aise avec les procédures et les informations demandées, ainsi qu'avec la manière dont elles seront utilisées. Comme des échantillons doivent être prélevés sur au moins certaines des cultures et variétés, il faut également un accord commun clair sur la façon dont l'information et tout matériel collecté seront utilisés. Il existe plusieurs façons de le faire. L'une de ces approches est l'accord de consentement préalable libre et en connaissance de cause qui a été utilisé par la Plateforme de Recherche en Agrobiodiversité (PAR) et signé par tous les participants dans le cadre de leur travail avec les communautés autochtones de Bolivie et de Sarawak (http://agrobiodiversityplatform.org/climatechange/the-project/objectifs-et-objectifs/abd_and_cc_project_fpic/). Par ailleurs, le Programme des Nations Unies pour l'environnement a élaboré un ensemble de guides et d'outils pertinents (<http://www.unep.org/communityprotocols/index.asp>), et la Société d'Ethnobiologie possède des guides qui devraient également être consultés (<http://ethnobiology.net/code-of-ethics/>). Récemment, des guides d'accès et de partage des avantages dans les projets de recherche ont été élaborés (Lapeña et al., 2012). Plus d'informations sur l'accès national et le partage des avantages et d'autres questions juridiques, ainsi que sur les actions spécifiques mises en œuvre se trouvent dans les chapitres 10 et 12 respectivement.

TABLEAU 5.2. PROCÉDURES DE COLLECTE D'INFORMATIONS POUVANT ÊTRE UTILISÉES POUR LA COLLECTE PARTICIPATIVE DE DONNÉES.

<i>Méthode</i>	<i>Objet</i>	<i>Types et exemples</i>
Entretien	Evaluer les connaissances et les perceptions	Structuré, semi-structuré, non structuré, individuel, groupe, Discussion de groupe cible (FGD)
Observation sur le terrain et prise de notes	Observer et consulter directement	Observation sur le site, sauvegarde de l'enregistrement pendant toute la saison
Mesures physiques directes	Mesurer les attributs physiques	A l'aide d'outils de mesures scientifiques, en adaptant les unités de mesures locales
Collecte d'échantillons	Collecter et ensuite caractériser et analyser	Échantillonnage, inventaire
Expérimentation	Tester et observer les processus biophysiques, la performance et les résultats	Essais, suivi au champ
Diagramme et visualisation participatifs	Illustrer et expliquer les processus, les relations, et les structures	Dessin au trait, réalisation de diagrammes
Cartographie participative	Localiser et orienter	Cartographie des transects, marquage des bordures
Classement et notation participatifs	Catégoriser, hiérarchiser et comparer	Matrice de classement, tri
Observation participative	Documenter les processus	Diverses techniques ethnographiques
Jeux et jeux de rôle	Documenter les comportements, les prises de décisions, et les dynamiques du groupe	Jeux populaires, contes
Modélisation et utilisation d'outils visuels	Montrer et citer des exemples concrets	Construction de modèles miniatures, affiches
Liste	Identifier et inventorier	Liste de vérification, brainstorming et technique de cartes
Tests	Evaluer en utilisant des schémas standardisés	Test de connaissances, concours de compétences

La collecte des données commence généralement par un examen des données secondaires, suivi de discussions au niveau du groupe ou des discussions de groupes cibles, complétées par des entretiens avec des personnes qui sont des informateurs clés. Ces entretiens sont menés en plus de ceux effectués auprès des foyers en utilisant une stratégie d'échantillonnage appropriée pour sélectionner les personnes à interroger. Une dernière étape est la validation par la communauté, où les résultats analysés qui combinent les informations recueillies auprès de l'agriculteur, du terrain et du laboratoire sont discutés.

Discussions de Groupes Cibles pour l'Identification et la Caractérisation des Variétés par les Agriculteurs

Les discussions de groupes cibles (FGD) comprennent généralement 10 à 12 personnes sélectionnées pour assurer la représentation de toutes les communautés impliquées dans le travail. Les membres du groupe peuvent être mélangés, mais ils sont le plus souvent séparés par genre, âge ou statut social dans la communauté afin de s'assurer que le groupe est à l'aise pour exprimer des opinions distinctes. Les FGD et les enquêtes individuelles ne déterminent pas si l'approche est participative, mais décrivent plutôt où les données sont collectées, que ce soit auprès d'un individu ou d'un groupe. Chaque réponse à une question issue d'une discussion de groupe cible ou provenant d'une enquête individuelle auprès d'un foyer est considérée comme une seule observation. Aussi bien les FGD que les enquêtes individuelles auprès des foyers peuvent utiliser des outils participatifs pour collecter les informations—c'est-à-dire qu'un outil participatif tel que la cartographie des sources de semences peut être intégré dans une tâche de FGD ou dans une enquête individuelle auprès des foyers.

L'identification des variétés paysannes commence généralement par demander aux agriculteurs d'apporter des échantillons des différentes variétés de la culture en question qu'ils cultivent cette saison. Les plantes sont placées sur le côté de la salle pour qu'elles puissent être observées par tous. Les agriculteurs sont ensuite invités à regrouper les échantillons par variété et les identifier en mettant une étiquette portant le nom de la variété sur chaque groupe. Un agriculteur, qui voit une variété similaire à celle qu'il a apportée, est invité à rassembler les plantes ensemble.

Ensuite, il est demandé à tous les agriculteurs si quelqu'un nomme cette variété différemment par rapport au nom fourni par les autres agriculteurs. Si c'est le cas, ils sont invités à écrire le nom qu'ils utilisent et le mettre à côté de ce

groupe. Les agriculteurs sont encouragés à discuter entre eux leurs décisions afin de s'entendre sur la manière de regrouper les échantillons par variété, ainsi que sur les multiples noms possibles donnés à la même variété. Afin d'élaborer une description détaillée d'une variété, elle est confiée à un agriculteur volontaire, qui se charge de la décrire. Ceci commence par l'agriculteur indiquant s'il pense que la variété est traditionnelle ou introduite/moderne. Il est demandé aux autres agriculteurs s'ils sont d'accord ou non. Un temps est consacré aux questions et aux discussions jusqu'à ce qu'un consensus soit atteint sur la façon de classer la variété.

Ensuite, l'agriculteur décrit les caractéristiques pour indiquer que cette variété est différente des autres variétés, et chaque descripteur est écrit sur une carte. Un facilitateur peut construire une matrice qui liste les noms des variétés, les caractéristiques identifiées par les agriculteurs et leurs valeurs souhaitables. Les participants consultent à nouveau la matrice pour clarifier ou modifier les entrées. Plus tard, le facilitateur peut noter quels caractères sont morphologiques et lesquels sont liés à la performance, à l'adaptation à des environnements spécifiques, ou à l'utilisation et à la qualité. Les critères morphologiques seront ensuite utilisés pour former des «descripteurs de la variété par l'agriculteur».

Un premier objectif des discussions de groupe est d'examiner la cohérence avec laquelle les agriculteurs identifient ou nomment les variétés à partir d'échantillons de variétés apportés par les participants. La variété X de l'agriculteur A est-elle la même que la variété X de l'agriculteur B ou est-elle similaire à la variété Y ou à quelque chose d'entièrement différent? Un second objectif est d'obtenir des informations supplémentaires sur la relation entre les variétés et leurs caractéristiques. Tous les agriculteurs présents sont-ils d'accord que la variété A est précoce et à bon goût? Les discussions de groupe fournissent également des informations sur le système semencier qui est appliqué au niveau de la communauté (un aspect qui deviendra important à mesure que les traits de la métapopulation seront étudiés pour une variété ou un ensemble de variétés) (voir Jarvis et Campilan, 2006 ; et les chapitres 8 et 11).

Lors de la collecte d'informations auprès des agriculteurs, il est important de noter le nom exact et non modifié de chaque variété tel qu'il a été donné par chaque informateur, en utilisant la ou les langues locales, et de noter les réponses données par les agriculteurs, en évitant toute tentation de corriger les erreurs perçues. Il est également important que l'approche choisie permette de ventiler les données par âge, genre, statut socio-économique et d'autres catégories, car les différents groupes sociaux varient généralement dans la

manière dont ils identifient, valorisent et sélectionnent les noms donnés par les agriculteurs aux variétés de cultures (voir aussi les chapitres 8 et 9).

Les entretiens individuels et l'observation détaillée au champ avec un échantillon représentatif d'agriculteurs fournissent des informations sur le nombre de variétés, que chaque agriculteur cultive et maintient, ainsi que la superficie qu'il consacre à chaque variété. Ils fournissent également des informations sur le degré de dépendance des agriculteurs à l'égard de leurs propres semences pour toute variété ou de leur obtention auprès d'autres sources. De nombreux manuels traitent de la taille des échantillons représentatifs et de la façon dont l'échantillonnage peut être stratifié pour représenter différents groupes au sein d'une communauté (voir Legendre et Legendre, 2012; Sokal et Rohlf, 2012; De Vaus, 2013).

Souvent, un maximum de 10 % des foyers agricoles cultivant la récolte de la saison en cours est utilisé, la taille étant ajustée pour s'assurer que le nombre total de répondants soit au moins de 60. Afin d'avoir une image plus complète, il est important que la moitié des foyers soit interrogée par l'intermédiaire d'un membre adulte masculin en tant que répondant, l'autre moitié par un membre adulte féminin, quel que soit le genre du chef de foyer «désigné». Les entretiens comprennent des approches participatives pour identifier les nombres et les zones couvertes par chaque variété.

Les entretiens directs avec les agriculteurs sont également utilisés pour connaître les propriétés ou les caractéristiques les plus importantes associées à une variété et les raisons pour lesquelles une zone particulière lui est consacrée. L'entretien devrait toujours se concentrer sur le présent (ce qui se fait maintenant ou ce qui a été cultivé au champ pendant la saison en cours). Une fois ceci établi, les entretiens peuvent commencer à aborder ce qui a été cultivé dans le passé, pourquoi des changements ont été apportés et ce qui est prévu pour l'avenir.

Cartographie de la Distribution Spatiale des Variétés entre et au sein des Parcelles à la Ferme

Un autre outil important pour l'enquête à la ferme est la cartographie par les agriculteurs des parcelles et des cultures qui s'y trouvent. Lors de l'entretien auprès du foyer, il est demandé aux agriculteurs de dessiner une carte de leur ferme, montrant les bordures et la superficie de leur terre, et de la marquer en fonction de la manière dont ils divisent la ferme en parcelles. L'enquêteur demande à l'agriculteur de donner la superficie totale de la ferme et la superficie

de chaque parcelle. Les agriculteurs sont ensuite invités à identifier pour chaque parcelle/champ la (les) culture(s) cultivée(s) pour la saison en cours étiquetée par un nom, un symbole et/ou divisée en sous-parcelles. Ensuite, pour chaque culture cible, l'enquêteur demande à l'agriculteur quelles variétés sont cultivées dans chaque parcelle ou sous-parcelle, et la carte est étiquetée en conséquence. L'enquêteur utilisera toute information collectée précédemment lors des discussions de groupes cibles pour vérifier auprès de l'agriculteur que la variété nommée possède les mêmes caractéristiques que la variété identifiée lors des discussions de groupes cibles. Les superficies cultivées pour chaque variété peuvent être calculées à partir de cette information.

Les informations issues des discussions de groupes cibles peuvent être essentielles pour clarifier ou obtenir une image plus précise des informations collectées lors des enquêtes auprès des foyers sur le nombre et la distribution des variétés locales à la ferme. Au cours des discussions de groupes cibles à Shangrila, dans le Sud-Ouest de la Chine, les agriculteurs ont apporté cinq variétés d'orge différentes à la réunion et ont décrit chacune d'entre elles. Pourtant, lors de l'enquête individuelle auprès des foyers, la plupart des agriculteurs du village ont déclaré qu'ils ne cultivaient qu'une seule variété d'orge, la variété Ma Nai. L'enquête auprès des foyers a ensuite été suivie directement par l'observation au champ de l'incidence des ravageurs et des maladies. Lorsque les enquêteurs ont traversé les parcelles d'un agriculteur, ils ont noté des différences de hauteur et de morphologie des plantes, indiquant que la parcelle de l'agriculteur semblait avoir plus d'une variété cultivée dans le champ de la variété Ma Nai (Figure 5.2).

Quand il a été demandé à l'agriculteur s'il y avait plus d'une variété dans son champ, il a répondu que la variété Ma Nai contient toujours un peu de Nai Shu. Les enquêteurs ont demandé si la variété Nai Shu couvrait plus de 10 % du champ, et l'agriculteur était très précis en disant à l'enquêteur qu'il n'y avait que 6 à 7 % de Nai Shu dans la parcelle. L'agriculteur a ensuite mentionné qu'en plus de Nai Shu, la variété Ma Nai était en fait deux variétés, Ma Nai blanche et Ma Nai noire (dans des proportions égales), bien que la différence ne soit visible que vers l'approche de la récolte.

L'agriculteur a dit aux enquêteurs que les semences des trois variétés étaient mélangées et utilisées pour ses quatre parcelles, dont la surface totale était de 7 mu (1 mu = 1/12 ha). Les enquêteurs ont également vérifié si les graines étaient séparées pour des utilisations différentes, mais ont constaté qu'elles étaient gérées et consommées ensemble. Les différentes procédures ont fourni

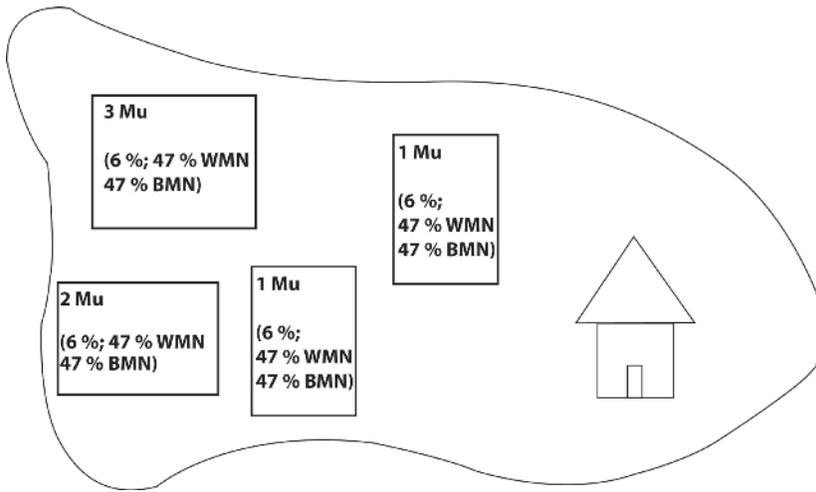


Figure 5.2. Cartographie d'une ferme montrant la distribution spatiale des variétés entre et au sein des parcelles lors d'une enquête auprès d'un foyer (de Jarvis *et al.*, 2012, avec la permission de Bioversity International)

ensemble une image beaucoup plus précise de la diversité variétale maintenue par les agriculteurs et a permis le calcul des statistiques de richesse et d'équitabilité commesuit:

$$\text{Richesse} = 3$$

$$\text{Équitabilité} = 1 - [(0,06)^2 + (0,47)^2 + (0,47)^2] = 0,524$$

Si les enquêteurs n'avaient considéré qu'une seule variété comme déclarée au début par l'agriculteur, l'estimation aurait été une richesse de 1 et une équitabilité de 0 pour cet agriculteur.

Entretiens avec des informateurs clés

Un troisième niveau de collecte participative d'informations, qui fournit la description de base de la structure variétale et de la distribution de toute culture dans une zone, est la discussion et l'entretien avec des informateurs clés. Cela implique de réunir des experts locaux reconnus et d'explorer avec eux les informations obtenues à ce jour. Cela permet de relever les contradictions dans l'information, combler les lacunes et valider les informations provenant d'autres sources.

À partir des diverses discussions et enquêtes, ainsi que de la cartographie des cultures et des variétés en particulier, une image commencera à émerger concernant le nombre de variétés traditionnelles, l'étendue dans laquelle les différentes variétés sont cultivées, les principales forces et faiblesses des

différentes variétés, ainsi que la valeur, le rôle, et l'importance de chacune d'entre elles pour les différentes sections de toute communauté. La classification des variétés avec les agriculteurs, par le biais des discussions de groupes cibles et des entretiens avec des informateurs clés, selon qu'elles soient communes (cultivées par la plupart des agriculteurs) ou rares (cultivées par seulement quelques-uns), et selon qu'elles soient cultivées dans des zones relativement grandes ou seulement sur de petites parcelles, s'est avérée être une méthode utile «d'analyse à quatre cellules» pour étudier un certain nombre d'aspects liés à la conservation et à l'utilisation.

Les variétés communes cultivées sur de grandes superficies sont généralement les produits de première nécessité utilisés quotidiennement par les foyers et dont la culture est censée être plus fiable. Celles cultivées sur de petites superficies sont souvent des variétés utilisées à des fins culturelles (par exemple, comme cadeaux lors des jours de fête). Ce sont des variétés dont chaque foyer a besoin, mais seulement en petites quantités. Il peut également s'agir de variétés de grande valeur pouvant être vendues sur le marché local (même si leur rendement est relativement faible), ce qui permet ainsi de couvrir les dépenses du foyer. Les variétés rares cultivées sur de grandes surfaces peuvent être des variétés adaptées aux conditions agroécologiques spécifiques qui se produisent dans seulement un ou deux endroits de la communauté. Dans la mesure du possible, cette classification approximative doit être comparée à des analyses plus précises des relations entre la superficie et la fréquence, ce qui peut révéler une image légèrement différente. Le tableau 5.3 donne le nombre de variétés de riz cultivées par une communauté au milieu des collines au Népal, classées selon qu'elles sont communes ou rares, et cultivées sur de grandes ou petites surfaces. Comme le montre la figure 5.3, lorsque toutes les données sur les superficies et les pourcentages de foyers cultivant des variétés traditionnelles spécifiques ont été collectées et analysées, l'image était beaucoup moins claire.

Dans de nombreuses communautés traditionnelles et pour de nombreuses cultures, les variétés les plus nombreuses sont celles qui sont rares et ne sont cultivées que sur de petites superficies. Souvent cultivées sur seulement un ou deux champs par un seul agriculteur, souvent pour des raisons tout à fait uniques, ces variétés semblent être les plus menacées de perte par simple hasard (l'agriculteur décède, tombe malade ou change simplement d'avis). Par conséquent, leur constitution génétique et leurs propriétés peuvent présenter un intérêt particulier, et ces variétés peuvent avoir besoin d'être prioritaires dans toute communauté locale ou tout autre programme de conservation.

TABLEAU 5.3. TABLEAU À QUATRE CELLULES ISSU D'UN EXERCICE DE CARTOGRAPHIE D'UNE VARIÉTÉ DE RIZ, RÉALISÉ À KASKI, AU NÉPAL, INDIQUANT LE NOMBRE DE VARIÉTÉS DE CHAQUE TYPE TEL QU'IL ÉTAIT PERÇU PAR LA COMMUNAUTÉ.

	<i>Commune</i>	<i>Rare</i>
Grande superficie	9	3
Petite superficie	3	36

Source: Jarvis et al. (2007b).

Codage et Analyse des Données Participatives

Les procédures décrites ci-dessus produisent différents types et formes de données. L'information peut se présenter sous forme de catégories discrètes de réponses telles que des questions ouvertes qui génèrent des données qualitatives, alors que d'autres outils produisent des résultats visuels tels que des cartes. L'analyse de ces données nécessite un traitement préalable avant qu'elles puissent être mises en format Excel ou SPSS pour l'analyse. La première étape consiste à coder les données brutes dans une base de données unifiée en leur attribuant des identités et des valeurs numériques. Le traitement des données est effectué en fonction du type de données collectées au champ par les différentes méthodes participatives. Ces données peuvent être classées de manière générale comme étant des données traitant: (1) l'identification et la caractérisation, (2) l'évaluation et la comparaison, et (3) la visualisation.

Des exemples de données d'identification et de caractérisation sont les listes de noms, les critères, les descriptions, les raisons et autres données nominatives similaires qui identifient et caractérisent une variété particulière. Les informations de notation et de comparaison comprennent les classements, les scores et les données qui demandent aux agriculteurs de noter, de comparer et de différencier. Pour faciliter le codage de ce type de données, il est idéal de fixer la même gamme de scores ou d'échelles lors de la conception des procédures de collecte des données.

Les déclarations de conviction constituent un autre type de données impliquant une évaluation et une comparaison. Des scores sont attribués à chaque réponse possible sur la base d'une échelle de notation. Ceci représente la direction, l'étendue, la conformité ou le degré d'accord avec des convictions, attitudes, normes et motivations particulières.

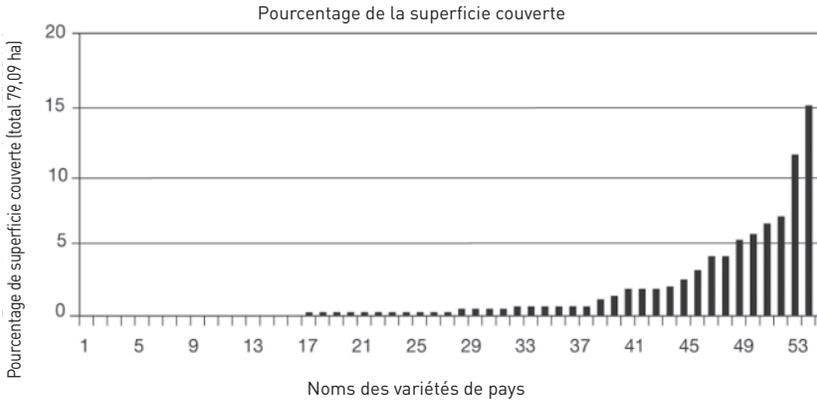
Les données de visualisation comprennent des cartes, des diagrammes et des spécimens, qui sont utilisés comme des outils visuels pour permettre aux

agriculteurs de structurer leurs connaissances sur un sujet particulier. Souvent, elles sont utilisées pour illustrer l'emplacement, la direction, la relation, le modèle et la tendance. Les données sont représentées par des symboles, des signes et des étiquettes qui sont dessinés ou écrits par les personnes interrogées. Ces données visuelles sont traitées par une analyse de contenu, une méthode permettant de comprendre des significations communiquées par les agriculteurs par le biais de symboles, sous forme de données au champ, qui sont ensuite codées dans la base de données à l'aide d'identités numériques et de valeurs qui leur sont attribuées. Chaque carte ou diagramme, qu'il/elle soit issu(e) d'un entretien individuel ou d'une session de discussions de groupe avec les agriculteurs, est considéré(e) comme une unité d'observation. Un ensemble de diagrammes peut être codé, ce qui permet d'obtenir une base de données pouvant être analysée de la même manière que les données d'une enquête plus conventionnelle (le chapitre 8 donne un exemple d'information codée par cette méthode; voir aussi Jarvis et Campilan, 2006).

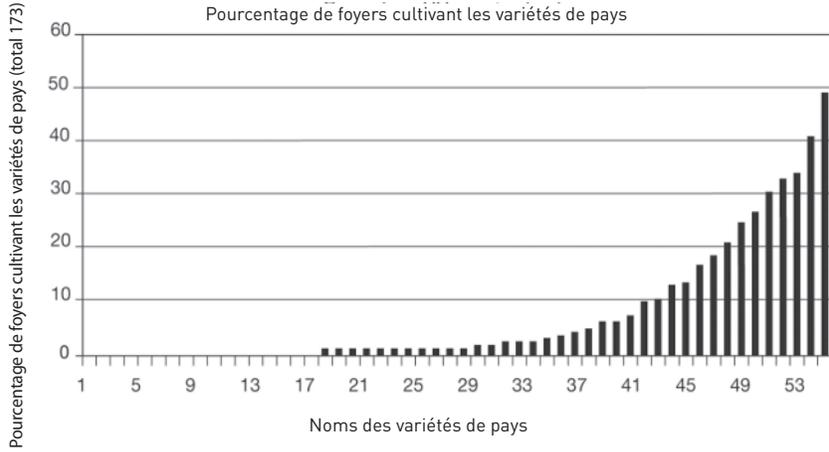
Une fois l'information est codée, elle peut être analysée à l'aide d'Excel, de SPSS, ou d'un autre progiciel statistique. Il est toujours important d'utiliser des procédures capables de tester la signification des tendances ou des différences identifiées, et cela devrait être pris en compte lors de la conception du programme de travail. La présence d'un statisticien au sein de l'équipe, ou au moins la discussion des plans avec des statisticiens, est une partie importante du processus de collecte des données.

Figure 5.3. (page en face) La figure 5.3a montre le pourcentage de la superficie couverte par chaque variété; 5.3b montre le nombre d'agriculteurs cultivant chaque variété; et 5.3c montre la comparaison du pourcentage réel de la superficie occupée par les variétés traditionnelles de riz et le pourcentage de foyers cultivant la variété dans la région située au milieu des collines à Kaski au Népal. Les variétés du quart supérieur droit de 5.3c sont cultivées par de nombreux agriculteurs et couvrent un pourcentage significatif de la superficie du village consacrée à la riziculture. Un nombre important de variétés sont également cultivées par très peu d'agriculteurs, qui couvrent au total un faible pourcentage des zones rizicoles. Pour la majorité des variétés cultivées, la superficie couverte par une variété augmente au fur et à mesure que le nombre d'agriculteurs cultivant la variété augmente. Il est à noter que les variétés se situent en dehors de la tendance principale, comme les deux points situés au-dessous de la ligne principale, qui sont des variétés cultivées par de nombreux agriculteurs mais sur des superficies tellement réduites que le pourcentage total de couverture de la variété n'augmente pas au même rythme que celui des autres variétés. Ces deux variétés (rato anadi et seto anadi) sont des variétés de riz gluant cultivées le plus souvent sur des terres irriguées ou en dhab (zones gorgées d'eau persistantes). Elles sont appréciées pour la préparation de la cuisine locale pendant les fêtes et ont une signification religieuse et culturelle particulière. Elles sont cultivées sur de petites surfaces par de nombreux agriculteurs (De Sadiki et *al.*, 2007, avec la permission de Bioversity International)

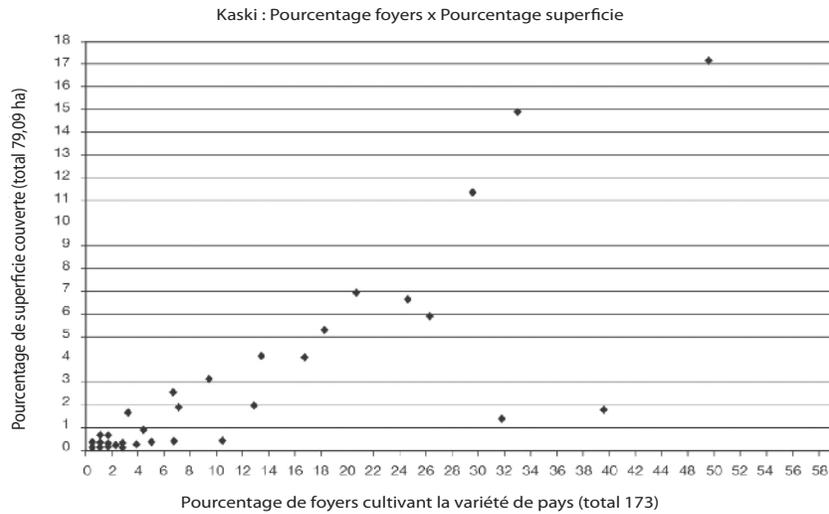
(a)



(b)



(c)



Conception d'une Enquête

Il est très rare (voire impossible) de réaliser toutes les études et analyses décrites ci-dessus, et il serait irréaliste de croire qu'elles sont toutes nécessaires pour soutenir le maintien et l'utilisation de la diversité à la ferme par les agriculteurs d'une communauté. Une étape importante dans le processus de soutien à la conservation à la ferme consiste à déterminer les études qui sont nécessaires. Cela dépend beaucoup des questions auxquelles il faut répondre concernant une culture ou une zone donnée, et de la manière dont elles peuvent être formulées de façon à fournir les réponses nécessaires tout en minimisant la charge de l'enquête.

Comme indiqué au chapitre 1, il y a cinq questions pour lesquelles une réponse est nécessaire pour élaborer une stratégie de soutien à la conservation à la ferme: Quoi, Où, Comment, Qui et Quand. Les procédures décrites dans ce chapitre et dans le chapitre 4 visent à apporter des informations sur la diversité génétique qui est maintenue (le «Quoi»). La manière dont les données sont collectées (le dispositif expérimental) peut également servir de point de départ pour répondre aux autres questions—par exemple, savoir si les différentes communautés ou les différents agriculteurs au sein des communautés maintiennent les mêmes types et quantités de variétés présentant les mêmes traits ou la même diversité génétique, ou déterminer sa distribution géographique dans la zone d'étude. Une étude bien planifiée peut générer les premières hypothèses sur l'importance relative des facteurs physique, biologique ou socioéconomique dans la détermination de la distribution de la diversité ou de sa quantité dans des zones ou des fermes spécifiques. L'importance relative de ces facteurs est abordée plus en détail dans les chapitres 6 à 9.

Lors de la planification de toute enquête, il est important de garder à l'esprit les objectifs de cette enquête, car cela influencera les questions à poser et les données à collecter. Par exemple, si l'objectif principal est de soutenir la résilience et l'adaptabilité de la communauté au changement climatique par le maintien des variétés traditionnelles, des questions portant sur qui maintient la diversité et comment les systèmes de maintien existants peuvent être soutenus deviennent centrales pour le travail. D'autre part, si l'objectif est d'assurer la conservation du maximum de diversité, une description complète de la diversité en utilisant la structure variétale et des méthodes moléculaires est susceptible d'avoir une priorité élevée (par exemple, dans le cas du riz de haute altitude au Népal [Bajracharya et al., 2005]). Si le problème concerne l'érosion génétique, une approche temporelle sera nécessaire, soutenue par des études moléculaires

et agromorphologiques comme celles utilisées par Vigouroux et *al.* (2011a, b) dans leurs travaux sur les changements de la diversité génétique du millet perlé et du sorgho au Niger. Comme indiqué ci-dessus, décider des questions que l'on veut poser est une partie importante de la détermination de la méthode moléculaire à utiliser. En effet, définir les bonnes questions à poser, concevoir les études qui seront nécessaires et planifier le travail qui peut fournir les réponses requises constituent des parties essentielles de tout travail visant à soutenir le maintien des variétés traditionnelles à la ferme.

Quelle est la Structure Variétale de la Culture dans la Zone Étudiée et Comment est-elle Maintenu?

Ce sera probablement la première étape de presque toute étude menée sur le maintien et l'utilisation des variétés traditionnelles. Le modèle très structuré de noms et de variétés clairement différenciées trouvé chez le riz au Népal ou chez les variétés de pomme de terre au Pérou, n'est souvent pas présent chez d'autres cultures. Par exemple, la plupart des orges traditionnelles utilisées au Maroc sont simplement identifiées sous le nom de baladi (locale). Cela ne signifie pas qu'un système identifiable de classification et de séparation des variétés est manquant. L'objectif de l'analyse est d'essayer de comprendre comment les agriculteurs distinguent les lots de semences au sein et entre les communautés et de mettre en relation les noms et les traits avec les pratiques de gestion.

Quelle est la Distribution de la Diversité Génétique entre et au sein des Variétés Traditionnelles?

Ici, l'intérêt porte sur la variation génétique et la manière dont elle est structurée au sein d'une culture dans la région. Le nombre de variétés devra être déterminé avec des données sur leur présence qui pourront être utilisées pour déterminer les variétés communes et répandues et celles qui sont rares. Des estimations de la diversité génétique entre et au sein des variétés seront nécessaires avec, si possible, une estimation de la mesure dans laquelle les variétés contiennent des «allèles privés» non trouvés chez d'autres variétés. La variation aussi bien des marqueurs de séquence exprimée (ESTs) que de séquences SSR non exprimées sera utile si les ressources le permettent. Les données phénotypiques obtenues à partir des essais à la ferme ou en station, associées aux perspectives des agriculteurs sur les traits importants chez les différentes variétés, fournissent une donnée complémentaire nécessaire sur la variation utile qui peut aider à orienter les décisions de conservation.

Quelle est la Distribution Géographique de la Diversité Observée?

Bien que l'intérêt (et la plupart des activités) puisse se concentrer sur une communauté ou une zone particulière, il est également probable d'être intéressé de savoir dans quelle mesure la zone est unique en termes de variation trouvée pour une culture donnée. Cela nécessitera un échantillonnage supplémentaire dans d'autres zones fournissant suffisamment d'informations pour évaluer si une variation supplémentaire en dehors de la zone cible existe. Dans un cas difficile, dans la péninsule du Yucatán au Mexique, un échantillon de 15 variétés de maïs provenant d'un seul village, Yaxcabá, a été comparé à une collection d'accessions de maïs réalisée au niveau de la péninsule régionale. Les collections ont été rassemblées à partir de 314 populations de maïs, dont 182 provenaient de Yaxcabá et de ses environs, le reste provenant des trois états de la péninsule: l'Etat du Yucatán, l'Etat de Quintana Roo et l'Etat de Campeche. Les populations ont été caractérisées pour 34 traits morphologiques et phénologiques et analysées en utilisant une Analyse en Composantes Principales de la variation. Les principaux caractères morphologiques qui décrivent la variation entre les populations du Yucatán sont liés à des traits de reproduction tels que les dimensions de la panicule, de l'épi et du grain. Le premier axe de la composante principale a séparé les variétés de pays des Etats de Quintana Roo et de Campeche, et celles de l'Etat de Yucatán. Les dimensions végétatives de la plante constituent les principaux contributeurs au deuxième axe, et les populations de maïs de Yaxcabá et des communautés voisines couvrent presque toute l'étendue de la diversité morphologique (Arias, 2000; Chavez-Servia et al., 2000; Sadiki et al., 2007).

D'autres outils d'analyse spatiale, tels que le système d'information géographique (GIS), qui permet d'intégrer des données spatiales environnementales et économiques à d'autres informations concernant la diversité génétique des cultures, sont présentés dans le chapitre suivant (Chapitre 6).

De ces questions générales peuvent émerger des questions plus spécifiques, constituant la base d'hypothèses vérifiables qui permettent à l'enquêteur de se concentrer sur des aspects spécifiques tels que la manière dont la diversité est maintenue; l'importance relative des aspects génétiques spécifiques tels que la sélection, la migration ou le flux de gènes; ou le potentiel d'amélioration de certaines des variétés les plus importantes. La manière dont ces différents aspects sont combinés pour fournir une image complète de la gestion et de l'utilisation des variétés traditionnelles est discutée plus en détail au chapitre 11.

Lectures Complémentaires

- Agarwal, M., N. Shrivastava, and H. Padh. 2008. “Advances in molecular marker technics and their applications in plant sciences”. *Plant Cell Reporter* 27:617–31.
- Bohn, L., A. S. Meyer, and S. K. Rasmussen. 2008. “Phytate: impact on environment and human nutrition. A challenge for molecular breeding”. *Journal of Zhejiang University Science B* 9:165–91.
- Brown, A. H. D. 1999. “The genetic structure of crop landraces and the challenge to conserve them *in situ* on farms”. Pp. 29–48 in *Genes in the Field: On-Farm Conservation of Crop Diversity* (S. B. Brush, Ed.) Lewis Publishers, Boca Raton.
- Dunn, G., and B. Everitt. 2004 (1982) *An Introduction to Mathematical Taxonomy*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Emerson, R. M., R. I. Fretz, and L. L. Shaw. 2011. *Writing Ethnographic Field Notes*, 2nd ed. University of Chicago Press, Chicago.
- Excoffier, L., and G. Heckel. 2006. “Computer programs for population genetics data analysis: a survival guide”. *Nature Reviews Genetics* 7:745–58.
- Gonsalves, J., T. Becker, A. Braun, D. Campilan, H. De Chavez, E. Fajber, M. Kapiriri, J. Riveca-Caminade, and R. Vernooy (Eds.) 2005. *Participatory Research and Development for Sustainable Agriculture and Natural Resource Management: A Sourcebook. Volume 1: Understanding Participatory Research and Development*. CIP-upward, Laguna, Philippines; and IDRC, Ottawa, Canada.
- Guillot, G., R. Leblois, A. Coulon, and A. C. Frantz. 2009. “Statistical methods in spatial genetics”. *Molecular Ecology* 18:4734–56.
- Hoban, S., G. Bertorelle, and O. E. Gaggiotti. 2012. “Computer simulations: tools for population and evolutionary genetics”. *Nature Reviews Genetics* 13:110–22.
- Kennedy, G., and B. Burlingame. 2003. “Analytical, nutritional and clinical methods analysis of food composition data on rice from a plant genetic resources perspective”. *Food Chemistry* 80:589–96.
- Mead, R., R. N. Curnow, and A. M. Hasted. 2003. *Statistical Methods in Agriculture and Experimental Biology*, 3rd ed. Chapman and Hall/CRC.
- Mutsaers, H. J. W., G. K. Weber, P. Walker, and N. M. Fisher. 1997. *A Field Guide for On-Farm Experimentation*. IITA/CTA/ISNAR, Ibadan.
- Sadiki, M., 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. Chavez-Servia, B. Sthapit, and V. R. Rao. 2007. “Variety names: an entry point to crop genetic diversity and distribution in agroecosystems?” Pp. 34–76 in *Managing Biodiversity in Agricultural Ecosystems* (D. I. Jarvis, C. Padoch, and H. D. Cooper, Eds.) Columbia University Press, New York.
- Wildi, Otto. 2010. *Data Analysis in Vegetation Ecology*. John Wiley and Sons, Chichester, UK.



Planche 5. Le Développement d'une compréhension claire de la structure variétale et de la manière dont les agriculteurs utilisent les noms de variétés implique un processus participatif itératif dans lequel les agriculteurs, individuellement et en groupe, expliquent comment ils perçoivent les variétés des cultures qu'ils cultivent. Les photos en haut et en bas à gauche montrent des agriculteurs décrivant la façon dont ils distinguent les variétés de leurs cultures. Sur la photo en haut à gauche, les agriculteurs ougandais discutent dans le champ où les variétés de banane et de plantain sont cultivées. Sur la photo en bas à gauche, les agriculteurs marocains ont apporté avec eux leurs différentes variétés locales d'orge pour en discuter. La photo en haut à droite montre comment les variétés de haricot caractérisées en Ouganda sont ensuite regroupées pour présenter ces informations avec les noms des variétés en lignes, ainsi que les traits que les agriculteurs ont utilisés pour décrire leurs variétés en colonnes. De cette manière les agriculteurs, en collaboration avec les chercheurs, peuvent comparer les traits descriptifs. La photo en bas à droite montre deux femmes à Saraguro, en Équateur, discutant des différentes caractéristiques des graines du haricot de différentes variétés locales. Crédits photos: P. De Santis (haut et bas à gauche), J. Coronel (bas à droite), D. Jarvis (haut à droite).



Planche 6. Le phénotypage des plantes est l'évaluation complète de traits complexes tels que la croissance, le développement, la tolérance, la résistance, l'architecture, la physiologie, l'écologie, le rendement, et la mesure de base des paramètres quantitatifs individuels qui constituent la base de traits plus complexes. Il comprend à la fois la caractérisation et l'évaluation et varie de l'observation directe d'essais simples au champ à l'analyse minutieuse de traits spécifiques dans des conditions contrôlées. En haut à gauche: un essai de diversité en bloc utilisé par les agriculteurs et les chercheurs pour évaluer les traits agromorphologiques des variétés de riz traditionnelles à Begnas, au Népal. En haut à droite: une partie d'une grande parcelle expérimentale de 400 accessions de blé dur en cours d'évaluation pour l'adaptation au changement climatique à Geregera, Amhara, Éthiopie. En bas à gauche: une installation de phénotypage développée pour permettre la détermination de traits spécifiques dans des conditions hautement contrôlées, permettant l'analyse de populations en ségrégation combinée à des études de génétique moléculaire. En bas à droite: certains gels SSCP (polymorphisme de conformation simple brin) pour le blé indiquant un polymorphisme entre des fragments de PCR qui diffèrent par des mutations ponctuelles. Le polymorphisme résulte d'un changement dans la mobilité dû à la structure de repliement secondaire. Crédits photos: B. Sthapit (en haut à gauche), C. Fadda (en haut à droite), Anthony Pugh Photography/IBERS Université d'Aberystwyth (en bas à gauche), D. R. See (en bas à droite).

CHAPITRE 6

Composantes Abiotiques et Biotiques des Ecosystèmes Agricoles

À la fin de ce chapitre, le lecteur devrait avoir compris:

- Comment identifier et caractériser les principaux facteurs environnementaux affectant la diversité génétique et la productivité des cultures.
- Comment collecter et analyser des informations sur les connaissances des agriculteurs et sur leur environnement biophysique.
- Le rôle potentiel de la diversité génétique des cultures dans le soutien des fonctions des écosystèmes.

Caractérisation de l'Agroécosystème

Les agroécosystèmes sont constitués de composantes non vivantes (abiotiques) et vivantes (biotiques) dans un système agricole géré par l'Homme. Les agroécosystèmes sont les lieux dans lesquels se produit l'évolution des cultures, présentant à la fois des stress et des opportunités auxquelles les cultures et les agriculteurs doivent s'adapter afin de prospérer. Les composantes abiotiques des agroécosystèmes incluent la température, le sol, l'eau, l'humidité relative, la lumière et le vent. Les facteurs biotiques comprennent les parasites et les ravageurs herbivores, la compétition entre les cultures et d'autres plantes, et les relations favorables (symbiotiques) entre les organismes, tels que les organismes souterrains et les pollinisateurs. Les agriculteurs qui gèrent ces facteurs via l'irrigation, l'apport de nutriments, la lutte contre les ravageurs, la préparation du sol, la polyculture, la culture en relais et d'autres pratiques constituent également une «composante biotique» des agroécosystèmes.

Les facteurs abiotiques et biotiques varient dans le temps (selon les changements saisonniers, annuels et stochastiques) et dans l'espace, de l'échelle micro-environnementale à l'échelle écorégionale. Un traitement approfondi de chaque facteur individuel est disponible dans la plupart des manuels d'agroécologie (voir Gliessman [2015] et la lecture recommandée à la fin de ce chapitre). L'objectif de ce chapitre est de faire comprendre les méthodes et les outils utilisés pour caractériser, à l'aide de données empiriques et des connaissances des agriculteurs, les composantes abiotiques et biotiques des écosystèmes agricoles influençant l'étendue et la distribution de la diversité génétique des cultures à la ferme, et de fournir un cadre pour le rôle de la diversité génétique des cultures dans le soutien des fonctions des écosystèmes.

Composantes Abiotiques des Ecosystèmes Agricoles

De nombreux facteurs abiotiques jouent un rôle en influençant l'étendue et la distribution des variétés traditionnelles de cultures, dans les systèmes de production agricole. Parmi les facteurs les plus importants figurent les différences en termes de topographie, d'altitude, de pente et d'orientation; la quantité et la distribution des précipitations; les fluctuations de température, l'intensité lumineuse, la vitesse du vent et les niveaux de concentration de CO₂; et les propriétés du sol, notamment sa texture, sa fertilité et sa toxicité éventuelle.

Facteurs Climatiques

Température: La température influence presque tous les processus physiologiques et phénologiques des plantes, notamment la germination, la croissance, la photosynthèse, la respiration, la floraison, ainsi que la nouaison et le développement des fruits. Pour la plupart des plantes, il existe une gamme relativement étroite de températures dans laquelle le fonctionnement de ces processus physiologiques est optimisé. Les variétés de cultures présentent généralement une adaptation générale aux climats plus frais ou plus chauds, mais tout aussi importante est leur capacité à tolérer des températures extrêmes de chaleur ou de froid tout en complétant leur développement physiologique (voir chapitre 7). Aux limites supérieures d'altitude où se pratique l'agriculture dans les régions montagneuses équatoriales, les plantes doivent faire face à des variations de température allant de températures proches du point de congélation la nuit à une très forte insolation lors de journées claires et ensoleillées. Les fluctuations quotidiennes de température, par exemple, peuvent être extrêmes dans les régions tropicales de haute altitude. La température, la longueur du jour

et les précipitations connaissent régulièrement des changements saisonniers à des latitudes plus élevées. La température est généralement mesurée soit mensuellement, soit de façon saisonnière; dans les deux cas, les valeurs moyenne, minimale et maximale devraient être fournies, ainsi que la distance à la station météorologique la plus proche, si elle est connue. L'incidence du gel devrait également être présentée soit sous forme de nombre estimé de jours de gel par an soit sous forme de premier et dernier gel de l'année.

Eau: Dans tous les environnements arides, semi-arides et saisonnièrement secs du monde, les agriculteurs ont généralement adapté leur agriculture pour faire face à la rareté ou au manque d'eau. Les facteurs les plus importants pour les agriculteurs qui dépendent de l'agriculture pluviale sont la distribution, la périodicité et la prédictibilité des précipitations, en d'autres termes quand et à quelle fréquence elles se produisent pendant l'année, et le degré de variabilité des précipitations, d'une période à l'autre. La durée et l'intensité des précipitations peuvent également avoir des conséquences importantes sur les conditions à la ferme, telles que l'apparition éventuelle de ravageurs et de maladies ou les inondations dans les champs de faible altitude. Les précipitations sont rapportées sur la base des moyennes annuelles ou saisonnières. Il est également important de noter les quantités de pluie enregistrées lors d'un seul événement.

Lumière: Toutes les plantes cultivées dépendent de la lumière du soleil comme source d'énergie principale, qu'elles captent via la photosynthèse, convertissent en énergie chimique et stockent sous forme de carbohydrates. La quantité de lumière reçue par une plante dans son environnement au champ peut être un facteur majeur affectant le taux de photosynthèse de la plante, et influence donc fortement sa productivité globale. L'environnement lumineux particulier d'une plante est façonné en grande partie par la latitude et l'altitude de son lieu de croissance, car ces deux facteurs influencent l'intensité et la durée de la lumière solaire reçue. Durant les mois d'hiver, la lumière du soleil qui atteint les hautes latitudes, traverse une plus grande partie de l'atmosphère terrestre avant d'atteindre les plantes à la surface, ce qui la rend moins intense que la lumière reçue par les plantes qui poussent dans les régions tropicales proches de l'équateur. Les plantes qui poussent à haute altitude dans les régions équatoriales reçoivent des apports de lumière particulièrement intenses puisque l'atmosphère est plus mince à des altitudes élevées et absorbe et disperse moins de lumière.

La lumière peut être une mesure qualitative basée sur l'exposition au soleil (comme l'absence d'ombre, l'ombre partielle ou l'ombre complète), et peut également être mesurée en termes de photopériode à un moment précis de la saison de croissance (moyenne, maximum, minimum). L'intensité lumineuse peut également être un facteur environnemental important dans certaines régions, telles que les zones équatoriales de haute altitude, où la faible épaisseur de l'atmosphère entraîne des afflux importants de lumière visible, UV et infrarouge nécessitant des adaptations de la part des plantes cultivées.

Les habitats situés à des altitudes élevées sont généralement associés à des facteurs abiotiques particuliers, notamment une faible disponibilité du CO₂ et une forte variation des précipitations, de la lumière, des sols et de la température. De même, d'autres niches éco-géographiques sont susceptibles de contenir des «associations» de facteurs abiotiques. Les régions semi-désertiques sont associées à des sols sableux peu profonds, à de faibles précipitations et à des températures extrêmes. Elles peuvent également être affectées par des vents violents, mesurés par la fréquence des vents de la force d'un ouragan ou par la vitesse maximale annuelle du vent (km/s). La pente et l'orientation affectent aussi de manière un peu plus subtile, l'environnement humide des champs, avec des pentes orientées vers le nord ayant tendance à retenir l'humidité plus longtemps et des endroits orientés vers le sud se dessèchent plus rapidement en raison du plus fort ensoleillement, ce qui représente une mesure de l'énergie du rayonnement solaire reçue sur une surface donnée et enregistrée pendant une période donnée.

Le lecteur peut se référer à Ahrens (2012) pour un texte général sur la météorologie, notamment l'étude des changements dans l'atmosphère (température, humidité, pression atmosphérique et vent) et leurs effets sur notre météo. Pour des informations plus détaillées sur les processus de changement climatique et leur mesure, il est recommandé de consulter Neelin (2011) et Bonan (2008).

Sols

Les sols sont formés par une combinaison de processus physiques, chimiques et biologiques, qui contribuent tous à la détermination des propriétés particulières d'un sol donné. Parmi les ouvrages de référence qui traitent les processus de formation du sol, la structure du sol, la chimie du sol et la nutrition du sol figurent Brady et Weil (2007) et Plaster (2009). Les variables physiques du sol comprennent le type de roche-mère ou de matériau de base, le mode

de transport (par exemple, l'eau, le vent, la glace ou la gravité) des particules minérales qui sont apparues lors de la formation du sol, ainsi que la taille et le degré de consolidation des particules du sol (le sable, le limon et l'argile étant les principales classes de particules du sol).

Les processus chimiques comprennent la libération des minéraux à partir du matériau de base (par hydratation, hydrolyse, dissolution et oxydation), ainsi que la formation des minéraux secondaires—principalement des argiles—dans les sols non consolidés. Quelques propriétés clés du sol qui affectent de manière significative la croissance des cultures sont la capacité d'échange cationique, le pH et les carences en éléments nutritifs. La capacité d'échange cationique du sol est une mesure de sa capacité à retenir les nutriments minéraux, notamment les nitrates et les phosphates (ions chargés négativement), ainsi que le potassium et le calcium (ions chargés positivement). Les sols ayant une grande capacité d'échange cationique sont capables de fixer les nutriments, d'empêcher leur lessivage et de les rendre disponibles pour les cultures et d'autres formes de vie végétale. Une propriété connexe est le pH d'un sol, qui mesure son équilibre acido-basique.

Les carences en nutriments ou la toxicité du sol peuvent être particulièrement importantes dans la détermination de la survie et de la productivité des variétés de cultures dans l'agroécosystème. Les sols peuvent être déficients en azote, en phosphore ou en potassium, ainsi qu'en micronutriments secondaires tels que le magnésium, le soufre, le zinc et le bore. En revanche, le fer, le manganèse et l'aluminium peuvent être présents en quantités tellement élevées qu'ils peuvent être toxiques. La disponibilité des éléments nutritifs peut être liée au pH du sol et aux régimes de précipitations.

Les sols contiennent des plantes (sous forme de racines et de rhizomes), des champignons, des microbes et à la fois de la microfaune et de la macrofaune. L'accumulation de la matière organique dans le sol par des processus de décomposition et de minéralisation donne ce que l'on appelle l'humus. La chimie de la litière, qui repose sur une base génétique solide et varie selon les génotypes, explique une grande partie de la variation des taux de changement de la respiration, des taux de décomposition du carbone et de l'azote, et de la disponibilité des nitrates et de l'ammonium. Les références à consulter concernant la faune et les microorganismes du sol comprennent Sylvia et *al.* (2004) et Paul (2007). Les processus physiques, chimiques et biologiques décrits ci-dessus produisent généralement des couches ou des horizons définis dans un sol.

Perturbation de l'Environnement

En écologie, les changements aléatoires intermittents ou périodiques des niveaux des composantes abiotiques ou biotiques des écosystèmes agricoles sont appelés des événements stochastiques. Ce sont des épisodes de changements abiotiques ou biotiques qui représentent un écart significatif mais imprévisible par rapport aux conditions environnementales normales. L'impact des événements stochastiques est fortement influencé par leur fréquence, leur intensité et leur durée. Les sécheresses ou les pluies torrentielles provoquées par un épisode El Niño (selon l'endroit où l'on se trouve) sont des événements stochastiques, tout comme l'apparition de sévères attaques ou épidémies. Les événements stochastiques exercent généralement une forte pression sur les plantes cultivées et peuvent réduire considérablement la taille des populations cultivées dans une communauté ou une région.

Niveaux de Dioxyde de Carbone et Changement Climatique

Au cours des deux derniers siècles, la combustion de combustibles fossiles et le changement dans l'utilisation des terres ont entraîné une augmentation des concentrations de dioxyde de carbone dans l'atmosphère, qui sont passées d'un niveau préindustriel de 280 ppm à plus de 400 ppm aujourd'hui (Showstack 2013). Le CO₂ atmosphérique est mesuré en fraction molaire sèche, définie comme le nombre de molécules de dioxyde de carbone divisé par le nombre de molécules d'air sec multiplié par un million (ppm). La méthode la plus directe pour mesurer les concentrations du CO₂ dans l'atmosphère, pendant les périodes précédant l'échantillonnage direct, consiste à mesurer les bulles d'air (inclusions de fluide ou de gaz) retenues dans les calottes glaciaires de l'Antarctique ou du Groenland. La technique de covariance des turbulences (appelée également corrélation de turbulence et flux de turbulence) est une technique mathématique qui mesure et calcule le flux de CO₂ turbulent vertical entre l'atmosphère et la biosphère. Les expérimentations d'enrichissement en CO₂ à l'air libre (FACE), où les plantes sont cultivées dans un sol naturel, montrent généralement que les plantes, notamment les espèces cultivées, enregistrent des taux de photosynthèse et de productivité plus élevés dans des conditions de CO₂ élevées. Les gains potentiels en productivité des cultures, résultant de l'augmentation des concentrations en CO₂ dans l'atmosphère, sont susceptibles de varier considérablement dans la pratique, reflétant les changements d'autres facteurs environnementaux tels que la température, l'humidité du sol, la disponibilité d'autres nutriments limitatifs et les changements dans les populations de ravageurs et d'agents pathogènes (Leakey *et al.*, 2012).

Selon les modèles actuels du changement climatique mondial, l'augmentation des concentrations en CO₂ ne représente que l'un des nombreux changements attendus dans les conditions agroécologiques des systèmes agricoles. La modélisation climatique suggère que les agriculteurs devront adapter leurs cultures et leurs pratiques agronomiques pour faire face à la hausse des températures (des valeurs plus élevées pour les maxima de jour et les minima de nuit); aux changements dans le calendrier, à la quantité et à la distribution des précipitations et de l'humidité du sol; et à l'augmentation de la fréquence et de l'intensité des événements stochastiques. Certaines opportunités peuvent se présenter pour étendre la production dans de nouvelles zones ou avec de nouvelles cultures (par exemple, aux limites altitudinales supérieures pour les cultures de base dans les régions montagneuses comme les Andes ou l'Himalaya). Des températures élevées combinées à des précipitations de plus en plus fluctuantes peuvent imposer un stress physiologique croissant chez de nombreuses cultures. Par exemple, des températures prolongées supérieures à 32–35°C entraîneront une réduction des rendements de 5 à 10 % chez le riz et le maïs (Gregory *et al.*, 2009).

Composantes Biotiques des Écosystèmes Agricoles

Les composantes biotiques des agroécosystèmes qui ont un impact sur le maintien et l'utilisation de la diversité génétique des cultures comprennent les maladies, les ravageurs, les mauvaises herbes, les ennemis naturels, les pollinisateurs et les organismes souterrains. L'interaction avec ces organismes peut être positive, négative ou neutre pour la plante cultivée, ils sont d'une grande ampleur. Les pertes de récolte causées uniquement par les ravageurs et par les mauvaises herbes ont été estimées à 42 % de la récolte potentielle (Pimentel et Cilveti, 2007). Du côté favorable, les biens apportés par les pollinisateurs à l'agriculture représentent entre 1 et 16 % de la valeur marchande de la production, selon la culture, soit 29 milliards de dollars par an rien qu'aux États-Unis (Hein 2009; Calderone 2012). Les interactions biotiques ont le potentiel d'influencer la diversité génétique des cultures en exerçant des pressions de sélection ou en conférant des avantages sélectifs aux plantes cultivées individuellement (voir chapitre 7).

La compétition est une interaction biotique provoquée par les ressources limitées dans un écosystème; les deux organismes sont en situation défavorable, car les deux dépendent de ressources dont ils ont tous les deux besoin. La compétition peut se produire entre des organismes de la même espèce ou

d'espèces différentes (par exemple, les espèces cultivées et les mauvaises herbes [Liebman et Gallandt, 1997]). Le mutualisme est une interaction biotique dans laquelle deux organismes ont un impact positif réciproque; aucun des deux ne réussit en l'absence de l'autre. La pollinisation et l'association mycorhizienne sont des exemples de mutualisme.

Le commensalisme est une interaction interorganisme dans laquelle un organisme bénéficie de l'interaction et l'autre n'en profite pas et n'en souffre pas. Un exemple de commensalisme est une plante d'ombre obligatoire comme le caféier (*Coffea arabica*) protégée par une espèce d'arbre d'ombre fixant l'azote comme ceux du genre *Inga*, qui sont répandus dans les caféières d'ombre en Amérique centrale (Gliessman, 2015). En revanche, l'amensalisme décrit une interaction interorganismes dans laquelle un organisme a un impact négatif sur un autre sans qu'il reçoive lui-même de bénéfice direct, comme par exemple la libération par une plante d'un composé dans l'environnement qui a un impact inhibiteur ou stimulant sur d'autres organismes, ou l'allélopathie. Une relation parasitaire implique qu'un organisme bénéficie de l'interaction, voire dépend de celle-ci, alors qu'il nuit à l'autre organisme, comme dans le cas de certaines maladies des cultures. Enfin, la prédation se produit quand un organisme profite de l'interaction en tuant et en consommant un autre, comme un charançon ou autres ravageurs des cultures qui détruisent la viabilité des graines qu'ils infestent.

Agents Pathogènes

Les agents phytopathogènes restent une des principales causes de pertes de récoltes et de dommages aux cultures, avec une perte moyenne de rendement au niveau mondial due à la maladie estimée à 16 % (Oerke, 2006). Les taux d'évolution des agents pathogènes sont déterminés par le nombre de générations de reproduction des agents pathogènes par intervalle de temps, ainsi que par d'autres caractéristiques, notamment l'héritabilité des traits d'aptitude. Les changements de température influencent le taux de reproduction de nombreux pathogènes. Des saisons de croissance plus longues avant l'arrivée des températures froides peuvent donner plus de temps pour l'évolution de l'agent pathogène. De plus grandes populations d'agents pathogènes peuvent augmenter les taux d'absence de l'agent pathogène pendant l'été ou l'hiver. La pathogénicité est la capacité d'un microbe à causer des dommages chez un hôte. La virulence est la capacité moyenne d'une population d'agents pathogènes à surmonter la diversité des gènes de résistance présents dans la population hôte

correspondante, parfois définie comme le degré de pathogénicité, ou la capacité relative à provoquer une maladie. L'agressivité est une mesure quantitative de la capacité d'un agent phytopathogène à coloniser et à se propager, causant des dommages à son hôte.

Une grande partie de la modélisation de la propagation de la maladie se fait par analyse de réseaux (voir Moslonka-Lefebvre et *al.* [2011] pour un examen des diverses structures de réseau et de leurs applications dans la propagation de la maladie). La modélisation de l'analyse de réseau se focalise généralement sur la démonstration de la probabilité qu'une épidémie survienne après une infection initiale. Le résultat du modèle est influencé par la structure des contacts dans les premières phases de l'épidémie.

Avec l'avènement des technologies de séquençage rapide du génome entier et de la réaction en chaîne par polymérase (PCR) en temps réel, il est désormais possible d'identifier de nouvelles races d'agents phytopathogènes dans les champs avant même qu'elles ne deviennent destructrices. Les amorces PCR spécifiques aux diverses régions génomiques associées à l'avirulence chez des agents pathogènes spécifiques peuvent permettre l'identification d'isolats possédant de nouvelles formes de gènes d'avirulence au champ dès leur découverte, fournissant ainsi un système d'alerte précoce des nouvelles races émergentes (Skinner et *al.*, 2000; Programme de génomique fongique [FGP] [<http://www.jgi.doe.gov/fungi>]).

Ravageurs

Les ravageurs des cultures comprennent divers assemblages d'insectes herbivores (en particulier les coléoptères, les mouches, les lépidoptères, les hémiptères et les orthoptères) ainsi que des animaux plus simples comme les nématodes, qui sont généralement présents dans le sol. Les vertébrés tels que les oiseaux et les rongeurs peuvent également être d'importants ravageurs de cultures, généralement en tant que consommateurs de fruits et de graines. La plupart des espèces de ravageurs sont problématiques en raison des dommages qu'elles causent au niveau des feuilles, tiges, racines, fruits et graines pendant la croissance et la maturation des plantes cultivées dans les champs. Dans certains cas, les insectes nuisibles peuvent ne causer directement que des dommages mineurs, mais ils sont problématiques dans la mesure où ils servent de vecteurs à des agents pathogènes nuisibles aux cultures. Les pertes post-récolte dues aux ravageurs sont également préoccupantes pour les agriculteurs qui pratiquent une agriculture de subsistance et qui stockent leurs récoltes pendant de longues périodes.

L'évaluation de la sévérité des ravageurs des cultures et le test de l'efficacité des options de gestion commencent par des enquêtes au champ et un échantillonnage pour quantifier la présence du ravageur, l'étendue de l'infestation et les niveaux de dégâts subis par les agriculteurs. La culture de collections variétales à la ferme ou dans des stations expérimentales permet d'observer en détail les cycles de vie des ravageurs et les infestations, ainsi que la performance relative des différentes variétés de plantes cultivées. Les études empiriques sur les ravageurs utilisent souvent des abris grillagés, des structures qui enferment les cultures dans un treillis métallique ou en tissu, permettant la circulation de l'air et des précipitations mais contenant ou excluant les insectes et autres organismes nuisibles, en fonction du but de l'expérimentation. La lutte intégrée contre les ravageurs (IPM) est un terme définissant une série de pratiques qui préviennent ou éliminent les populations d'insectes nuisibles, tout en minimisant l'utilisation de pesticides. Ces pratiques ont commencé comme une alternative écologique de lutte contre les ravageurs qui nécessite une compréhension de la biologie du ravageur et de l'écologie liée aux interactions aux niveaux de la communauté et des écosystèmes (voir aussi la section suivante sur les agents de lutte biologique). Au cours des cinquante dernières années, de nombreuses publications sur ces pratiques sont devenues disponibles en ligne et sous forme imprimée (voir lectures complémentaires).

Agents de Lutte Biologique

Les ennemis naturels des insectes nuisibles sont également connus sous le nom d'agents de contrôle biologique (BCA, Biological Control Agents). Ils comprennent les prédateurs, les parasitoïdes et les agents pathogènes. Les agents de lutte biologique contre les maladies des plantes sont le plus souvent appelés antagonistes. Les ennemis naturels dépendent de ressources telles que la nourriture pour les adultes, des proies ou hôtes alternatifs, des sites d'hibernation et des abris contre les conditions défavorables (Landis et *al.*, 2000). Au cours des 30 dernières années, de nombreuses espèces efficaces ont été identifiées et actuellement, au moins 230 espèces sont commercialisées dans le monde entier en tant qu'ennemis naturels des ravageurs. Van Lenteren (2011) fournit des informations sur les 230 espèces d'ennemis naturels utilisées actuellement dans les stratégies de lutte biologique augmentative. L'industrie a élaboré des directives de contrôle de la qualité, des méthodes de production en masse, et les méthodes d'expédition et de libération, ainsi que des conseils pour les agriculteurs. La gestion des habitats conçus pour répondre aux besoins des ennemis naturels des ravageurs des cultures peut attirer des espèces qui offrent

des services écosystémiques de biocontrôle naturel. Les modèles d'optimisation spatiale sont utiles pour explorer la configuration spatiale économiquement optimale des habitats des ennemis naturels dans les paysages agricoles (Zhang *et al.*, 2010).

Mauvaises Herbes

Les mauvaises herbes sont des plantes qui poussent dans des endroits où elles ne sont pas désirées, et c'est l'agriculteur qui détermine bien sûr si la plante est considérée comme étant une mauvaise herbe. Les mauvaises herbes sont les principaux compétiteurs des plantes cultivées pour la lumière, l'eau, l'air et les nutriments, et peuvent réduire ou inhiber la croissance (Liebman et Gallandt, 1997). L'agriculture a eu une grande influence sur l'évolution des espèces de mauvaises herbes adaptées aux conditions perturbées, avec une grande capacité de colonisation des terres agricoles nouvellement défrichées. Les mauvaises herbes se caractérisent généralement par des taux de reproduction élevés et une capacité de maintenir leur reproduction dans des conditions constamment perturbées. De nombreuses publications ont souligné l'effet néfaste des mauvaises herbes, mais avec une gestion adéquate, elles peuvent avoir des effets positifs contre l'érosion du sol et fournir des habitats aux insectes utiles. Certaines mauvaises herbes sont comestibles et, dans leurs premiers stades de croissance, elles peuvent être tolérées par les agriculteurs qui les récoltent en tant que potherbes (Madamombe-Manduna *et al.*, 2009). Les mauvaises herbes qui sont des espèces sauvages apparentées aux plantes cultivées peuvent également être d'importantes sources de diversité génétique pour l'amélioration des cultures (Turner *et al.*, 2011; voir également le chapitre 2).

Organismes du Sol

Les nombreux organismes biotiques présents dans le sol—notamment les archées, les bactéries, les champignons, les protozoaires, les algues et les animaux invertébrés—contribuent au maintien et à la productivité des agroécosystèmes par leur influence sur la fertilité du sol. Ces organismes contribuent par quatre principales actions: la décomposition de la matière organique, le cycle des nutriments, la bioturbation (déplacement ou consommation du sol) et l'élimination des maladies et des ravageurs transmis par le sol. En raison de la grande diversité taxonomique du biote du sol, les organismes du sol sont généralement divisés en groupes taxonomiques afin de comprendre leurs rôles, en fonction de leur diverse importance fonctionnelle pour la fertilité du sol et de leur relative facilité d'échantillonnage.

Des travaux importants sur l'analyse de la diversité souterraine ont démontré que de nettes différences dans la composition des groupes fonctionnels particuliers peuvent servir de taxons indicateurs de la santé des sols. Par exemple, dans le groupe des nématodes, une nette augmentation du nombre de nématodes parasites des plantes est observée au fur et à mesure que l'intensité d'utilisation des terres augmente. Des tendances claires de diminution de la diversité et de l'abondance sont observées dans le groupe des «ingénieurs écosystème» constitué d'espèces de macrofaune comme les vers de terre et les termites, qui ont un impact majeur sur le sol via le transport des sols, la construction de structures d'agrégats, et la formation de pores, et qui fournissent des micro-niches pour les autres organismes du sol (Tableau 6.1). Une meilleure utilisation des transformations de l'azote du sol par les plantes et les microorganismes peut potentiellement augmenter les services de régulation et de soutien tels que la décomposition et le cycle des nutriments qui assurent la qualité de l'eau et du sol (Jackson *et al.*, 2008).

Pollinisateurs

Les pollinisateurs sont des agents biotiques qui déplacent le pollen des anthères mâles d'une fleur vers le stigmate femelle d'une fleur pour accomplir la fécondation. La pollinisation permet la fécondation de la plante afin qu'elle puisse produire des fruits et des graines pour la génération suivante. La pollinisation abiotique se fait par le vent, l'eau ou la gravité. La pollinisation biotique est réalisée par des animaux (insectes, chauves-souris, oiseaux, rongeurs, lézards). La littérature concernant la pollinisation et les systèmes d'amélioration des plantes est très abondante. Pour les plantes cultivées, ces aspects sont trouvés dans Roubik (1995) et Free (1993). Généralement, les céréales de la famille des graminées, telles que le maïs et le sorgho, sont pollinisées par le vent, tandis que la plupart des fruits et légumes sont pollinisés par les insectes et autres animaux. Certaines plantes sont à pollinisation croisée obligatoire, nécessitant le pollen d'une fleur d'une autre plante. La plupart des arbres fruitiers des régions tempérées et tropicales sont à pollinisation croisée obligatoire dépendants d'insectes ou de petits animaux pour la pollinisation. Bien qu'il existe des cas bien documentés où la faible fructification des cultures—et la réduction du rendement qui en résulte—a été attribuée au déclin des pollinisateurs, peu de travaux ont été réalisés pour étudier le rôle de la diversité variétale des arbres fruitiers eux-mêmes dans la promotion de l'hybridation croisée et d'une meilleure production de fruits.

TABLEAU 6.1. PRINCIPAUX GROUPES FONCTIONNELS D'ORGANISMES DU SOL.

<i>Groupe fonctionnel</i>	<i>Influence</i>
Vers de terre	<ul style="list-style-type: none"> la porosité du sol et les relations entre les nutriments du sol par la canalisation et l'ingestion de matières minérales et/ou organiques
Termites et fourmis	<ul style="list-style-type: none"> la porosité et la texture du sol par la construction de tunnels, l'ingestion et le transport du sol et la construction de galeries les cycles de nutriments par le transport, le broyage et la digestion de la matière organique
Autres macrofaunes telles que les cloportes, les mille-pattes et certains types de larves d'insectes	<ul style="list-style-type: none"> agissent comme transformateurs de litière, avec une action de broyage importante sur les tissus végétaux morts et leurs prédateurs (centipèdes, arachnides plus grands, quelques autres types d'insectes)
Nématodes	<ul style="list-style-type: none"> retournent le sol en tant que brouteurs de racines, fongivores, bactériovores, omnivores et prédateurs occupent les petits espaces poreux existants dans lesquels ils sont dépendants des films d'eau ont généralement une très grande richesse générique et d'espèces
Mycorhizes	<ul style="list-style-type: none"> s'associent aux racines des plantes, ce qui améliore la disponibilité des nutriments et réduit les attaques des plantes par les agents pathogènes des plantes les différentes variétés d'une culture peuvent répondre différemment à l'inoculation avec des mycorhizes (blé), et la colonisation par les mycorhizes dépend du génotype de l'hôte (millet perlé)
Rhizobia	<ul style="list-style-type: none"> les microsymbiotes fixateurs d'azote, qui transforment le N₂ en formes utilisables pour la croissance des plantes
Biomasse microbienne	<ul style="list-style-type: none"> une mesure indirecte de la communauté totale de décomposition et recyclage des nutriments d'un sol. La biomasse microbienne provient de trois taxons très divers: les champignons, les protistes et les bactéries (dont les archées et les actinomycètes); cependant, il n'est généralement pas pratique de les séparer lors des mesures. L'estimation de la biomasse microbienne dépend généralement d'une des méthodes chimiques brutes (lyse des cellules, suivie par la détermination de l'azote total (et du phosphore), la conversion de ces valeurs en équivalent C, et des comparaisons avec des échantillons témoins). Cela peut donc avoir une résolution relativement faible, mais permet d'évaluer la communauté des décomposeurs dans son ensemble.

Sources: Swift et Bignell (2001); Moreira *et al.* (2008).

Les pollinisateurs ont des besoins et des cycles de vie différents. De nombreux animaux pollinisateurs dépendent de zones non perturbées ou naturelles dans le cadre de leur cycle de vie. Il existe de nombreuses et différentes espèces et sous espèces d'insectes qui se nourrissent de plantes à différents temps de la journée ou de l'année, et à différentes températures. Des directives ont été récemment élaborées pour détecter et évaluer les déficits de pollinisation chez les cultures, et pour proposer des actions possibles afin d'éliminer ou de réduire ces déficits (Vaissière *et al.*, 2011). La sélection de génotypes attirant les pollinisateurs pour certaines cultures a été envisagée comme stratégie de gestion visant à améliorer les services de pollinisation (Jackson et Clarke 1991; Suso *et al.*, 1996).

Caractérisation et Classification par les Agriculteurs des Composantes Abiotiques et Biotiques des Ecosystèmes Agricoles

Bien que les agriculteurs n'expriment pas nécessairement leur compréhension des facteurs abiotiques et biotiques en utilisant une terminologie scientifique, ils possèdent néanmoins une richesse de connaissances écologiques sur les conditions météorologiques, les sols et l'humidité disponible, sur les interactions entre leurs cultures et les mauvaises herbes, les ravageurs et les maladies, ainsi que sur d'autres éléments de l'environnement agricole. Le savoir écologique traditionnel est la mémoire collective de la dynamique homme-environnement dans les systèmes socioécologiques. Plus cette mémoire est longue, plus nous pouvons nous attendre à ce que les connaissances écologiques traditionnelles reflètent avec précision les complexités des interactions socioécologiques et facilitent l'adaptation des communautés aux changements dans les écosystèmes environnants. Les connaissances traditionnelles sur l'utilisation des plantes, la gestion des paysages et les processus écologiques dans les écosystèmes des agriculteurs peuvent faire partie intégrante des structures organisationnelles et institutionnelles—c'est-à-dire, les institutions sociales évoquées plus en détail au chapitre 8, qui façonnent les interactions des personnes avec le paysage et qui régulent l'utilisation des ressources (Olsson *et al.*, 2004). Van Oudenhoven et ses collègues (2011), Berkes et ses collègues (2000), Nabhan (2000) et Bentley et ses collègues (2009) analysent tous un certain nombre d'études qui décrivent les façons particulières dont les peuples traditionnels dans diverses zones géographiques comprennent les processus écologiques.

Un point de départ pour apprécier les connaissances écologiques des agriculteurs consiste à reconnaître que leur compréhension est systématique. Les agriculteurs et autres habitants des zones rurales possèdent des taxonomies populaires détaillées permettant d'identifier et de classer les composantes abiotiques et biotiques de l'environnement. Sur la base de leurs expériences et de leurs perceptions, les agriculteurs caractérisent et développent des systèmes de classification ou des ethnotaxonomies pour les plantes, les animaux, les sols, les phénomènes météorologiques, les types de végétation, les reliefs (par exemple, collines, rivières et autres caractéristiques topographiques), les stades de la succession écologique, les ravageurs et les maladies, les mauvaises herbes, les compétiteurs végétaux, les mutualistes et d'autres domaines écologiques (Tableau 6.2). Les questions à poser sont les suivantes: comment les agriculteurs locaux classent-ils les différents domaines qui constituent leur environnement, à commencer par les caractéristiques géographiques qui dominent le paysage? Ces caractéristiques sont-elles importantes pour les agriculteurs dans leur sélection et leur gestion des variétés de cultures?

Les agriculteurs peuvent classer les caractéristiques de l'écosystème en se basant en partie sur ses propriétés physiques, morphologiques et chimiques, telles que la texture et la couleur des sols. Les systèmes de classification écologique des agriculteurs peuvent être une indication des caractéristiques environnementales qui sont particulièrement importantes ou pertinentes pour la culture de diverses variétés. Par exemple, une ethnotaxonomie très détaillée de la pluviométrie ou des régimes de précipitations dans une région donnée peut révéler que la variabilité des précipitations est une caractéristique déterminante pour les agriculteurs de l'agroécosystème et un facteur qui influence fortement leurs choix de variétés. En haute altitude, la gravité et la fréquence du gel et de la grêle peuvent être une préoccupation majeure (Encadré 6.1).

Outre la classification des environnements qui les entourent, les agriculteurs du monde entier sont pleinement conscients du changement climatique et de ses impacts sur leurs systèmes agricoles. Les observations les plus fréquentes des agriculteurs sont des températures plus élevées en moyenne (en particulier des nuits plus chaudes) et des précipitations plus irrégulières et plus rares, ce qui correspond très bien aux données météorologiques régionales comme le montrent les études réalisées jusqu'à présent (Gbetibouo, 2009). Dans une analyse de 172 études de cas, Mijatovic' et ses collègues (2012) décrivent l'utilisation de la biodiversité agricole et des connaissances traditionnelles associées pour renforcer la résilience aux stress liés au changement climatique.

TABLEAU 6.2. UNE LISTE SUGGÉRÉE DE DOMAINES ENVIRONNEMENTAUX ET DE LEURS DIMENSIONS À DISCUTER AVEC LES AGRICULTEURS.

<i>Domaine</i>	<i>Dimensions à discuter avec les agriculteurs</i>
Relief	Élévation, emplacement et forme; comprend les sommets des collines, les rivières, les fonds des vallées, les plateaux et les falaises
Sol	Couleur, texture, fertilité, acidité-alcalinité, maniabilité, humidité, consistance, profil de drainage, utilité, salinité, matière vivante dans le sol, sensibilité à l'érosion du sol, lessivage
Climat	Température, précipitations, évapotranspiration, altitude, exposition, topographie (y compris la position des masses terrestres et des plans d'eau), vent, saisonnalité
Type de végétation environnante	Composition floristique (y compris les espèces dominantes), étendue de la gestion humaine/perturbation, espèces indicatrices de la végétation environnante, mauvaises herbes
Zone d'utilisation des terres	Technologie appliquée, étendue de la gestion, distance par rapport au foyer, la propriété
Stade de succession écologique	Importance de la culture itinérante, nombre d'années de jachère, étendue de la perturbation originale

Ils notent que les communautés locales elles-mêmes ont exprimé la nécessité d'assurer la résilience au changement climatique dans leurs agroécosystèmes.

Certaines modifications apportées par les agriculteurs à leurs écosystèmes sont censées être permanentes, comme les champs en terrasses pour réduire l'érosion, même si elles nécessitent un entretien régulier au fil du temps pour fonctionner correctement (Stanchi *et al.*, 2012). D'autres modifications sont gérées sur une échelle de temps de plusieurs années ou décennies, comme c'est le cas avec la rotation des champs et des jachères forestières, tandis que d'autres interventions sont encore plus à court terme, comme le désherbage quotidien pour éliminer les compétiteurs de la culture. Les interventions de gestion peuvent intervenir à différents stades du développement d'une culture, et leur impact peut varier en conséquence. Une intervention temporaire comme le désherbage peut avoir lieu plusieurs fois au cours d'une campagne agricole. Aussi, le type précis de réponse de l'agriculteur peut varier dans son degré ou sa quantité. Par exemple, différentes pratiques de désherbage ou de rotation des cultures peuvent avoir des effets variables sur les cultures. Les intrants comme les pesticides, les engrais et les herbicides peuvent être naturels ou synthétiques, et les effets de chacun d'entre eux peuvent être différents.

Souvent, un calendrier saisonnier peut être élaboré avec le groupe d'agriculteurs (Figure 6.1). L'utilisation d'un calendrier circulaire plutôt que linéaire a permis de décrire l'ensemble du cycle en un seul diagramme compact.

Encadré 6.1. Tolérance au Gel et à la Grêle chez le Quinoa Combinée au Savoir Traditionnel

Le gel se produit 200-220 jours par an dans les hauts plateaux boliviens, et la grêle se produit presque au hasard pendant les saisons pluvieuses. L'absence de nuages dans le ciel, les vents d'ouest à basse vitesse (désert d'Atacama) ou les vents du nord (montagnes de neige) sont utilisés par les agriculteurs locaux comme indicateurs clés de l'occurrence du gel dans les hauts plateaux boliviens. Les indicateurs clés pour prédire l'occurrence de la grêle sont une température diurne élevée, des nuages sombres et localisés et l'absence de vent. La prédiction peut être faite deux à trois heures à l'avance. La connaissance des indicateurs climatiques par les agriculteurs leur permet d'identifier soit les zones où le gel ou la grêle surviennent fréquemment, soit les zones où les deux phénomènes se produisent en même temps. Selon le témoignage des producteurs, les zones à risque de gel et de grêle sont bien connues. En utilisant ces connaissances, ils ont établi une carte imaginaire associée aux systèmes de culture. Les zones à haut risque de gel sont les plaines plates et basses où l'eau se concentre habituellement, tandis que les zones à faible risque de gel sont les collines.

Les stratégies de gestion du risque du gel sont spécifiques à un microécosystème et comprennent les dates de semis et les caractéristiques variétales: semis sur les collines où le gel se produit rarement, dates de semis plus larges, et variétés à maturation tardive ou précoce selon les dates de semis. Les pratiques visant à réorienter la trajectoire de la grêle comprennent la production de fumée et le lancement de pétards. Une autre pratique consiste à mettre des feux autour des sites de culture pendant les nuits froides. Chaque communauté désigne un ou deux de ses habitants pour l'avertir de l'imminence de la grêle. En réponse à une alerte, les agriculteurs et les bergers font de la fumée pour dévier la trajectoire de la grêle ou pour réduire son intensité (Source: Bonifacio [2006]).

Les agriculteurs peuvent s'appuyer sur des systèmes de classification comme lignes directrices pour déterminer où et quand cultiver une variété particulière. Ils cultivent certaines variétés en association avec une topographie, des sols, des stades de succession spécifiques et même des variétés d'autres espèces de cultures, comme dans le cas des systèmes de cultures intercalaires. Dans un système de culture itinérante ou d'agroécosystème changeant, les agriculteurs peuvent cultiver différentes variétés ou espèces dans une parcelle en fonction du nombre d'années pendant lesquelles la parcelle est restée en jachère et du stade de succession de la repousse de la végétation. Dans un système de cultures intercalaires, la diversité génétique des principales espèces de cultures peut être corrélée, avec des complexes variétaux de différentes espèces cultivées ensemble en fonction du temps de maturation, de l'adaptation aux sols ou d'autres caractéristiques.

Au Yucatán, au Mexique, les agriculteurs du village de Yaxcabá utilisent un système populaire de classification des sols qui est d'une complexité similaire à la taxonomie formelle des sols, et qui est indispensable pour comprendre la culture des variétés locales (Tableau 6.3). Les agriculteurs de Yaxcabá cultivent des variétés de maïs sur des sites présentant des caractéristiques pédologiques et topographiques spécifiques, en fonction du temps nécessaire à leur maturité.

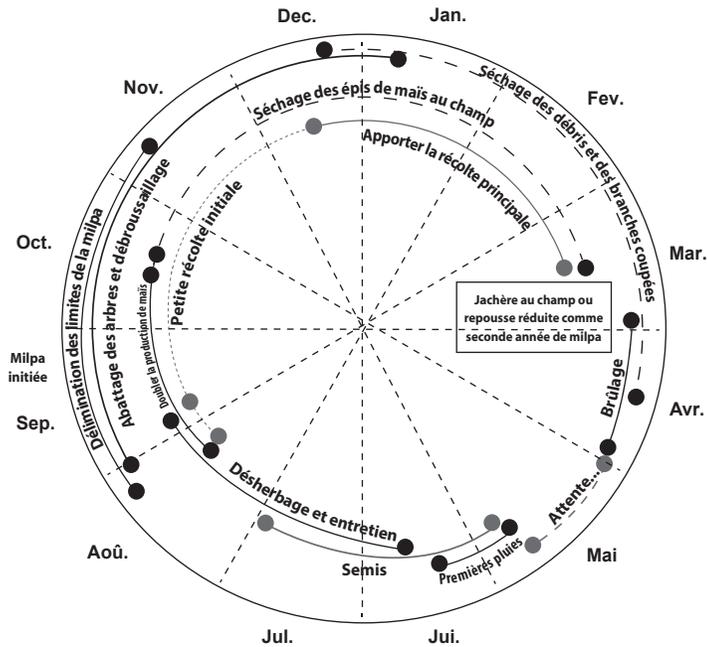


Figure 6.1. Exemple de calendrier saisonnier: le cycle des activités impliquées dans l'agriculture milpa au Yucatán, au Mexique. Ce diagramme devrait être lu dans le sens des aiguilles d'une montre, en commençant en bas à gauche, car le cycle commence à ce niveau et se déroule de façon circulaire sur une période de 15 à 18 mois. (Diagramme élaboré par John Tuxill à partir des entretiens avec des agriculteurs à Yaxcaba, Yucatán; reproduit avec la permission de l'auteur)

Les agriculteurs ciblent de préférence leurs variétés de maïs, de haricots et de courges à maturation précoce sur des sols rouges et noirs profonds et à grains fins (k'ankab et box-lu'um dans le tableau 6.3), dont l'étendue est généralement très limitée, tout en cultivant des variétés à cycle long sur les sols peu profonds et pierreux plus abondants (Arias et *al.*, 2000).

En ce qui concerne les plantes et les animaux présents dans les systèmes de production des agriculteurs, les ethnobiologistes ont constaté que les taxonomies populaires peuvent se comparer assez étroitement à la systématique linnéenne formelle à l'échelle des espèces. Des études menées dans des endroits aussi disparates que le Mexique et la Papouasie-Nouvelle-Guinée ont montré que les ethnotaxonomies des cultures agricoles indigènes reconnaissent un nombre d'espèces de la flore et de la faune locales similaire à celui identifié par les botanistes et zoologistes dans des inventaires systématiques détaillés (Berkes, 2008). À des niveaux taxonomiques supérieurs à celui des espèces, la

correspondance est moins évidente, principalement parce que, contrairement à la taxonomie linnéenne, les ethnotaxonomies n'utilisent pas les relations évolutives comme principal concept d'organisation. Il existe également moins de correspondance pour les groupes d'organismes qui ne sont pas facilement observés (par exemple, les insectes par rapport aux oiseaux) ou pour les groupes présentant une moindre importance pour la vie des populations rurales. D'autre part, les organismes ayant une importance culturelle particulièrement élevée, comme les variétés de cultures, ont tendance à être surdifférenciés dans les taxonomies populaires (Hunn, 1993). Cela a des implications importantes pour la corrélation entre les noms vernaculaires des variétés de plantes cultivées et les profils réels de diversité génétique des cultures, comme cela a été évoqué au chapitre 5.

Des informations sur l'importance relative des facteurs de l'agroécosystème local peuvent être systématiquement collectées auprès des agriculteurs grâce aux méthodes de diagnostic participatif présentées au chapitre 5. Comme mentionné précédemment, les observations et la quantification des connaissances des agriculteurs devraient être liées à l'observation au champ et aux données expérimentales de champ et de laboratoire. Les pratiques les plus courantes pour identifier les connaissances et les croyances des agriculteurs sur les composantes environnementales de leurs écosystèmes sont: (1) la schématisation et la visualisation participatives, qui comprennent des dessins au trait et la réalisation de diagrammes pour illustrer et expliquer les processus, les relations et les structures, (2) la cartographie participative, qui comprend la cartographie de transects et le marquage des limites pour localiser et orienter les composantes à travers le paysage, et (3) le classement et la notation participatifs pour classer et trier les informations sur les différentes caractéristiques d'un attribut ou d'un état de l'environnement afin de catégoriser, de prioriser et de comparer les différentes composantes (Tuxill et Nabhan, 2000). La cartographie de transects est une méthode couramment utilisée pour recueillir les connaissances des agriculteurs sur leurs perceptions de leurs écosystèmes agricoles. La cartographie de transects implique une marche du groupe à travers la zone cultivée (généralement du point le plus élevé au point le plus bas) afin de lui permettre d'identifier et de décrire les principales caractéristiques topographiques de la zone, les types de végétation existants, la distribution des cultures et les contraintes biophysiques.

Les perceptions des agriculteurs concernant les ravageurs et les maladies peuvent être recueillies de la même manière que les méthodes décrites au chapitre 5 pour déterminer la cohérence des noms des variétés. Dans une étude

TABLEAU 6.3. CORRESPONDANCE ENTRE LA CLASSIFICATION LOCALE DES SOLS AU YUCATÁN, AU MEXIQUE ET LA TAXONOMIE SCIENTIFIQUE FORMELLE DES SOLS.

<i>Sol*</i>	<i>Tsek'el</i>	<i>Box-lu'um</i>	<i>Pus-lu'um</i>	<i>Ek-lu'um</i>	<i>Chak-lu'um</i>	<i>K'ankab</i>	<i>Ya'axom</i>	<i>Ak'alche</i>
Lithosol	X							
Rendzina		X	X		X	X		
Cambisol				X	X	X		
Luvisol				X	X	X	X	
Nitosol						X		
Vertisol							X	X
Gleysol								X

*FAO 1990.

(De Juan Rodriguez, 2000, avec la permission de Bioversity International)

réalisée en Ouganda par Mulumba *et al.* (2012), visant à déterminer les connaissances et les perceptions des agriculteurs sur les ravageurs et les maladies et les interactions hôtes/pathogènes, il a d'abord été demandé aux agriculteurs de diviser le matériel végétal qu'ils ont apporté à la séance de discussion en deux groupes: les plantes saines et les plantes non saines. Ensuite, les agriculteurs ont de nouveau divisé le groupe de plantes non saines à partir de ce qu'ils percevaient comme attaquées par différents ravageurs et maladies en se basant sur les symptômes qu'ils reconnaissaient sur les plantes. Les descriptions des symptômes des maladies et des ravageurs observés sur les plantes ont été collectées, comprenant une liste des symptômes sur les différentes parties de la plante (feuille, tige, fruit, racine) et à différents stades de croissance. Les agriculteurs ont également été invités à définir clairement ce qu'ils percevaient comme différents stades de croissance des plantes. Des photos d'autres maladies non apportées à la réunion ont ensuite été montrées, et les agriculteurs ont été invités à identifier et à donner tous les noms qu'ils avaient pour ces maladies. Les agriculteurs ont ensuite été invités à classer la sévérité des dommages causés par les différents ravageurs et maladies identifiés et, enfin, à classer les variétés en fonction de leur niveau de résistance au complexe ravageurs maladies dans

TABEAU 6.4. CLASSIFICATION ET DESCRIPTEURS UTILISÉS PAR LES AGRICULTEURS POUR LES RAVAGEURS ET LES MALADIES DES CULTURES DANS LES AGROÉCOSYSTÈMES OUGANDAIS.

Nom scientifique	<i>Colletotrichum indemuthianum</i>	<i>Phaeoisariopsis griseola</i>	<i>Ophiomyia phaseoli</i> , <i>O. spencerella</i>	<i>Cosmopolites sordidus</i> (Germer)	<i>Helicotylenchus multincincus</i> (Cobb), <i>Pratylenchus goodeye</i> (Sher and Allen)	<i>Mycosphaerella fijiensis</i>
Nom commun	Anthraxose	Tache angulaire	Mouche du haricot	Charançon du bananier	Nématodes	Cercosporiose noir
Nom(s) attribué(s) par l'agriculteur	Ensemble de symptômes (pas de nom spécifique)	Amatologojjo	Ekisanzire	Kajojo, Kayovu, Kisokomi, ekikoko	Lusensera, Enjoka	Ensemble de symptômes (pas de nom spécifique)
Descripteurs utilisés par les agriculteurs	Pourriture des feuilles de la plante à partir de la partie supérieure, gousses imbibées d'eau, pas de formation de graines, formation de lésions brunes le long des bords des feuilles et des tiges.	Gousses pourries, gousses endommagées*	Plantes jaunes*	Le bulbe tend à émerger du sol, les feuilles deviennent jaunâtres, la gaine sèche et reste attachée à la tige, des trous dans le bulbe lorsqu'il est coupé, la chute des feuilles à un stade précoce, la grappe est naine et désagréable lorsque la pseudo-tige est fendu, bande colorée.	Les racines pourrissent et se dessèchent, les racines sont affaiblies, ce qui entraîne le renversement, la réduction du rendement, le durcissement des aliments, les doigts deviennent durs et secs au moment de la récolte, le bulbe corrosif, gonflement et fissure de la gaine, le séchage des racines avant le renversement de la plante.	Feuilles sèches sur les bords, séchage de l'extrémité des feuilles, taches sèches sur les feuilles, plante sèche mais ne tombe jamais, doigt rabougri, tige possède des taches noires, feuille centrale sèche, les doigts des bouquets ne grandissent pas à la taille requise.

Partie de la plante affectée (descripteurs utilisés par les agriculteurs)	Feuilles, gousses, tige	Gousses	Racine, tige, feuilles	Bulbe, tige	Racines	Feuilles
Stade principal de sévérité (descripteurs des agriculteurs)	Floraison, formation des gousses	Floraison, formation des gousses	Plantule	Juvenile, floraison, récolte; tous les stades	Tous les stades	Régénération
Importance accordée par les agriculteurs par rapport aux autres ravageurs et maladies dans le système des agriculteurs par site						
Nakaseke	Élevé	Élevé	Élevé	Élevé	Élevé	Moyen
Kabwohe	Élevé	Élevé	Élevé	Élevé	Faible	Faible
Rubaya	Élevé	Élevé	Élevé	-----	-----	-----
Bunyaruguru	-----	-----	-----	Élevé	Élevé	Élevé

* Les agriculteurs ont mentionné les symptômes, mais n'ont jamais nommé la maladie. Une grande importance a également été accordée à ces symptômes dans tous les sites (Source: Mulumba et al., 2012).

leurs systèmes. Il a été également demandé aux agriculteurs de dessiner ce qu'ils pensent être la source des différents ravageurs et maladies dans leurs systèmes, et à décrire les pratiques qu'ils utilisent pour sélectionner le bon matériel végétal de plantation et pour gérer les ravageurs et les maladies. Le tableau 6.4 est un exemple des résultats.

Réduction de la Dimensionnalité des Ensembles de Données Complexes

Le site pour la conservation à la ferme peut avoir une diversité de facteurs agroécosystémiques; des sols différents; une incidence des mauvaises herbes, des maladies et/ou des pratiques de gestion; et un nombre différent d'espèces végétales ou animales. La diversité alpha fait référence à la diversité au sein d'une zone ou d'un écosystème particulier, et elle est généralement exprimée par le nombre d'espèces (c'est-à-dire la richesse en espèces) dans cet écosystème. La diversité bêta fait référence au changement dans la composition des espèces d'un endroit à un autre (par exemple, d'un champ d'un agriculteur à un autre ou le long de gradients environnementaux). Dans la diversité bêta, le nombre total d'espèces ou d'entités qui sont uniques à chacun des écosystèmes comparés est compté. La diversité gamma est une mesure de la diversité globale d'une région ou d'un paysage (Whittaker, 1972).

Un ensemble typique de données sur les agroécosystèmes peut documenter des dizaines de facteurs (abiotiques, biotiques et de gestion de l'écosystème, provenant de mesures empiriques et de descriptions des agriculteurs), et il est impossible pour l'esprit d'envisager simultanément les dimensions de cet ensemble de données. Comme indiqué au chapitre 5, l'une des premières étapes de toute analyse consiste donc à simplifier l'ensemble de données en déterminant les dimensions les plus importantes pour décrire la variation globale au sein des données. Pour décider quelles variables seront au centre de la collecte de données agroécologiques, la première étape consiste à consulter directement les agriculteurs. Ceux-ci peuvent souvent fournir une vision sans égale sur les facteurs environnementaux locaux et leurs effets sur la production agricole, ainsi que sur les mesures qui pourraient être prises pour minimiser leurs impacts lorsqu'ils sont problématiques. Certains facteurs peuvent être des stress environnementaux auxquels les variétés traditionnelles se sont adaptées, tandis que d'autres peuvent limiter les possibilités de production ultérieure. En général, les points focaux de la recherche agroécologique pour la diversité génétique des plantes cultivées sont:

- l'identification des principaux gradients abiotiques ou biotiques qui influencent l'étendue et la distribution de la diversité génétique des plantes cultivées, et
- la caractérisation des facteurs abiotiques et biotiques que les agriculteurs considèrent comme contraignants ou limitants.

Classification et Ordination

La classification et l'ordination sont deux techniques statistiques courantes qui permettent de réduire la dimensionnalité de l'ensemble des données complexes. Ces méthodes multivariées peuvent être utilisées pour explorer les relations entre les sites d'étude ou les champs en fonction de leurs multiples caractéristiques abiotiques, biotiques et de gestion, mais également pour les relations entre les échantillons des cultures en fonction de traits morphologiques et/ou de marqueurs génétiques (chapitres 4 et 5), et entre les foyers en fonction de caractéristiques sociales et économiques (chapitres 8 et 9). En outre, les méthodes de cartographie peuvent aider à identifier les relations entre la diversité génétique des cultures et les informations agroécologiques et socioéconomiques à différentes échelles spatiales.

Les méthodes de classification regroupent en catégories les entités présentant des caractéristiques similaires. Les méthodes peuvent être hiérarchiques, aboutissant à un dendrogramme, ou non hiérarchiques, donnant simplement lieu à des groupes d'échantillons similaires. Pour chacune d'entre elles, il existe de nombreux et différents algorithmes de regroupement, qui aboutissent souvent à des résultats très différents avec le même ensemble de données. La classification non hiérarchique est nettement plus rapide et donc souvent meilleure pour les grands ensembles de données (Gauch, 1982).

Les méthodes d'ordination organisent les échantillons dans l'espace sur un graphique à deux ou trois dimensions, de telle sorte que leurs positions reflètent leur similarité. Les échantillons similaires, tels que les champs des agriculteurs présentant des caractéristiques similaires, sont situés à proximité les uns des autres, tandis que les échantillons de plus en plus différents sont situés de plus en plus loin les uns des autres. Si deux variables sont fortement corrélées, l'une des deux pourrait être utilisée comme une approximation de l'autre, ce qui indique la présence d'une redondance dans les données (Causton, 1988). Des techniques d'ordination peuvent être utilisées pour identifier ces corrélations afin de réduire le nombre de variables considérées.

Les méthodes d'ordination peuvent être basées sur la distance, telles que l'ordination polaire (PO) et l'analyse multidimensionnelle ou les Analyses en Coordonnées Principales (PcoA)—qui se basent sur une matrice carrée et symétrique de distance ou de similarité. D'autres méthodes d'ordination sont basées sur la corrélation, telles que l'Analyse en Composantes Principales (PCA) décrite au chapitre 5, l'Analyse Factorielle des Correspondances (RA) et l'analyse des correspondances redressée (DCA). Ces dernières méthodes sont basées sur des matrices de covariance ou de corrélation plutôt que sur des matrices de distance ou de similarité.

La régression multiple est utilisée pour mieux connaître la relation entre plusieurs variables indépendantes, ou prédictives, et une variable dépendante, ou critère. La régression multiple est abordée dans le contexte des modèles économétriques au chapitre 9. Elle peut également être utilisée pour permettre au chercheur de poser, voire de répondre à la question générale "Quel est le meilleur prédicteur de...?" Une autre technique utilisée pour relier un groupe de variables dépendantes à un groupe de variables indépendantes, comme par exemple relier la distribution des variétés à un certain nombre de facteurs agro-écologiques, à un certain type de foyer ou à un certain groupe ethnique ou de genre, est l'analyse canonique des corrélations (CCA) qui relie un groupe de variables dépendantes à un groupe de variables indépendantes. L'analyse discriminante binaire (BDA) est utilisée pour relier les modèles d'espèces aux données environnementales. Les données environnementales doivent être exprimées uniquement sous forme multiétats, et les données sur les plantes sous forme de présence/absence. L'analyse discriminante binaire est utile pour les données qui couvrent une large échelle géographique ou lorsque seules les données de présence/absence sont disponibles. L'analyse discriminante multiple (MDA) est utilisée sur des groupes prédéterminés, qui peuvent être définis par des méthodes de classification ou d'ordination antérieures. L'analyse discriminante multiple est utilisée pour caractériser les différences et les chevauchements entre ces groupes prédéterminés, ainsi que leurs taxons de diagnostic.

Systèmes d'Information Géographique et Télédétection: Cartographie des Relations

De nombreux phénomènes dans la nature montrent une certaine forme d'autocorrélation spatiale. Autrement dit, la valeur d'un facteur environnemental à un endroit donné est fortement corrélée à sa valeur dans les endroits voisins. Ces relations spatiales au sein et entre les facteurs peuvent être explorées à l'aide

d'un système d'information géographique (GIS). Un système d'information géographique est un système de gestion de base de données qui peut traiter simultanément des données spatiales sous forme de graphiques—c'est-à-dire des cartes ou des «où»—et des données d'attributs non spatiales logiquement rattachées—c'est-à-dire les labels et les descriptions des différentes zones ou points d'une carte, ou le «quoi». L'application du système d'information géographique à la conservation à la ferme présente le défi d'intégrer les données démographiques, socioéconomiques, culturelles et autres sur les populations humaines aux données sur l'environnement biophysique et les taxons cibles.

Le DIVA-GIS (<http://www.diva-gis.org/>), est un programme informatique qui présente un intérêt particulier pour les données relatives aux espèces cultivées et à la diversité génétique ainsi qu'à leur distribution. Il s'agit d'un logiciel gratuit de cartographie et d'analyse de données géographiques conçu pour élucider les profils génétiques, écologiques et géographiques de la distribution des espèces cultivées et sauvages (Hijmans et *al.*, 2001). Il peut être utilisé pour réaliser des cartes quadrillées de la distribution de la diversité biologique afin de déterminer les zones présentant des niveaux de diversité élevés, faibles ou complémentaires. La version actuelle (2012) permet la modélisation de la distribution des espèces (modélisation de la niche écologique, modélisation de l'enveloppe climatique). Elle combine cela avec des options pour cartographier et consulter les données climatiques et prévoir les distributions des espèces pour différents modèles climatiques.

La télédétection (RS) est la science qui consiste à obtenir des informations sur un objet en acquérant des données à l'aide d'un appareil généralement éloigné de l'objet d'intérêt (avions ou satellites). La télédétection est basée sur le principe que tout objet physique à la surface de la Terre absorbe ou réfléchit le rayonnement électromagnétique, des ultraviolets (UV) à ondes courtes aux micro-ondes à ondes longues, et que la source ultime de ce rayonnement est le soleil. Dans le cas des plantes, les différentes quantités de chlorophylle dans les feuilles absorbent une quantité différente de rayonnement lumineux, ce qui nous permet d'obtenir des informations sur l'état phénologique des plantes, le type de plante, l'impact des ravageurs, etc. L'eau et le sol adsorbent et réfléchissent la lumière en fonction de leurs propriétés physiques. Ainsi la télédétection peut fournir des informations sur la présence ou l'absence de ressources en eau ou sur le degré d'humidité du sol. Enfin, les données de télédétection peuvent fournir un ensemble de données auxiliaires telles que la température de l'air, l'extension de la surface verte, etc., qui sont utiles pour la gestion environnementale.

L'un des principaux avantages des données de télédétection est que toutes ces informations peuvent être fournies sur de grandes surfaces. Par exemple, le satellite Landsat ETM+ peut fournir une «scène» couvrant une zone de 185 × 185 km, avec une résolution spatiale de 30 m par pixel. Cela signifie que sur une grande surface, nous pouvons distinguer une différence tous les 30 mètres. Cependant, dans certains cas, une résolution spatiale de 30 m est trop approximative. Une nouvelle génération de détecteurs est maintenant disponible et peut fournir des images avec une résolution de quelques mètres par pixel—par exemple, les satellites SPOT fournissent des résolutions spatiales moyennes de 20 m jusqu'à 2,5 m et sont capables de cartographier la végétation à l'échelle de la communauté ou au niveau des espèces (pour une synthèse sur les détecteurs voir Xie et *al.*, 2008).

Ainsi, selon le but de la recherche, la première étape consiste à évaluer la résolution spatiale et la résolution temporelle, ou «le temps de revisite» (la période comprise entre les passages répétés au-dessus d'un objet télédéecté) si l'intérêt porte également sur l'analyse de données de séries temporelles. L'étape suivante consiste à identifier l'indice de végétation afin de quantifier les concentrations de végétation des feuilles vertes dans une zone, extrapolé à partir des images satellites brutes. L'indice de végétation le plus utilisé et le plus connu est probablement l'indice de végétation par différence normalisée (NDVI), qui nous permet de quantifier les concentrations de végétation des feuilles vertes dans une zone donnée. Le principal avantage de cet indice réside dans le fait que de longues séries chronologiques (plus de 20 ans) sont disponibles et prêtes à être utilisées comme couche dans le système d'information géographique ou pour d'autres évaluations statistiques. Dans le domaine de la gestion de cultures, le NDVI est souvent utilisé en combinaison avec d'autres indices pour obtenir la meilleure information pour la gestion des différentes cultures (pour une synthèse sur les indices de végétation dans la gestion des cultures, voir Hatfield et Prueger, 2010). De nombreux produits de télédétection sont disponibles sous forme de cartes prêtes à être utilisées et sont souvent gratuits (voir l'annexe B pour une liste partielle des ressources disponibles sur internet). Le principal inconvénient de ces produits disponibles gratuitement est que souvent leur résolution est trop approximative pour fournir des images à haute résolution.

Diversité et Fonctions des Ecosystèmes

Chaque fois qu'une espèce ou une variété de l'écosystème agricole connaît une extinction locale, les voies d'acheminement de l'énergie et des nutriments

sont perdues, ce qui entraîne des altérations de l'efficacité de l'écosystème et de la capacité des communautés à réagir aux fluctuations environnementales. Les services de régulation sont des services obtenus à partir de la régulation des processus écosystémiques tels que la séquestration du carbone et la régulation du climat, le contrôle des ravageurs et des maladies, la régulation de l'eau et la pollinisation. Ils assurent la qualité de l'eau et l'efficacité de la pollinisation, et réduisent la vulnérabilité des cultures aux maladies et aux arthropodes nuisibles ainsi qu'aux risques naturels (inondations, sécheresse). Les services de soutien comprennent le cycle hydrologique, le cycle des éléments nutritifs du sol et la formation du sol. Dans les écosystèmes naturels, la relation entre la diversité et les services de régulation et de soutien de l'écosystème a été largement traitée dans la littérature (Diaz et Cabido, 2001). Récemment, l'attention s'est portée sur le rôle potentiel de la diversité génétique des cultures dans les écosystèmes agricoles concernant la fourniture des services de régulation et de soutien des écosystèmes. Hajjar et ses collaborateurs (2008) proposent un cadre pour examiner le rôle potentiel de la diversité génétique des cultures dans le soutien de traits fonctionnels accrus et des interactions facultatives pour d'autres composantes biotiques de l'écosystème agricole (Figure 6.2).

La diversité fonctionnelle est la valeur et la gamme des traits d'une entité plutôt qu'un simple nombre d'entités différentes. Les traits fonctionnels sont ceux qui définissent les espèces en fonction de leurs rôles écologiques—comment elles interagissent avec l'environnement et avec d'autres espèces (Diaz et Cabido, 2001). Les interactions facilitatrices sont des interactions positives qui se produisent entre les espèces ou les variétés (Mulder et al., 2001). Il a été démontré que la diversité génétique des cultures, sous la forme de divers ensembles de variétés traditionnelles, a un effet direct sur les fonctions de l'écosystème en fournissant à la fois un nombre croissant de traits fonctionnels et une augmentation des interactions facilitatrices, conduisant à la promotion de la diversité associée en-dessous (organismes du sol) et au-dessus (pollinisateurs) du sol. Dans certains cas, les polymorphismes génétiques des plantes à fleurs influencent, le butinage des pollinisateurs, qui à son tour peut influencer le type et l'abondance de la pollinisation, et ainsi le maintien des populations de pollinisateurs. Un rôle plus largement documenté est celui de la diversité génétique des cultures sous la forme d'une augmentation de la diversité variétale des cultures dans les champs des agriculteurs, permettant de contrôler les ravageurs et les maladies (discuté plus en détail dans le chapitre 7).

Hajjar et ses collègues (2008) affirment que la diversité génétique des cultures favorise le maintien continu de la biomasse en augmentant la stabilité à long terme de l'écosystème face aux stress abiotiques et biotiques et à la variabilité sociale et économique, ce qui améliore indirectement les services de régulation et de soutien de cet écosystème comme la séquestration du CO₂ et la réduction de l'érosion du sol.

Le débat se poursuit pour déterminer les niveaux et les échelles auxquels la diversité génétique des cultures au sein des agroécosystèmes fournit les services écosystémiques permettant de réduire la pauvreté dans les écosystèmes agricoles, et les pratiques de gestion qui ont le potentiel d'utiliser la diversité génétique des cultures pour améliorer ou créer des services d'écosystème. Un autre domaine de travail consiste à identifier les services écosystémiques fournis par les ressources génétiques des cultures qui sont les plus menacés par des pratiques agricoles non durables.

Lectures Complémentaires

- Ahrens, C. D. 2012. *Meteorology Today: An Introduction to Weather, Climate, and the Environment*, 10th ed. Brooks/Cole, Belmont, CA.
- Brady, N. C., and R. R. Weil. 2007. *The Nature and Properties of Soils*, 14th ed. Prentice-Hall, Upper Saddle River, NJ.
- Connor, D. J., R. S. Loomis, and K. G. Cassman. 2011. *Crop Ecology: Production and Management in Agricultural Systems*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Gleissman, S. 2015. *Agroecology: The Ecology of Sustainable Food Systems*, 3rd ed. CRC Press, Boca Raton, FL.
- Hajjar, R., D. I. Jarvis, and B. Gemmill. 2008. "The utility of crop genetic diversity in maintaining ecosystem services". *Agriculture, Ecosystems, and the Environment* 123:261–70.
- Hillel, D., and C. Rosenzweig, Eds. 2013. *Handbook of Climate Change and Agroecosystems*. ICP Series on Climate Change Impacts, Adaptation, and Migration, Volume 2. Imperial College Press, London.
- Radcliffe, E. B., W. D. Hutchison, and R. E. Cancelado, Eds. 2009. *Integrated Pest Management: Concepts, Tactics, Strategies and Case Studies*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Radcliffe's *IPM World Textbook* (web based), <http://ipmworld.umn.edu/>
- Sylvia, D. M., J. J. Fuhrmann, P. G. Hartel, and D. A. Zuberer. 2004. *Principles and Applications of Soil Microbiology*, 2nd ed. Prentice-Hall, Upper Saddle River, NJ.
- Winarto, Y. T. 2004. *Seeds of Knowledge: The Beginning of Integrated Pest Management in Java*. Monograph. Yale Southeast Asia Studies, Yale University Southeast Asia Studies (USA), No. 53.

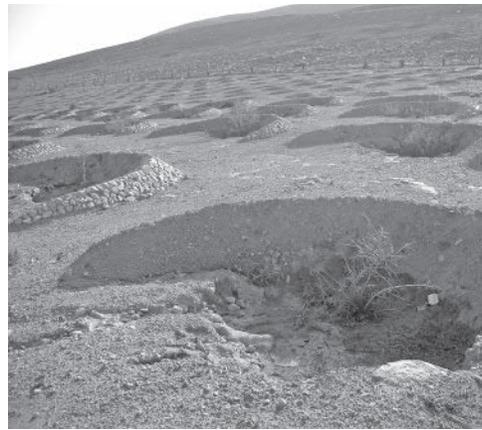


Planche 7. Les composantes abiotiques des agroécosystèmes comprennent la température, le sol, l'eau, l'humidité relative, la lumière et le vent. Les facteurs biotiques comprennent les parasites et les ravageurs herbivores, la compétition entre les cultures et les autres plantes et les relations favorables (symbiotiques) entre organismes, tels que les organismes souterrains et les pollinisateurs. Les agriculteurs peuvent avoir besoin de gérer l'environnement pour améliorer les conditions agronomiques. En haut à gauche: les agriculteurs ont détourné l'eau froide de la rivière pour augmenter la température de l'eau par le réchauffement au soleil afin de favoriser une floraison précoce du riz de haute altitude pour qu'il puisse mûrir avant l'arrivée des basses températures. Dans le cas d'une culture itinérante ou d'un agroécosystème de culture sur brûlis, les agriculteurs peuvent cultiver différentes variétés ou espèces dans une parcelle, en fonction du nombre d'années pendant lesquelles la parcelle est restée en jachère et du stade de succession de la repousse de la végétation. En haut à droite: sols calcaires rocheux du Yucatán, au Mexique, où la culture itinérante est utilisée. Les connaissances empiriques traditionnelles sont transmises d'un père à son fils sur la façon de semer le maïs, les haricots et les courges sur ces sols pierreux. Les pressions démographiques ont réduit la période moyenne de jachère dans cette région de 50 à 8 ans, réduisant ainsi la fertilité des sols. En bas à gauche: une gourde locale (*Lagenaria* spp.) pollinisée par une abeille au Kenya. En bas à droite: restauration d'un paysage dégradé avec des variétés de cultures locales résistantes à la sécheresse et au vent, associées à des méthodes de collecte d'eau à Nebek, en Syrie. Crédits photos: D. Jarvis (en haut à gauche, en bas à droite et en haut à droite), Y. Morimoto (en bas à gauche).

CHAPITRE 7

Diversité et Adaptation aux Environnements Défavorables à la Ferme

A la fin de ce chapitre, le lecteur devrait avoir une bonne compréhension de:

- L'adaptation au stress dans des environnements défavorables.
- Différentes stratégies de déploiement de la diversité à la ferme pour gérer les stress abiotique et biotique.
- Méthodes pour évaluer comment les agriculteurs utilisent la diversité pour gérer les conditions abiotiques ou biotiques.
- Concepts de vulnérabilité génétique liés à la diversité génétique à la ferme: mesure des dommages potentiels par rapport aux dommages réels.

Le chapitre 6 a examiné l'environnement agricole général dans lequel sont cultivées les variétés traditionnelles des cultures. Dans ce chapitre, nous mettons l'accent sur les environnements qui présentent des conditions abiotiques ou biotiques extrêmes, et sur l'adaptation et la gestion des variétés de plantes cultivées dans ces environnements. Ces environnements, généralement appelés environnements de stress, sont souvent défavorables à la croissance des plantes et menacent la capacité de production et les moyens de subsistance des petits agriculteurs.

Évolution des Variétés de Cultures dans des Environnements Sujets au Stress

Un certain nombre de processus historiques se sont combinés pour donner aux variétés traditionnelles un rôle clé dans le soutien des moyens de subsistance des agriculteurs dans les zones exposées aux stress environnementaux (voir les chapitres 2, 8 et 9). Ces stress ont influencé la création et le maintien de la diversité intraspécifique afin d'accroître la capacité de ces variétés à les surmonter.

Les environnements extrêmes sélectionnent un ensemble de caractères, ou un complexe coadapté, qui permettent la survie. L'adaptation peut dépendre du fait que les variétés traditionnelles dans les habitats extrêmes possèdent des génotypes spécialisés qui sont tolérants à un stress particulier (par exemple, un génotype résistant à une maladie).

Les génotypes tolérants peuvent aussi être largement adaptés à un large éventail d'environnements et s'adapter grâce à la plasticité phénotypique (la capacité d'un seul génotype à présenter des phénotypes variables dans différents environnements). Les changements génétiques sous-jacents à l'adaptation continuent de se produire lorsque les populations subissent de nouvelles pressions de sélection dues à des environnements changeants ou suite au déplacement du matériel vers un nouvel environnement. Au Maroc, les populations de fève cultivées en irrigué et en pluvial ont des profils génétiques distincts qui reflètent les différentes pressions de sélection naturelle auxquelles chaque population est confrontée (Sadiki, 1990).

Variétés Traditionnelles et Stress Environnemental

Les variétés traditionnelles évoluent dans des champs qui sont souvent soumis à de multiples stress. De nombreux auteurs ont souligné la richesse de la variation génétique de la résistance au stress entre et au sein des variétés traditionnelles des cultures (Teshome *et al.*, 2001; Newton *et al.*, 2010). Dans ces conditions, la résistance comparative au stress peut être mesurée en comparant la capacité d'un génotype à survivre et à maintenir sa productivité dans les champs des agriculteurs, par rapport à d'autres génotypes ou variétés de la même espèce. Les variétés traditionnelles peuvent avoir évolué sous l'effet de multiples facteurs de stress. Une variété traditionnelle adaptée à un stress, par exemple la toxicité de l'aluminium, peut présenter des adaptations utiles à d'autres types de stress, tels que la salinité et les carences en nutriments. Il est courant que le rendement des génotypes moins tolérants soit supérieur à celui des génotypes tolérants lorsque les deux sont cultivés dans des zones moins stressées. Les agriculteurs des zones exposées au stress doivent particulièrement éviter d'introduire des variétés non adaptées ou très sensibles, qui échouent souvent dans des conditions défavorables ou dans des zones exposées aux maladies, et qui risquent d'éroder la diversité génétique locale des caractéristiques recherchées par les agriculteurs dans leurs variétés. Face à la perte potentielle des principaux types résistants au stress, la gestion de la diversité appropriée d'une culture spécifique est une composante importante des stratégies de subsistance des agriculteurs dans des environnements de production stressés.

Mesure du Stress et de la Réponse

Les physiologistes des cultures et les sélectionneurs de plantes ont développé un large éventail d'approches et de techniques pour mesurer les degrés de stress et les réponses des plantes. Toutefois, l'identification de la cause du stress reste plus difficile. Les variables les plus élémentaires sont celles de la météo et de l'environnement à la ferme. Pour la comparaison et l'établissement des tendances de variation, ces variables doivent être collectées à plusieurs endroits et à des temps variables en fonction du cycle de culture et de l'hétérogénéité des champs des agriculteurs (voir chapitre 6). Les valeurs obtenues au fil du temps et de l'espace permettent d'estimer les moyennes et les variances, et d'ordonner, classer et quantifier l'environnement de stress par rapport à l'environnement sans stress. La réponse de la culture est finalement la plus évidente en termes de productivité de la plante, ou de retour économique pour l'agriculteur. Les variables indicatrices au cours de la croissance de la plante utilisent des instruments qui mesurent la fluorescence de la chlorophylle et l'échange gazeux photosynthétique, ou des traits morphologiques connus pour réduire un stress particulier (par exemple, le degré d'enroulement des feuilles et le stress dû à la sécheresse; voir Taiz et Zeiger [2010] comme manuel de physiologie végétale récemment mis à jour). La conversion des valeurs de la variable de base (rendement) obtenues lors des essais répétés en plein champ ou sous serre en une mesure du stress soulève une question générale concernant les comparaisons des géotypes. Les géotypes ayant des rendements intermédiaires mais qui résistent à tous les environnements auront des performances différentes de celles des géotypes qui ne se développent que dans des conditions favorables. Certains géotypes peuvent être résistants à un stress particulier, mais présentent des performances réduites dans des environnements propices.

Pour définir un indice de réponse au stress, considérons Y_s comme la valeur du rendement dans les parcelles sous stress et Y_c comme la valeur du rendement dans les parcelles témoins. Ces valeurs peuvent être estimées pour une population ou une variété particulière dans un échantillon de plusieurs populations qui peut également comprendre une diversité de types génétiques, ainsi que des lignées témoins dont la réaction est connue dans l'essai. Nous définissons maintenant le rendement moyen (MY) comme la moyenne des valeurs pour chacune des différentes entrées de l'essai. La moyenne des valeurs de toutes ces entrées des parcelles soumises au stress est MY_s , et celle des parcelles témoins est MY_c . Comme indiqué par Dodig et *al.* (2012), nous définissons un indice de sensibilité au stress (SSI) comme suit:

$$SSI = [1 - Y_s/Y_c]/[1 - (MY_s/MY_c)]$$

Cet indice, ou des indices similaires, tente d'établir un lien entre le rendement sous stress Y_s et le rendement dans des conditions contrôlées et de le standardiser par rapport à la sensibilité moyenne de l'ensemble de l'échantillon des populations testées. Étant donné que tout essai porte sur un large échantillon de lignées, les valeurs de l'indice de sensibilité au stress peuvent alors être comparées sur des expérimentations répétées. Un indice de tolérance au stress (STI) peut être défini comme suit:

$$STI = Y_s \times Y_c / (MY_c)^2$$

Cette formule illustre un autre problème lié aux mesures du stress, à savoir que le rapport de résistance (Y_s/Y_c) est élevé si Y_c est faible. Le rendement géométrique est un compromis qui pèse en faveur des génotypes ayant des rendements intermédiaires mais résilients, par rapport aux génotypes qui ne s'épanouissent que dans des conditions favorables, ou ceux qui sont résistants mais peu performants dans de bons environnements. Le rendement géométrique est calculé comme la nième racine du produit des nième mesures; par exemple, s'il y a deux mesures de rendement (2 kg/ha et 8 kg/ha), le rendement moyen est de 5 kg/ha et le rendement géométrique est la racine carrée de $(2 \times 8) = 4$.

Stress Abiotique et Diversité Génétique des Cultures

Dans n'importe quel champ, un large éventail de facteurs climatiques, édaphiques et physiographiques peut se présenter à des niveaux qui affectent la croissance de la plante et la productivité de la culture, et donc les moyens de subsistance de l'agriculteur. Les variétés qui présentent, ou qui sont réputées pour présenter, une résistance à ces impacts seront préférées par les agriculteurs, en particulier si leur résilience est obtenue avec peu de perte de rendement, de qualité ou de valeur économique (voir chapitres 8 et 9). L'altitude du champ, la pente, l'aspect et le drainage constituent quatre attributs physiographiques importants qui décrivent les aspects d'un champ ou d'une ferme faisant objet d'étude (voir chapitre 6). Ce sont des données clés à collecter lors de toute étude. Ces attributs ne représentent pas des facteurs de stress en soi, mais peuvent servir comme des variables indicatrices de stress abiotique parce qu'ils agissent par l'intermédiaire d'un ou de plusieurs facteurs de stress décrits ci-dessous.

Les stratégies ou les caractères de résistance aux stress abiotiques sont de trois types généraux: l'échappement, l'évitement et la tolérance. Une culture peut échapper à un stress si les stades sensibles de son cycle de vie sont terminés

avant, ou commencent après l'apparition des conditions de stress. La date de semis est un outil que les agriculteurs utilisent pour échapper aux stress. Par exemple, dans le cas du sorgho de saison sèche au Cameroun, la synchronisation de la plantation avec la fin de la saison des pluies est très importante, et les agriculteurs y parviennent en transplantant des plantules initialement cultivées dans des pépinières (Soler et *al.*, 2013).

L'évitement du stress est similaire, mais il est obtenu grâce à des caractéristiques et des structures végétales particulières. Les mécanismes d'évitement préviennent l'exposition au stress (par exemple, des changements dans la morphologie ou l'orientation de la feuille). Les mécanismes d'évitement peuvent être exprimés en l'absence du facteur de stress. D'autre part, les traits de tolérance qui conditionnent la tolérance au stress sont déclenchés par le stress lui-même et visent à réduire son impact. Par exemple, les mécanismes associés à l'évitement du gel sont généralement associés aux attributs physiques des plantes, tels que l'endroit où la glace se forme dans la plante, tandis que les mécanismes associés à la tolérance au gel sont généralement des adaptations biochimiques régulées par un ensemble spécifique de gènes (Gusta et Wisniewski, 2013).

Il n'existe pas de mécanisme unique de résistance au stress abiotique, et tout type d'adaptation peut être basé sur divers mécanismes. Si la recherche en génomique a défini de nombreux gènes qui répondent à plus d'un seul stress, l'expression d'autres gènes est plus spécifique, elle est provoquée par un seul stress (Seki et *al.*, 2007). Non seulement les réponses du gène à différents stress (abiotiques et biotiques) se chevauchent, mais les situations de stress multiples font ressortir des réponses plus qu'additives en raison des interactions au niveau moléculaire. Atkinson et Unwin (2012) ont appelé à une approche plus intégrative dans la recherche sur le stress des plantes, ce qui pourrait identifier les principaux régulateurs qui relient de nombreuses réponses aux stress abiotiques et biotiques.

Stress de Sécheresse

La sécheresse est le résultat à la fois d'une température élevée et d'un régime hydrique déficient. Le stress de sécheresse ou stress hydrique survient quand les membranes cellulaires perdent de l'eau, ce qui perturbe les bicouches lipidiques, augmente la porosité et perturbe l'intégrité et le fonctionnement de la membrane. Il n'existe pas de mécanisme unifié de résistance au stress de sécheresse au niveau de la plante entière, ou du gène unique (Blum, 2014). Pratiquement tous les aspects de la physiologie des plantes et du métabolisme cellulaire sont affectés (Mahajan et Tutejan, 2005). L'échappement à la

sécheresse est obtenu si les stades sensibles de la croissance sont achevés pendant que les ressources en eau ne sont pas limitées. Les traits d'évitement de la sécheresse comprennent un système racinaire qui extrait l'eau des couches profondes du sol et une évapotranspiration réduite avec une perte minimale de rendement. Un exemple de trait de tolérance à la sécheresse est l'ajustement osmotique, ou l'accumulation nette des solutés dans une cellule en réponse à une baisse du potentiel hydrique de l'environnement de la cellule, réduisant ainsi le potentiel osmotique de la cellule afin d'attirer l'eau et maintenir la pression de turgescence. Ce trait d'évitement de la déshydratation, réactif et adaptatif au stress, est important car il a été fréquemment relié au rendement en période de stress de sécheresse (Blum, 2011a). Les traits variables associés à la tolérance et à l'évitement de la sécheresse peuvent être constitutifs, c'est-à-dire différents entre les génotypes, ou inductibles, variant selon le stade du cycle de vie. Le stress de sécheresse est lui-même variable dans sa durée, son calendrier et sa sévérité, ce qui entraîne une forte variation génétique selon l'environnement (G×E).

La réponse à la sécheresse est, en principe, facilement mesurable dans des essais en serre ou en plein champ à l'échelle de la population. Dans ces essais, une parcelle avec un traitement limité en eau («sécheresse») est comparée à une parcelle «témoin», dans laquelle le niveau d'humidité est assuré par une irrigation mesurée. Il est plus difficile d'estimer la variabilité de la réponse d'une plante à l'autre au sein d'une population, car le traitement de la sécheresse et la parcelle témoin devraient être mesurés sur le même génotype. Cela pose moins de problèmes pour les cultures clonales comme la pomme de terre (par exemple, Cabello *et al.*, 2012) ou pour les cultures céréalières autopolinisées. Une méthode optimale pour les cultures autopolinisées serait d'utiliser, comme matériel expérimental, des descendants d'une seule plante extraite de la population, mais cette procédure exige des ressources et elle est rarement appliquée. Généralement et sur plusieurs années, les variétés traditionnelles sont évaluées non pas à l'échelle des plantes individuelles, mais en tant qu'unités d'échantillonnage en vrac pour le rendement, la stabilité du rendement et les indices de tolérance (par exemple, Dodig *et al.*, 2012). De nombreuses études sur la tolérance à la sécheresse des variétés traditionnelles ont été réalisées du point de vue du sélectionneur, qui a identifié les sources génétiques de tolérance ou d'évitement de la déshydratation (Blum, 2011b), plutôt que du point de vue de l'agriculteur qui cherche à faire face aux stress environnementaux locaux avec du matériel local.

Dans le centre du Yucatán, au Mexique, l'événement climatique qui pose généralement des problèmes aux producteurs de maïs est la «canícula»,

une période de sécheresse de durée variable qui apparaît souvent vers la fin du mois de juillet ou en août pendant la saison des pluies. Les périodes critiques pour les besoins en humidité de la culture du maïs surviennent en premier lieu pendant la phase de floraison (l'apparition des panicules et des soies), pour la fertilité du pollen et la réceptivité des fleurs femelles, et en second lieu pendant la phase de remplissage du grain. Le stress de sécheresse durant ces périodes réduira les rendements du maïs. Les variétés de maïs à cycle court et à cycle long représentent deux façons de faire face à la canícula annuelle. Les variétés de maïs précoces, comme la *nal t'eel*, qui mûrissent dans les sept semaines suivant le semis, échappent au stress de sécheresse en achevant la floraison et la maturation des épis avant la canícula lors des années où le semis commence tôt ou lorsque la canícula est retardée. Les variétés de maïs du Yucatán à maturité plus longue, telles que *x-nuuk nal* et *ts'ít bakal*, qui prennent 3,5 à 4 mois pour arriver à maturité, sont capables de tolérer plusieurs semaines de sécheresse en tant que plantes immatures établies et de reprendre leur croissance lorsque la sécheresse se termine (Tuxill et *al.*, 2010).

Stress au Froid

Les basses températures, le gel, l'eau froide et la grêle exercent de fortes pressions de sélection sur les cultures et limitent considérablement les espèces cultivées pouvant pousser dans de tels endroits, ainsi que la diversité variétale qui les accompagne. Différents mécanismes d'adaptation sont nécessaires pour supporter un stress aigu (par exemple, un seul événement de gel) par rapport à un stress chronique (une période prolongée de stress de gel ou d'englacement). Le terme «dommages causés par le froid» décrit la manifestation visuelle du dysfonctionnement cellulaire chez les plantes tropicales lorsqu'elles sont exposées à des températures froides, généralement comprises entre 0 et 15°C.

Les dommages causés par le froid peuvent différer considérablement selon les zones climatiques. Dans les climats tropicaux, ces dommages peuvent se produire à une température comprise entre 15 et 20°C, entraînant principalement la stérilité du pollen. Les dommages causés par le froid chez le riz, par exemple, peuvent être causés à la fois par un temps frais et une eau d'irrigation froide, ce qui peut affecter la croissance des plantes à n'importe quel stade de la culture. Le terme «tolérance au froid» est généralement utilisé pour décrire la réaction d'une plante à des températures de congélation et la capacité des plantes à produire à des températures inférieures à la température optimale. Les mécanismes responsables de l'endurcissement au froid (la capacité des

plantes des zones tempérées à survivre à des températures inférieures à zéro) peuvent différer au sein d'une même plante, comme par exemple dans le tissu de la couronne par rapport au tissu foliaire chez les plantes céréalières ou dans le tissu racinaire par rapport au tissu de la tige. Dans leur récente étude sur l'adaptation des plantes au froid dans les climats tempérés et alpins, Gusta et Wisniewski (2013) soulignent la diversité des mécanismes. Ils font remarquer que les essais expérimentaux de tolérance doivent tenir compte du contexte, du fait que les mécanismes révélés lors des essais en serre peuvent être de mauvais indicateurs des réponses réelles sur le terrain.

La plupart des rapports sur la tolérance au stress dû au froid chez les variétés traditionnelles proviennent d'enquêtes sur les collections des banques de gènes qui utilisent un échantillonnage à grande échelle dans les régions ou les pays pour l'obtention de ressources génétiques pour la sélection. Relativement peu de recherches ont été menées sur la diversité de la tolérance au niveau local et de la communauté. Une exception est le travail de Li et *al.* (2004), qui ont révélé des différences remarquables dans la tolérance au froid chez les variétés traditionnelles de riz provenant de cinq régions de culture du riz à Yunnan, en Chine. Une deuxième étude correspond à celle de Sthapit (1994) qui, par analyse de la fluorescence chlorophyllienne et de la capacité de régénération des racines, a identifié des riz hautement tolérants au froid dans un germoplasme indigène (tel que Chhomorong, Kalopatle, Takmare, Jumli Marshi, Sinjali, Raksali, Atte, Himali, Seto Bhankunde, Phalame et Bhatte). Tout ce matériel est originaire de régions montagneuses du Népal, situées à une altitude comprise entre 1.200 et 2.600 m au-dessus du niveau de la mer.

Dans les hautes terres boliviennes, différents degrés de tolérance au gel ont été trouvés chez les variétés modernes et locales de quinoa, avec une tolérance au gel plus élevée chez les variétés locales (Bonifacio, 2006). Le matériel végétal de plantation classé comme sensible provenait de vallées où le gel n'a presque jamais lieu, alors que les variétés traditionnelles tolérantes provenaient de zones à fort gel. Dans la même étude, la tolérance à la grêle a été associée aux variétés traditionnelles de quinoa qui avaient de petites feuilles, des pétioles courts, un petit angle d'insertion du pétiole et une tige flexible.

Stress Thermique

Le stress thermique affecte la croissance de la plante tout au long de son ontogenèse par le biais de seuils de chaleur variant considérablement selon les différents stades de croissance de la plante (Wahid et *al.*, 2007). Certaines

cultures ont besoin de chaleur pour mûrir. L'adaptation au stress thermique est un processus actif par lequel des quantités considérables de ressources de la plante sont réorientées vers l'entretien structurel et fonctionnel pour échapper aux dommages causés par le stress thermique. Les palmiers dattiers sont adaptés aux températures élevées. Cependant, une chaleur excessive sur une longue période et pendant les stades de développement du fruit affecte directement la qualité des dattes. Les agriculteurs choisissent des variétés de dattes précoces pour limiter la période d'exposition à la chaleur extrême, gérant ainsi la variation génétique pour éviter le stress thermique plutôt que pour sa tolérance. Les vents forts et fréquents dans ces régions peuvent accentuer le stress thermique. Le palmier dattier, avec son système racinaire très puissant et sa silhouette élancée, est l'une des espèces fruitières les plus résistantes aux vents. La diversité des variétés traditionnelles contre la chute des fruits ou des fleurs pendant les périodes de vent fort a conduit à la plantation de variétés traditionnelles souvent autour des exploitations pour protéger les autres variétés (Rhouma et *al.*, 2006).

Conditions Edaphiques Défavorables: Salinité, Acidité, Faible Teneur en Eléments Nutritifs, Toxicité

Un certain nombre de gènes qui conditionnent la tolérance au stress dû à des facteurs édaphiques tels que la faible teneur en azote, le sel, la toxicité de l'aluminium, et l'acidité sont connus et indiquent que des variations dans la réponse au stress provenant de ces facteurs peuvent exister dans une même population. Les champs des agriculteurs sont susceptibles d'être hétérogènes en termes de facteurs du sol, ce qui rend plus difficile la reconnaissance des plantes tolérantes dans une population mélangée. D'autre part, les stress édaphiques peuvent se présenter sous forme de mosaïques à petite échelle au sein d'une parcelle, ce qui peut offrir aux agriculteurs la possibilité de reconnaître les génotypes tolérants de façon comparative. Le stress salin comprend trois principales composantes: l'exclusion du Na(+), la tolérance au Na(+) dans les tissus et la tolérance osmotique. Witcombe et ses collègues (2008) ont revu en détail la sélection pour la résistance à la sécheresse, à la salinité et au manque d'azote et à la toxicité de l'aluminium. L'efficacité d'utilisation de l'azote par les plantes (NUE), qui est le produit de l'efficacité d'absorption et de l'efficacité d'utilisation, aide à déterminer la capacité des plantes à produire dans des conditions à faible teneur en azote, elle est mesurée par le rapport entre le rendement en grain produit et l'azote minéral disponible dans le sol et l'engrais. Les plantes peuvent utiliser plus efficacement l'azote qu'elles absorbent, en produisant plus avec moins de quantité d'azote absorbée (efficacité d'utilisation accrue), ou elles peuvent

augmenter la quantité d'azote qu'elles acquièrent du sol (efficacité d'absorption accrue). La diversité des phénotypes racinaires se reflète dans les niveaux de l'efficacité d'utilisation de l'azote (NUE) (Garnett et *al.*, 2009), tandis que les liens entre la physiologie racinaire, l'activité du biote du sol et la disponibilité de l'azote se produisent à diverses échelles affectant la productivité des plantes (Jackson et *al.*, 2008). Il existe une variabilité génétique substantielle pour l'efficacité d'utilisation de l'azote chez les variétés traditionnelles. Des études portant sur le blé dur ont montré une efficacité d'assimilation plus élevée chez les variétés traditionnelles dans des conditions peu azotées par rapport à leurs homologues modernes (Ayadi et *al.*, 2012). Toutefois, les variétés améliorées ont été plus réactives avec une plus grande disponibilité d'azote dans le sol par rapport à leurs homologues traditionnelles.

Un degré élevé de variation de la tolérance au sel, à la fois entre et au sein des populations de variétés traditionnelles, a été démontré dans les zones côtières du Vietnam (Lang et *al.*, 2009) et du Bangladesh (Lisa et *al.*, 2004). Dans la province de Nam Dinh au Vietnam, les villages de Kien Thanh et de Dong Lac sont situés dans l'écosystème rizicole des basses terres du Delta du Fleuve Rouge, avec certaines zones de sol salin et des terres qui bordent la mer. Afin de sélectionner les meilleures variétés qui font face au stress de salinité, les agriculteurs évaluent généralement l'état des plantes dans les champs. Ils considèrent que les stades critiques du riz pour le stress salin et le stress causé par l'acidité sont le tallage et l'initiation paniculaire. Les agriculteurs utilisent des caractéristiques telles que la couleur (blanc sain contre noir) et la vigueur du système racinaire, et la couleur (vert clair contre jaune) des feuilles et les niveaux de croissance lorsque les plantes sont au stade 30 jours après le semis et à l'initiation paniculaire (Hue et *al.*, 2006).

Excès d'Eau

La submersion par l'eau constitue un stress environnemental pour de nombreux écosystèmes dans le monde. Bien que la submersion par l'eau puisse être une source importante d'éléments nutritifs pour les plantes, elle peut causer une hypoxie ou une faible pression en oxygène. L'hypoxie change la respiration vers des voies anaérobies et provoque des changements biochimiques défavorables. Pour échapper au manque d'oxygène, les plantes peuvent différer par leur architecture, leur métabolisme ou leur élongation. Elles peuvent modifier ces processus en réponse à un manque d'oxygène ou supporter une submersion prolongée en restant quiescentes. L'élévation du niveau de la mer et les plus longues inondations périodiques qui en découlent deviendront plus fréquentes dans les basses terres et les plaines inondables qui

étaient auparavant productives (Sarkar, 2010). Le riz, culture prédominante dans les environnements inondables, est susceptible d'être soumis à des niveaux de stress encore plus élevés. Les variétés traditionnelles sont connues pour abriter des gènes de tolérance (Singh et *al.*, 2010). La variation génétique des traits qui améliorent la disponibilité de l'oxygène lors de la submersion par l'eau fournit des ressources précieuses pour améliorer l'endurance de la culture face à une contrainte environnementale renforcée par le réchauffement climatique (Bailey-Serres et Voesenek, 2008). Le long des principaux réseaux fluviaux d'Asie du Sud-Est et d'Afrique de l'Ouest, par exemple, les agriculteurs qui travaillent dans les zones inondables s'appuient sur des variétés de riz traditionnelles pouvant tolérer d'importants afflux saisonniers d'eaux de crue dont les niveaux peuvent varier de plusieurs mètres au cours de la saison de croissance.

Taux Elevé de CO₂

Les recherches sur le blé, le riz, le soja et le haricot ont permis d'identifier des variations intraspécifiques dans les réponses des plantes à un taux élevé de CO₂, notamment (dans le cas du haricot) dans le rendement en grains (Bunce, 2008; voir aussi le chapitre 6). Ces études suggèrent que la diversité génétique peut être une ressource clé pour les améliorateurs des plantes qui sélectionnent pour la réponse au CO₂ chez les principales cultures afin de profiter de l'effet fertilisant d'un taux plus élevé de CO₂.

Stress Biotique et Diversité Génétique des Cultures

Les stress biotiques sont ceux qui résultent de l'une des nombreuses formes de vie associées à la culture. Les stress biotiques peuvent avoir un impact différent que ce soit sur les différentes populations et les différentes variétés de cultures ou encore sur les génotypes des composants individuels. Ils comprennent les ravageurs (insectes, nématodes, autres herbivores), dont les ravageurs des graines stockées; les agents pathogènes, les parasites (par exemple, les espèces d'*Orobanche*), les microbes du sol, l'absence de pollinisateurs, les animaux de pâturage et les mauvaises herbes concurrentes. La section précédente sur le stress abiotique et la diversité génétique des cultures a souligné l'interdépendance des différents types de stress dans leur impact sur les populations de cultures et sur les mécanismes morphologiques, physiologiques et moléculaires utilisés par les plantes pour faire face au stress. Toutefois, la plupart des formes de stress biotique diffèrent profondément de celles des stress abiotiques, du fait que le facteur de stress lui-même évolue (Teshome et *al.*, 2001). La taille et la composition génétique

des populations de ravageurs et d'agents pathogènes changent d'une génération à l'autre, en réponse à des changements dans la composition des populations de la culture hôte, modérés par les changements environnementaux (Le Boulc'h et *al.*, 1994). Les stress biotiques soumettent la diversité des cultures à des processus de coévolution. La coévolution est un processus dans lequel deux différentes espèces ou plus, liées sur le plan écologique, affectent mutuellement leur évolution. Le potentiel d'évolution réciproque entre les cultures et les agents de stress biotique conduit à se demander si l'augmentation de la diversité de l'hôte sera toujours bénéfique. L'utilisation de la diversité des cultures pour gérer le stress biotique sera-t-elle bénéfique pour l'agriculteur à long terme, ou constitue-t-elle un risque, par exemple dans l'évolution des super-races d'agents pathogènes (Marshall, 1977; Jarvis et *al.*, 2007a)?

Agents Pathogènes

La maladie causée par les agents phytopathogènes a constitué un facteur majeur dans l'évolution des cultures en cours de domestication. Cependant, les agents pathogènes des plantes demeurent une cause majeure de perte de la culture, et relever ce défi en utilisant la diversité génétique pour la réponse des plantes hôtes a été une stratégie de base. Si des options chimiques sont disponibles pour atténuer l'impact de la maladie, elles sont généralement indésirables et coûteuses. Les agriculteurs doivent s'appuyer sur des stratégies agronomiques (date de semis, polyculture, rotation, etc.) parallèlement à l'exploitation de toute diversité génétique présente dans la réponse de l'hôte montrée par la culture. La résistance à une maladie est définie comme la possession de propriétés qui empêchent ou entravent le développement de la maladie. La tolérance à la maladie est la capacité d'une plante à supporter une maladie infectieuse ou non infectieuse sans subir de graves dommages ou une perte de rendement. Il existe deux types de résistance aux maladies: spécifique à une race et non spécifique à une race. D'autres appellations pour la résistance spécifique à une race sont la résistance verticale, la résistance à gène majeur et la résistance qualitative. La résistance non spécifique à une race est également appelée résistance horizontale, à gène mineur, quantitative et au champ. La résistance spécifique à la race est souvent contrôlée par des gènes dominants simples et a donc été largement utilisée par les améliorateurs des plantes parce qu'il est relativement facile d'identifier le trait et de le manipuler génétiquement. En revanche, la résistance non spécifique à une race est souvent plus difficile à identifier et est contrôlée par de multiples loci de traits quantitatifs (QTL), ce qui la rend plus difficile à intégrer dans de nouvelles variétés.

La littérature rapporte de nombreux criblages pour la résistance aux maladies en utilisant les collections de banques de semences de variétés traditionnelles en raison de leur longue histoire de coévolution (par exemple, Teshome et *al.*, 2001), ce qui en fait généralement une source riche de diverses réponses. Une résistance efficace à tout ravageur ou maladie dépend de l'expression suffisante de centaines de gènes ou QTL. La variation de l'expression de la résistance quantitative s'accompagne sans aucun doute d'une variation de l'expression de plusieurs de ces gènes.

Au fur et à mesure que les humains se déplaçaient d'un pays à l'autre avec leurs cultures, le germoplasme résistant et les races virulentes d'agents pathogènes ont fait de même. Les gènes de résistance évoluent en réponse à de nouveaux agents pathogènes, mais il peut également y avoir des restes de résistance déjà présents dans une région si les cultures ont été historiquement en contact avec la maladie. Lors d'un criblage des collections mondiales d'orge pour la réponse au virus de la jaunisse nanisante de l'orge (BYDV), les accessions résistantes ont été fortement localisées en Éthiopie, un centre de diversité. Qualset (1975) a conclu que la mutation pour la résistance au virus de la jaunisse nanisante de l'orge s'est produite en Éthiopie et que la présence de la maladie a conduit à une sélection naturelle favorisant les variétés résistantes. De même, le criblage d'une collection mondiale d'arachide pour la résistance à la rouille causée par *Puccinia arachnidas*, et à la tache foliaire causée par *Phaeoisariopsis personata* a montré 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 primaire de domestication dans le sud de la Bolivie (Subrahmanyam et *al.*, 1989). Un exemple de résistance se produisant loin du centre primaire de diversité est celui des taches chocolat (*Botrytis fabae*) chez la fève (*Vicia faba*) dans les Andes. La fève a atteint les Amériques pour la première fois il y a plusieurs centaines d'années, pourtant son centre de diversité se trouve dans le Croissant Fertile.

Différents types de résistance semblent être largement répandus chez les variétés traditionnelles (Teshome et *al.*, 2001). Ceci est attribué à la coévolution à long terme entre les espèces nuisibles et les espèces hôtes dans les centres de diversité primaires et secondaires. Souvent, les centres de diversité génétique d'une espèce cultivée et ceux de la diversité des ravageurs ou des agents pathogènes coïncident (Allen et *al.*, 1999), mais pas toujours. Buddenhagen (1983) a noté que le plus grand nombre de gènes de résistance aux maladies provient généralement de variétés traditionnelles où l'hôte et l'agent pathogène

ont coexisté pendant de longues périodes. Certaines de ces populations peuvent avoir un faible rendement, mais la variabilité génétique de la résistance au sein et entre ces populations a donné une sorte d'assurance contre les épidémies.

La culture de grandes surfaces avec des cultivars uniques et uniformes d'une culture augmente le risque d'épidémies (Marshall, 1977). L'hypothèse relative aux avantages de la diversité suppose qu'une base génétique de résistance diversifiée est bénéfique pour les agriculteurs, parce que la diversité leur permet d'atténuer la pression de la maladie de façon plus stable que ne le permet la monoculture (Jarvis et al., 2007a). Ceci est dû au fait que la résistance d'une monoculture peut se dégrader, entraînant ainsi la perte de la totalité de la récolte à cause du ravageur ou des dégâts causés par la maladie. Les dommages résultent de l'introduction ou de l'évolution de nouvelles races de ravageurs et d'agents pathogènes capables de surmonter les gènes de résistance actuellement déployés sur de vastes surfaces. Un champ génétiquement diversifié est moins susceptible de présenter des niveaux de dégâts élevés en raison de la faible probabilité que différents types de résistance se dégradent au même endroit. L'alternative, ou l'hypothèse de risque lié à la diversité, est que des populations d'hôtes mixtes dont les génotypes diffèrent en termes de résistance à différents groupes de pathotypes permettront la constitution de diverses populations d'agents pathogènes et donc l'apparition potentielle de nouvelles super-races de pathotypes par recombinaison ou mutation en une seule étape. La théorie derrière l'idée de super-races est soumise à de nombreuses discussions (Mundt 1990, 1991; Kolmer et al., 1991). Plus de recherches sont nécessaires sur les populations hétérogènes de cultures afin d'identifier les facteurs qui déterminent où et quand la diversité est bénéfique.

Les forces sélectives abiotiques peuvent se combiner à la pression des agents pathogènes pour influencer l'intensité de la sélection pour la résistance. L'épidémie occasionnelle de pyriculariose du riz (causée par *Pyricularia grisea*) peut être dévastatrice dans les hautes altitudes du Bhoutan, détruisant localement des cultures entières. Ceci suggère que la pyriculariose du riz est une forte pression sélective, mais aussi que la résistance au froid est un trait vital et peut en fait être la force sélective dominante dans le système (Thinlay et al., 2000). Les progrès récents des technologies d'analyse à haut débit de l'expression génétique permettent désormais de commencer à discriminer les réponses de l'hôte, de l'agent pathogène et du vecteur à différents facteurs de stress biotiques et abiotiques, ainsi que les compromis potentiels entre ces réponses (Garrett et al., 2006).

Arthropodes Nuisibles

Des variétés résistantes aux insectes ont été cultivées depuis le début de l'entomologie appliquée aux XVIII^{ème} et XIX^{ème} siècles. La résistance des variétés traditionnelles des cultures aux arthropodes nuisibles varie aussi bien sur pied que dans des conditions de stockage. Presque toutes les plantes utilisent plusieurs lignes de défense différentes contre les herbivores. La tolérance d'une plante consiste en un ensemble de traits qui permettent à une plante de récupérer des dommages causés par les arthropodes ou d'y résister. L'antixénose est la réaction de non préférence des arthropodes, à une plante résistante. L'antixénose se produit lorsque des facteurs chimiques ou morphologiques de la plante affectent négativement le comportement des arthropodes, ce qui retarde ou rejette la plante en tant qu'hôte. Des différences morphologiques ont été observées chez les variétés traditionnelles de blé turc, les types à tige pleine étaient résistants à la mouche à scie alors que les types à tige creuse ne l'étaient pas (Damania *et al.*, 1997). L'antibiose se produit lorsqu'une plante résistante affecte négativement les traits du cycle biologique de l'arthropode qui tente d'utiliser cette plante en tant qu'hôte. La microévolution de la défense d'une plante est généralement étudiée par des expérimentations de transplantation réciproque de populations de plantes différenciées, tout en manipulant simultanément la présence des herbivores, qui sont supposés être les agents de la sélection naturelle (Agarwal, 2010). Les interactions incompatibles entre les plantes résistantes et les arthropodes nuisibles avirulents sont médiées par des protéines végétales induites par les arthropodes et des substances allélochimiques de défense synthétisées par les produits des gènes de résistance. Smith et Clement (2012) fournissent un catalogue d'une quarantaine de gènes de résistance aux arthropodes, caractérisés par une cartographie moléculaire, provenant de plus de 20 grandes cultures, ainsi que le nombre de loci de résistance, les produits du gène, l'hérédité de la résistance et les catégories de résistance phénotypique.

Les variétés traditionnelles de maïs au Mexique (Arnason *et al.*, 1994) et de sorgho en Ethiopie (Teshome *et al.*, 1999) diffèrent de façon marquée en ce qui concerne la résistance aux insectes nuisibles lors du stockage, une propriété essentielle pour l'agriculture de subsistance. En Éthiopie, la variation dans la capacité de stockage et la résistance des graines aux insectes est fortement liée à la présence d'antibiotiques phytochimiques dans les graines. Dans le Yucatán, au Mexique, la faible capacité de stockage est un facteur clé qui empêche les agriculteurs d'adopter des variétés de maïs améliorées (Latournerie Moreno *et al.*, 2006). Les variétés traditionnelles possèdent des caractéristiques relatives à

l'enveloppe qui couvre complètement l'épi de maïs, protégeant ainsi physiquement le grain des insectes nuisibles pendant le stockage. Les agriculteurs qui utilisent des stocks de semences améliorées cultivent le plus souvent des versions adaptées aux conditions locales ou versions «créolisées» de variétés améliorées, qui présentent les caractéristiques des variétés locales de maïs facilitant leur stockage.

Autres Stress Biotiques

Les espèces cultivées peuvent présenter une diversité génétique pour faire face à d'autres facteurs biotiques qui peuvent avoir un impact négatif sur la croissance et le rendement des plantes. Des exemples de ces pressions sont la compétition avec les mauvaises herbes, le déclin des pollinisateurs chez les plantes allogames, la perte de disséminateurs de graines et de la diversité microbienne du sol. Dans le cas d'une disponibilité insuffisante du pollen, il peut y avoir une pression de sélection en faveur de l'autofertilité et de l'augmentation des taux d'autofécondation. Le rhizobium fixateur d'azote peut présenter une grande diversité entre les souches en termes de capacité de nodulation efficace entre les génotypes de légumineuses, et a constitué un paramètre essentiel dans la sélection des légumineuses de pâturage. Les pollinisateurs peuvent favoriser une variété plutôt qu'une autre, malgré la proximité des différentes variétés. Le polymorphisme génétique des plantes à fleurs influence, dans certains cas, le butinage des pollinisateurs, ce qui peut à son tour influencer le type et l'abondance de la pollinisation, et donc le maintien de leurs populations. La culture *Vicia faba*, partiellement pollinisée par les insectes, montre une diversité dans le trait floral permettant d'attirer les insectes, ce qui affecte la pollinisation croisée entre les populations (voir Duc et *al.*, 2010).

Comparaison entre le Stress Abiotique et le Stress Biotique

Le stress abiotique contraste avec le stress biotique au niveau du caractère et de la réponse de la diversité génétique à la ferme (Brown et Rieseberg, 2006). La liste ci-dessous énumère plusieurs de ces différences potentielles, indiquées sous forme de catégories, pouvant servir comme guide pour la formulation d'hypothèses de recherche. Les contrastes comprennent:

1. L'échelle de variation du stress abiotique dans le temps et dans l'espace est plus grande que celle du stress biotique. Le stress peut durer plus longtemps et peut se produire sur une plus grande surface.
2. La «granularité» de l'environnement (Levins, 1968), ou la façon dont l'individu expérimente la variation temporelle et spatiale diffère. Les stress

abiotiques ont tendance à être grossiers alors que les stress biotiques sont fins.

3. La coévolution est une caractéristique des systèmes biotiques, c'est-à-dire que la façon dont les populations de plantes réagissent et évoluent influencera le degré de stress biotique et l'évolution future de l'agent causal. Les modifications de la composition génétique des cultures pour faire face au stress abiotique n'entraîneront pas directement une modification des niveaux de stress, contrairement aux populations d'agents pathogènes.
4. La divergence des populations en tant que proportion de la diversité totale (G_{ST}) est plus prononcée pour le stress abiotique que pour le stress biotique, pour lequel le polymorphisme local est plus probable.
5. Les tendances dans le temps se déroulent à un rythme plus lent pour les stress abiotiques. Les gradients temporels de virulence ou de prévalence chez les agents pathogènes peuvent être très rapidement comparés au changement climatique ou à des modes d'utilisation des terres non durables.
6. La portée et le rôle des stratégies de diversité tels que les mélanges et les croisements diffèrent entre le stress abiotique et le stress biotique. Pour les stress abiotiques, il peut y avoir moins de possibilités de diversité au sein des populations et une plus grande importance accordée à l'utilisation de variétés tolérantes.
7. La plasticité phénotypique, l'évitement et les multiples mécanismes de tolérance et d'évitement agissant à différents stades du cycle de vie signifient que la résistance au stress abiotique peut se combiner ou se pyramider plus efficacement que la tolérance aux stress biotiques.

D'autres différences entre les deux types de stress sont moins évidentes, et les comparaisons visant à déterminer si les stress biotiques sont distincts des stress abiotiques sont complexes. Par exemple, les stress individuels diffèrent selon l'importance relative des gènes majeurs comme source de réponse adaptative, par rapport à l'accumulation de plusieurs gènes mineurs. Les gènes majeurs constituent une caractéristique de la tolérance aux métaux lourds et à l'aluminium, ainsi que des réponses qualitatives «gène pour gène» au stress biotique. En revanche, la tolérance à la sécheresse et la réponse à la résistance quantitative aux stress biotiques ont une base génétique plus complexe. La réponse aux deux types de stress est susceptible de varier selon le stade de croissance. L'interaction entre l'abiotique et le biotique est fréquente, car les

deux constituent l'environnement de la plante. Des exemples de cette interaction sont les symbiotes sensibles au sel chez les légumineuses, et l'amélioration de la réponse au stress dû à la sécheresse chez les céréales en améliorant la résistance aux maladies racinaires.

Les essais expérimentaux de résistance ou de tolérance varient dans leur complexité. Pour le stress abiotique, des difficultés proviennent de la répétabilité des mesures, de la multiplicité des mécanismes et de la pertinence des extrapolations de l'environnement d'essai au champ (Munns, 2005). En cas de stress biotique, les réponses obtenues lors des essais sont souvent spécifiques à la race. Par conséquent, la relation entre la structure de virulence de l'essai comparée à celle des populations natives de l'agent pathogène est essentielle.

La perception des agriculteurs, ou la facilité avec laquelle ils reconnaissent les principales contraintes de rendement, est susceptible de varier considérablement d'un type de stress à l'autre. Les différences dans la clarté et la spécificité des symptômes des plantes, les changements climatiques d'une année à l'autre, la prééminence des organismes associés ainsi que les connaissances et l'expérience des agriculteurs diffèrent selon les stress.

Gestion de la Diversité Génétique des Cultures par les Agriculteurs pour Faire Face aux Stress Environnementaux

Les agriculteurs ont développé de nombreuses méthodes de manipulation de l'environnement pour répondre aux stress abiotiques et biotiques auxquels leurs cultures sont confrontées. Les menaces peuvent être associées aux climats locaux, aux changements saisonniers ou aux effets des agents pathogènes; les réponses peuvent être simples ou complexes, temporaires ou permanentes, traditionnelles ou modernes. La gestion de l'environnement agricole de l'agriculteur peut être étroitement liée à la gestion de l'écosystème naturel environnant, car les composantes de l'écosystème naturel jouent également un rôle important en tant qu'indicateurs permettant aux agriculteurs de déterminer le début et la fin de la saison des pluies, ce qui influence les décisions concernant les périodes de semis, la gestion et la récolte de leurs cultivars locaux. Le tableau 7.1 passe en revue les divers types de stress environnementaux auxquels les agriculteurs sont confrontés et donne des exemples de manipulations de l'environnement qui peuvent être utilisées pour réduire leur impact sur les plantes cultivées.

TABLEAU 7.1. STRESS ENVIRONNEMENTAUX ET ÉVENTUELLES INTERVENTIONS PAR L'AGRICULTEUR EN MATIÈRE DE GESTION AGRONOMIQUE.

<i>Facteur environnemental</i>	<i>L'éventuelle intervention de l'agriculteur pour modifier l'environnement</i>
Froid extrême	Protection des cultures, protection contre le gel
Chaleur extrême	Ombrage des cultures
Forte teneur en argile/mauvais drainage	Enlèvement des plaques dures, ajout de lignes de drainage
Forte teneur en sable/drainage rapide	Ajout de lignes de rétention d'eau
Forte teneur en gravier/roche	Enlèvement des roches
pH élevé ou faible	Engrais, additifs du sol
Faible teneur en nutriments	Engrais, additifs du sol, cultures associées, rotation des cultures avec les légumineuses
Teneur élevée en aluminium ou en sel	Engrais, additifs du sol
Précipitations élevées/sols gorgés d'eau	Ajout de lignes de drainage
Faibles précipitations annuelles	Systèmes d'irrigation/collecte de l'eau
Faibles précipitations saisonnières	Systèmes d'irrigation temporaires/saisonniers
Désertification	Barrières de sable
Potentiel d'érosion élevé	Aplatissement des pentes des champs, aménagement des terrasses
Faible intensité lumineuse	Réduction de l'ombre
Photopériode longue/courte	Agroforesterie, rotation des cultures
Vents locaux forts	Plantation/construction de brise-vent, agroforesterie
Ravageurs	Pesticides, barrières physiques, cultures associées, rotation des cultures
Maladies	Évitement des conditions favorables à la maladie, fongicides, rotation des cultures
Compétition de plantes	Désherbage, réduction des espacements entre les plants, herbicides

Ces pratiques de gestion agronomique ne sont pas spécifiques à une variété et impliquent la gestion de l'environnement autour des variétés de cultures traditionnelles plutôt que des variétés de cultures elles-mêmes, ou sont combinées avec l'utilisation de variétés spécifiquement adaptées. Par exemple, pour minimiser les dommages liés au stress salin dans les zones côtières du nord du Vietnam, les agriculteurs savent non seulement utiliser la diversité variétale, mais également appliquer des pratiques agronomiques spécifiques avant de cultiver les plants de riz.

Dans un premier temps, le champ est submergé d'eau douce provenant de la rivière ou est alimenté par l'eau de pluie. Ensuite, le sol est labouré dans le champ submergé d'eau, ce qui draine efficacement l'eau salée des champs. Enfin, le champ est à nouveau irrigué et des graines sont semées ou des plantules sont repiquées. Les agriculteurs pensent que ceci fera baisser les niveaux de toxicité du fer et de l'aluminium et que leur culture de riz se développera mieux (Hue *et al.*, 2006) Dans les zones agricoles de haute altitude du Népal, des variétés traditionnelles de riz tolérantes au froid sont cultivées à des altitudes allant jusqu'à 3.000 mètres. Les agriculteurs détournent l'eau froide de la rivière de la vallée principale afin qu'elle soit réchauffée par le soleil avant d'être utilisée pour irriguer la culture de riz; l'eau réchauffée induit la floraison au moment approprié de la saison pour permettre la maturation et la récolte de la culture au moment opportun.

Comme le développement des plantes reflète à la fois le génotype et l'environnement, il n'est pas toujours facile d'identifier avec précision comment la gestion des facteurs agroécosystémiques par les agriculteurs affecte la diversité génétique locale. Toutes les pratiques agricoles ne jouent pas un rôle significatif dans la formation de la diversité génétique locale. Il existe de nombreuses hypothèses sur les impacts des intrants agricoles utilisés par les agriculteurs sur la diversité génétique, comme la quantité et la teneur des engrais et leur effet sur la diversité génétique des cultures. En modifiant les pressions de sélection environnementale auxquelles sont soumises les cultures, les pratiques de gestion des agriculteurs peuvent influencer les modèles de la diversité génétique au sein et entre les populations locales des cultures. Le défi consiste à déterminer dans quelle mesure la gestion de l'agroenvironnement par les agriculteurs influence l'utilité de la diversité génétique des cultures pour améliorer la productivité de leurs écosystèmes. Une deuxième question de recherche est de savoir comment les pratiques de gestion agricole influencent-elles la façon dont les agriculteurs maintiennent ou sélectionnent la diversité génétique?

“Choix de la Diversité Génétique” dans la Gestion des Cultures

Les choix que font les agriculteurs dans la gestion de leurs cultures se répartissent en deux catégories: soit des choix agronomiques qui affectent l’environnement de la culture (voir tableau 7.1), soit des "choix de diversité génétique". Ces derniers choix utilisent la diversité intraspécifique des cultures, plutôt que d’autres options (l’utilisation d’intrants chimiques ou de pratiques agronomiques telles que la rotation des cultures), afin de minimiser ou d’améliorer les impacts des facteurs problématiques. Les choix en matière de diversité génétique sont des options de gestion qui influent sur la productivité actuelle, l’évolution et la survie de la culture pour la saison suivante. Ces pratiques comprennent la gestion des arrangements spatiaux et temporels de la diversité intraspécifique. Les arrangements spatiaux des variétés peuvent être aléatoires, en lignes ou en petites parcelles. Des informations peuvent être collectées auprès des agriculteurs sur l’arrangement spatial et les variétés utilisées dans le cadre de cet arrangement. Cette information est utilisée pour examiner les relations entre l’arrangement spatial de la variété cultivée avec les niveaux des dommages causés par les ravageurs et les maladies, ainsi qu’avec les niveaux de pollinisation pour la nouaison chez les cultures à pollinisation croisée obligatoire et qui dépendent des insectes ou des petits animaux pour la pollinisation.

Dans les régions tempérées ou tropicales où est présente une grande diversité traditionnelle d’arbres fruitiers, les agriculteurs utilisent la diversité variétale dans leurs vergers ou leurs jardins familiaux pour augmenter l’hybridation croisée et améliorer la nouaison (Turdieva et *al.*, 2010). Ces utilisations sont trouvées chez le pommier (*Malus* sp.), l’abricotier (*Prunus armeniaca*), le poirier (*Pyrus* sp.) et le grenadier (*Punica granatum*) en Asie centrale tempérée en Ouzbékistan, Kazakhstan, Kirghizistan, Turkménistan et Tadjikistan, ainsi que chez le manguier (*Mangifera indica*), le ramboutan (*Nephelium lappaceum* L.) et les agrumes (*Citrus* sp.) en Asie tropicale du Sud et du Sud-Est en Thaïlande, en Indonésie, en Inde et en Malaisie. Des périodes de floraison échelonnées entre les variétés de fruits peuvent faciliter la visite tout au long de la longue saison de floraison et augmenter les chances de survie des populations de pollinisateurs. Ceci est utilisé pour les variétés de maïs au Yucatán, au Mexique, où le maïs à cycle court et le maïs populaire à cycle long sont cultivés ensemble afin d’assurer un certain rendement au cas où une sécheresse sévère de mi-saison écourterait la saison (Tuxill, 2005).

Les choix en matière de diversité génétique comprennent également la sélection de variétés qui s'adaptent à une caractéristique environnementale particulière des écosystèmes des agriculteurs, comme indiqué plus haut. A un niveau plus précis, les choix génétiques sont faits lorsqu'un agriculteur sélectionne des plantes ou des populations spécifiques au sein d'une population variétale à partir desquelles les semences seront prélevées pour la saison de culture suivante, car cela affecte la structure génétique de la génération suivante (voir chapitre 5), et constitue une stratégie de gestion des risques en cas des changements environnementaux imprévisibles.

Identification du Lieu où la Diversité est Utilisée pour Faire Face aux Stress Environnementaux

Les facteurs climatiques peuvent exercer une pression négative constante ou en augmentation constante, sur les rendements des cultures, ou ils peuvent varier de façon erratique ou selon des cycles avec des changements de longueur, d'intensité et de fréquence dans l'espace et dans le temps. Les échelles de cette variabilité spatiale et temporelle peuvent varier du niveau d'un champ à celui de régions entières, et du quotidien à l'annuel. Le début des pluies printanières peut varier considérablement d'une année à l'autre, tout comme la hausse et la baisse des températures, de façon saisonnière ou entre les extrêmes de la nuit et du jour, ainsi que les vents ou les vagues de froid qui peuvent survenir trop tôt pendant la floraison ou trop tard pour la réussite de la production agricole. Les changements dans la fréquence et la sévérité des infestations et des épidémies de ravageurs et de maladies, ainsi que les changements dans les guildes de pollinisateurs, sont d'autres événements souvent imprévisibles qui peuvent avoir un impact sur la performance de la culture et la prospérité de la ferme.

Dans ces circonstances, il est utile de distinguer entre l'utilisation d'un ensemble de variétés délibérément choisies comme étant adaptées à différents environnements, et l'utilisation de la diversité en soi comme une assurance pour maintenir la productivité dans des environnements hétérogènes, ou sous des climats changeants. Pour comprendre l'utilisation de la diversité par les agriculteurs afin de faire face aux changements de l'environnement, les questions suivantes doivent être abordées:

- Quels facteurs environnementaux les agriculteurs perçoivent-ils comme des menaces au maintien ou à l'amélioration des rendements agricoles?

- En quoi les différentes variétés de cultures ou les géotypes qui les constituent diffèrent-ils dans leur réaction aux facteurs environnementaux défavorables et à la variation de ces facteurs?
- Comment les agriculteurs utilisent-ils ou peuvent-ils utiliser les connaissances sur les variations environnementales et la diversité variétale pour réduire les pertes de récoltes et assurer une productivité durable?

Les agriculteurs ont des connaissances sur la résistance et la tolérance de leur matériel végétal au stress abiotique et biotique. Le chapitre 5 décrit les procédures du diagnostic participatif (telles que les discussions de groupes cibles et les enquêtes) qui permettent de recueillir les connaissances des agriculteurs sur la diversité des variétés traditionnelles et sur le stress abiotique et biotique. Comme décrit au chapitre 6, les outils de diagnostic participatif peuvent être utilisés pour déterminer les connaissances des agriculteurs sur les plantes saines et non saines ou stressées des différentes variétés de cultures locales et les critères utilisés par ces agriculteurs pour déterminer si une plante est saine. Döring et ses collaborateurs (2012) contrastent ces définitions normatives de la santé des plantes (qui dépendent des valeurs des agriculteurs qui la définissent) avec les définitions naturalistes (qui sont basées sur la santé des plantes, indépendamment des valeurs humaines). Leur étude porte sur la manière dont la définition de la santé des plantes affecte le type de pratique de gestion conventionnel ou alternatif utilisé pour la protection des plantes. Les normativistes reconnaissent une diversité d'approches concernant la santé des plantes; les naturalistes affirment que dans une situation donnée, une seule approche est valable pour tous, déterminée par des experts formellement formés selon les méthodes des sciences naturelles. Ces positions révèlent une affinité entre la protection chimique des plantes et une vision naturaliste de la santé des plantes, d'une part, et entre la protection écologique des plantes et le normativisme, d'autre part.

Fluctuation des Variables Climatiques et Changement Climatique

Les tendances séculaires dans le temps des variables climatiques telles que l'augmentation de la température et la diminution des précipitations saisonnières constituent un aspect gênant du changement climatique. Vigouroux et *al.* (2011b) documentent la manière dont les variétés de pays de millet perlé dans le Sahel africain se sont adaptées à une sécheresse récurrente et à une aridité croissante. En comparant les variétés échantillonnées *in situ* en 1976 avec celles de 2003, ils ont trouvé que la plupart des variétés ont des noms

en commun, avec des niveaux similaires de diversité génétique. Cependant, les échantillons pris en 2003 présentaient des cycles de vie plus courts, des changements importants dans les caractères adaptatifs et une fréquence plus élevée de l'allèle de floraison précoce au niveau du phytochrome C, ou locus PHYC. Cette étude est un bon exemple de la façon dont la diversité des variétés traditionnelles peut donner une résilience aux tendances climatiques.

Peut-être que le défi le plus important pour les réponses adaptatives est l'augmentation de la variabilité climatique, dans le temps, dans une région spécifique. Les phénomènes météorologiques extrêmes semblent être plus fréquents et plus variables dans leur degré d'extrémisme. Dans la recherche d'une production durable à la ferme, la diversité génétique et les stratégies mixtes de déploiement peuvent être les seuls outils dont disposent les agriculteurs pour relever ce défi.

Les agriculteurs qui sont confrontés à des régimes pluviométriques très variables peuvent répartir le risque en cultivant plusieurs variétés avec des durées de maturité différentes, ou bien ne cultiver qu'une ou deux variétés mais en variant leurs dates de semis dans différents champs. Étant donné ce niveau de complexité, il est essentiel de comprendre la relation dynamique entre la diversité des cultures, la variabilité environnementale et le stress. Les variétés traditionnelles présentent une grande variation génétique au sein et entre les populations pour répondre aux déficits hydriques. Les agriculteurs (par exemple, les producteurs de sorgho en Afrique de l'Ouest) utilisent cette diversité pour minimiser les risques dus à la variabilité climatique, tels que le retard du démarrage des précipitations et l'irrégularité des fronts de gel pendant la floraison (Sawadogo et *al.*, 2005b; Weltzien et *al.*, 2006; Zimmerer, 2010). Dans un cas provocateur, les producteurs de sorgho éthiopiens qui ont adopté une variété de sorgho améliorée, développée pour éviter la sécheresse, l'ont trouvée moins efficace que les variétés utilisées par les agriculteurs, qui étaient plus susceptibles de fournir les caractéristiques souhaitées de tolérance à la sécheresse (Lipper et *al.*, 2009). Les chercheurs ont également noté que l'amélioration des niveaux d'éducation et d'alphabétisation des agriculteurs leur permettait d'avoir accès à plus de variétés adaptées aux conditions de faible production.

Variabilité Spatiale et Echelle: Sols Hétérogènes

Comme discuté au chapitre 6, les propriétés et les conditions du sol influencent de différentes manières les choix des agriculteurs en matière de

variétés de cultures. Dans certains cas, les agriculteurs ciblent des cultures ou des variétés pour des conditions particulières du sol, en fonction de la texture ou de la disponibilité relative des éléments nutritifs. Les changements des conditions du sol au fil du temps peuvent également inciter les agriculteurs à modifier la composition et la diversité de leurs variétés de cultures. Les sols des régions semi-arides soumis à l'irrigation accumulent souvent des sels et nécessitent une attention particulière au fil du temps pour éviter une alcalinité excessive, ce qui limite considérablement les cultures qui peuvent être pratiquées. Les champs soumis à une alcalinité croissante ont tendance à montrer ces problèmes de manière très variable. Dans ce cas, les géotypes tolérants au sel peuvent être plus productifs que les géotypes sensibles au sel dans les parcelles salines. Par contre, la productivité des géotypes tolérants peut être relativement faible dans d'autres parcelles qui ne sont pas encore salines. En moyenne, sur l'ensemble du champ, le gain de rendement lié à la tolérance peut être inférieur au coût ou à la perte de rendement dans les parcelles non salines. Par conséquent, la sensibilisation des agriculteurs à l'ampleur des variations environnementales est essentielle pour assurer des rendements durables de la culture.

Catastrophes Aléatoires Majeures: Inondations, Ouragan, etc.

Les phénomènes météorologiques extrêmes, qui peuvent être plus fréquents et plus variables dans leur degré de gravité, constituent une source de préoccupation supplémentaire. Les cultures et les variétés ayant des périodes de semis et de maturité différentes offrent aux agriculteurs la possibilité de semer et de récolter des cultures à plusieurs reprises au cours de la saison, ce qui leur permet de se protéger contre la perte totale de la récolte suite à un seul événement environnemental, tel qu'un ouragan ou une vague de sécheresse. Une telle destruction ne se prête clairement pas à atténuer la diversité. Mais il est tout aussi évident que la récupération accorde une place importante à la diversité. Si les réserves locales de semences sont perdues, le remplacement à partir d'une source *ex situ* est alors essentiel, et les semences réintroduites devraient idéalement être aussi semblables que possible aux variétés détruites, et aussi diversifiées que possible pour permettre un changement génétique rapide *in situ*. Ces questions sont traitées plus en détail aux chapitres 11 et 12.

Changements dans le Pathotype, l'Agressivité et la Virulence

Les populations cultivées utilisées par les agriculteurs et les nombreux autres organismes qui vivent avec ces populations forment un système

dynamique complexe en interaction. L'évolution de cet écosystème à la ferme détermine comment la diversité phytogénétique se comporte dans le temps et comment les agriculteurs utilisent, ou pourraient utiliser, cette diversité pour atténuer les effets néfastes des dégâts causés par les maladies. Les changements dans la virulence (la capacité moyenne d'une population d'agents pathogènes à surmonter la diversité des gènes de résistance présents dans la population hôte correspondante) et dans l'agressivité (la capacité quantitative d'un agent phytopathogène à coloniser et à se propager, causant des dommages à son hôte) affectent l'efficacité d'utilisation de la diversité variétale des cultures pour atténuer les effets néfastes et les dommages causés par la maladie. Le développement d'une épidémie (le changement d'intensité ou de sévérité de la maladie avec le temps) dépend également de l'échelle temporelle et spatiale entre l'hôte, les agents pathogènes, l'environnement et l'Homme. Les mosaïques géographiques des zones de coévolution résultent de la nature locale des interactions hôte-ravageur-Homme. La différenciation et l'interconnexion par migration et isolement entre ces zones géographiques créent des métapopulations d'interactions hôte-ravageur (Bousset et Chèvre, 2013). Les stratégies de protection de la culture visent l'efficacité (la capacité à produire un effet à un point donné dans le temps et dans l'espace) et la stabilité (la persistance de l'efficacité de la plante hôte dans le temps et l'espace). L'efficacité de toute stratégie dépend de la biologie de l'agent pathogène et de la taille de la population, tandis que la stabilité dépend de la dynamique d'adaptation des populations d'agents pathogènes.

La variabilité saisonnière ou annuelle des interactions culture-ravageur dans les agroécosystèmes accroît encore leur complexité. Les populations de ravageurs fluctuent en fonction de l'évolution des conditions climatiques, des apports des agriculteurs et de la résistance de l'hôte. De plus, les ravageurs peuvent être très mobiles, notamment avec l'aide de l'Homme. Cette facilité de mobilité, associée à des conditions favorables, peut engendrer des épidémies à grande échelle, avec de graves effets sur les populations de la culture hôte. La reproduction rapide des agents pathogènes des plantes peut accroître les effets d'autres changements provoqués par les changements climatiques ou une variabilité climatique accrue (voir Garrett et *al.*, 2011 pour complément).

Mélanges, Multilignées et Différentes Variétés dans Différentes Parcelles d'une Même Ferme

Dans de nombreuses régions du monde, les agriculteurs préfèrent cultiver des mélanges ou de petites parcelles de différentes variétés séparément dans

la même ferme, parce qu'ils peuvent apporter une résistance aux ravageurs et aux maladies locales, ce qui peut à son tour améliorer la stabilité du rendement. Dans un récent exemple, Mulumba et *al.* (2012) ont présenté un important projet de recherche visant à étudier l'utilisation par les agriculteurs de la diversité des variétés traditionnelles de bananes (*Musa spp.*) et de haricots (*Phaseolus vulgaris*) en tant qu'option pour contrôler les dommages causés par les ravageurs (charançon du bananier et mouche du haricot) et les maladies (Cercosporiose noire, nématodes, anthracnose et tache angulaire des feuilles) en Ouganda. Dans les sites où l'incidence de la maladie était plus élevée, les foyers présentant des niveaux plus importants de diversité variétale ont subi moins de dégâts sur leurs cultures sur pied. La diversité intraculture (par des mélanges de variétés, de multilignées ou l'utilisation de différentes variétés dans différentes parcelles d'une même exploitation) peut réduire les dégâts causés par les ravageurs et les maladies. Tooker et Frank (2012) ont évalué l'effet de la diversité génotypique dans un ensemble de systèmes naturels et de systèmes agricoles sur la réponse aux ravageurs ou aux agents pathogènes et sur la productivité des plantes. Ils ont conclu que l'augmentation de la diversité des génotypes dans les champs de culture est très prometteuse pour réduire l'abondance des ravageurs et augmenter le rendement de la culture. Plus récemment, Ssekandi et *al.* (2015) ont démontré pour le haricot qu'un mélange variétal contenant au moins 50 % d'une variété traditionnelle populaire résistante réduisait significativement les dommages causés par la mouche du haricot sur la variété moderne populaire sensible.

Le but principal de l'utilisation de la diversité variétale des cultures au sein d'un même ensemble de petites parcelles destinées à la gestion des ravageurs et les maladies est de réduire la taille de la population du ravageur ou de la maladie et de ralentir la propagation du ravageur et de l'agent pathogène. Ces mélanges variétaux peuvent réduire la sévérité de la maladie parce que les mélanges d'hôtes peuvent limiter considérablement la propagation de la maladie par rapport à la moyenne de leurs composantes, à condition que ces dernières diffèrent dans leur sensibilité. Sur la base de plus de 100 études, Wolfe (1985) a constaté que le taux d'infection de la composante la plus sensible dans les mélanges binaires ne représentait que 25 % du taux d'infection dans les parcelles pures. Depuis, les mélanges de variétés ont été largement expérimentés en agriculture biologique (Dawson et Goldringer, 2012) et dans les stratégies de sélection évolutives (Döring et *al.*, 2011).

Mécanismes Affectant l'Incidence de la Maladie

Dans les mélanges et les populations génétiquement variables, plusieurs mécanismes peuvent éventuellement affecter l'incidence ou la sévérité de la maladie (généralement une réduction) dans les populations hôtes (Wolfe et Finckh, 1997). Sept de ces mécanismes qui peuvent s'appliquer aux maladies transmises par l'air, par les éclaboussures ou par le sol sont énumérés ci-dessous:

1. L'augmentation de la distance entre les plantes des géotypes les plus sensibles de la population réduit la densité des spores et la probabilité qu'une spore virulente atteigne un hôte sensible.
2. Les plantes résistantes agissent comme des barrières à la propagation de l'agent pathogène.
3. La sélection dans la population hôte des géotypes les plus compétitifs ou les plus résistants peut réduire la sévérité générale de la maladie.
4. Une plus grande diversité de la population d'agent pathogène en soi peut réduire l'incidence et les dommages de la maladie (Dileone et Mundt, 1994; Milgroom et *al.*, 2008).
5. Lorsque des pathotypes spécialisés pour les géotypes hôtes apparaissent, les réactions de résistance induites par les spores avirulentes peuvent empêcher ou retarder l'infection par les spores virulentes adjacentes (par exemple, l'oïdium dans les mélanges d'orge [Chin et Wolfe, 1984]).
6. Les interactions entre les races d'agents pathogènes (par exemple, la compétition pour les tissus disponibles de l'hôte) peuvent réduire la sévérité de la maladie.
7. Les effets de barrière sont réciproques—c'est-à-dire que les plantes d'un géotype hôte agissent comme une barrière pour l'agent pathogène spécialisé dans un géotype différent, et les plantes de ce dernier agissent comme une barrière pour l'agent pathogène spécialisé dans le premier géotype.

Les quatre premiers mécanismes s'appliquent aux mélanges et aux populations variables. Les trois derniers s'appliquent aux systèmes hôte-agent pathogène à résistance spécifique.

Les mélanges de géotypes d'hôtes qui varient en réponse à une gamme de maladies des plantes tendent à montrer une réponse générale à ces maladies, qui est corrélée avec les niveaux de maladie sur les composants les plus résistants de la population. De plus, lorsque des géotypes particuliers sont affectés par une maladie, les rendements des autres individus plus résistants compensent généralement pour eux.

Analyse de la Gestion de la Diversité dans la Dynamique Agriculteur-Culture-Pathogène-Environnement

Les connaissances sur la façon dont la gestion de la diversité génétique à la ferme peut permettre aux agriculteurs de faire face au stress biotique peuvent être analysées en termes du paradigme des phytopathologistes concernant le triangle de la maladie (Scholthof, 2007). Le triangle de la maladie est un outil important pour comprendre la dynamique des maladies infectieuses chez les populations. Une maladie survient lorsque l'organisme causal ou l'agent pathogène rencontre l'hôte approprié dans des conditions environnementales favorables au développement de la maladie.

Le concept du triangle souligne l'importance de ces trois éléments, ainsi que les interactions par paire entre eux. La manipulation d'au moins un côté du triangle peut réduire le risque d'infection et gérer la maladie. Dans le cas de la gestion de la diversité par les agriculteurs pour faire face au stress biotique, nous reconnaissons que l'agriculteur joue un rôle central dans les décisions touchant les trois axes. Le protocole de recherche de Mulumba et *al.* (2012) vise à tester et à documenter ce rôle et son efficacité et comprend les étapes suivantes:

- Étape 1: Diagnostic participatif par le biais de discussions de groupes cibles standardisées et d'enquêtes auprès des foyers afin de recueillir des informations auprès des agriculteurs sur la diversité variétale des cultures et les pratiques de gestion de la maladie.
- Étape 2: Observation *in situ* (dans les champs des agriculteurs) pour quantifier l'infestation par le ravageur et la maladie par le biais de transects et de notation de l'incidence réelle, ainsi que la relation entre les dommages causés par la maladie et la quantité de diversité cultivée. Cette observation doit avoir lieu au cours des entretiens individuels au moment de l'incidence du ravageur et de la maladie.
- Étape 3: Évaluation à la ferme de la résistance des variétés traditionnelles dans les conditions des agriculteurs. Tester des échantillons de variétés des agriculteurs avec un ensemble de variétés différentielles standard.
- Étape 4: Collecte d'isolats pour estimer la diversité des agents pathogènes et des ravageurs et préparer les expérimentations en station et les essais au laboratoire.
- Étape 5: Répétition d'essais dans des stations expérimentales afin que les partenaires puissent suivre les épidémies dans le temps (réactions des plantules, évolution de la maladie, effet sur le rendement).

Étape 6: Réalisation d'essais sous serre pour tester les interactions hôte-ravageur ou hôte-agent pathogène dans des conditions contrôlées et pour mesurer la diversité des interactions et tester l'impact de la diversité sur la vulnérabilité.

Estimation des Dommages Causés par les Agents Biotiques au Champ

L'établissement d'un lien entre les niveaux de diversité variétale et les dommages causés par les ravageurs et les maladies au champ nécessite des mesures de la sévérité des dommages au champ pour chaque variété cultivée par l'agriculteur (étape 2 ci-dessus). Les échantillons sont mélangés de façon systématique et aléatoire, afin que les notes soient représentatives pour chaque ferme. Chaque variété présente doit être notée pour les dommages causés par chaque maladie ou ravageur cible, l'estimation étant dans chaque cas la moyenne de 30 observations pour une ou plusieurs plantes notées individuellement.

La méthode en zigzag est utilisée pour obtenir un échantillon approprié. Elle consiste à marcher dans un chemin en zigzag dans le champ à partir d'un point de départ d'une extrémité de la parcelle à l'autre, en couvrant l'ensemble des plantes cultivées de cette variété, en traversant différentes lignes, allant de la plus haute altitude à la plus basse et en évitant les bords, comme indiqué dans la figure 7.1a. Si le fait de marcher en zigzag dans le champ risque d'endommager considérablement la culture, il faut entrer dans la parcelle à différents endroits le long de la parcelle, comme indiqué à la figure 7.1b. Il est important pour une cartographie ultérieure de prendre une lecture GPS lorsque l'évaluateur se trouve au milieu de chaque parcelle.

En dix points aléatoires le long de ce chemin, trois observations—une à gauche, une à droite et une juste devant—sont faites. Une ou plusieurs plantes dans chacune de ces zones sont évaluées selon une échelle de notation fournie pour la maladie ou le ravageur cible, ce qui donne un total de 30 notes pour chaque variété ou mélange de variétés cultivées ensemble dans une parcelle. Si la variété est cultivée sur plusieurs parcelles, un plus petit nombre de points d'échantillonnage est utilisé dans chaque parcelle pour fournir 30 observations. À partir des 30 observations, une évaluation sur une échelle allant de 0 à 100 peut ensuite être calculée sur la base de l'incidence (pourcentage de plantes, de branches ou de feuilles touchées) multipliée par une note de la sévérité exprimée en proportion. L'estimation de l'indice des dommages au foyer (HDI) résulte de la pondération de la note de dommages pour chaque variété avec le pourcentage de la superficie

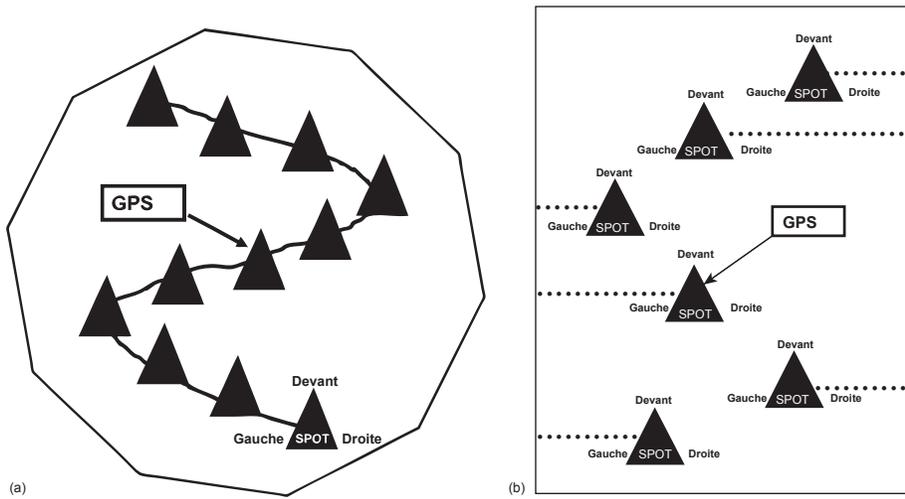


Figure 7.1. Diagrammes schématiques pour la collecte d'observations sur les dommages causés par le ravageur et la maladie sur les variétés cultivées au niveau du champ de l'agriculteur: 7.1a montre un schéma en Z pour l'échantillonnage de dix points, avec trois observations à chaque point; 7.1b est un schéma modifié, pour endommager le moins possible lors de l'entrée dans des champs des agriculteurs, montrant comment les points du schéma en Z sont atteints en entrant au champ par les côtés de la parcelle. (Extrait de Jarvis et *al.*, 2012, avec la permission de Bioversity International)

de l'exploitation agricole couverte par cette variété. L'indice de dommage au foyer peut ensuite être comparé aux valeurs de richesse et d'équité des foyers abordés au chapitre 4. La variation des niveaux de dommages est également comparée entre les foyers cultivant un nombre différent de variétés, et au niveau du paysage communautaire entre les communautés ou les années d'échantillonnage.

Diversité Génétique, Dommages et Vulnérabilité Génétique

De nombreuses variables sont utiles pour caractériser les systèmes en interaction dans le temps; l'interaction entre l'hôte et le ravageur dans des environnements spécifiques est l'un de ces systèmes. Nous nous concentrons ici sur trois concepts clés applicables aux champs des agriculteurs—la diversité génétique, les dommages (la maladie) et la vulnérabilité génétique—et leurs interrelations. La figure 7.2 est un diagramme de diversité-dommages-la vulnérabilité (DDV), qui est une représentation conceptuelle des relations entre les concepts clés. Son but est de fournir un cadre pour l'élaboration d'hypothèses et la comparaison dans différents types d'environnements et de systèmes de culture. Ci-dessous, se trouve une description plus détaillée des axes du diagramme DDV

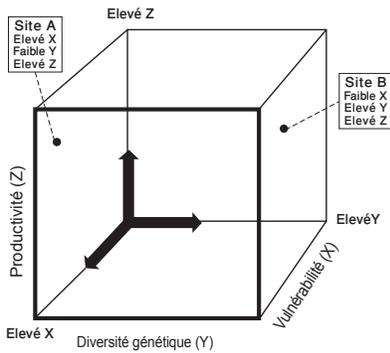


Figure 7.2. Cadre tridimensionnel pour la relation entre la diversité génétique, les dommages actuels causés par la maladie ou la productivité et la vulnérabilité génétique: Axe X = vulnérabilité (probabilité de pertes futures de production) mesurée par les niveaux d'homogénéité génétique, de faible résilience, de mutation, de migration; axe Y = diversité génétique mesurée en termes de richesse, équitabilité et divergence; axe Z = productivité mesurée en gains économiques, sociaux et culturels (d'après Brown 2012, avec la permission de Bioversity International)

avec un exemple numérique simple et hypothétique de mesures de diversité pour un système idéalisé d'interaction hôte-pathogène. Les agriculteurs choisiront une stratégie de diversité qui donne une productivité maximale ou une perte minimale due à la maladie, ainsi qu'une vulnérabilité minimale.

Diagramme de Diversité-Dommages-Vulnérabilité (DDV)

Le diagramme DDV est une construction tridimensionnelle, dont les trois axes sont d'abord nommés et ensuite décrits dans les sections suivantes. De façon conventionnelle, le graphique en 3D présente l'axe des Y horizontalement, l'axe des Z verticalement et l'axe des X en diagonale, ou imaginé comme vertical par rapport au plan de la page. Dans ce cas, les trois dimensions correspondent aux concepts: vulnérabilité génétique, diversité génétique et dommages. L'axe des X peut correspondre à l'une des mesures de la vulnérabilité génétique ou du risque de dommages futurs, qui sont examinées ci-dessous. Le deuxième axe (ou axe Y) est l'une des mesures de la diversité génétique (par exemple, la richesse, l'équitabilité, etc.). Il s'agit de la principale variable indépendante que les agriculteurs manipulent par leur choix de variété et de source de semences. Le troisième axe (ou axe Z) est la mesure des dommages qui proviennent des pressions biotiques au champ ou, inversement et plus simplement, une mesure de la performance du rendement ou de la productivité. Un point dans l'espace 3D représente les valeurs sur chaque axe, mesurées pour une ferme individuelle, un champ ou une communauté et une culture hôte spécifique et une pression de la maladie ou du ravageur. Une cartographie des systèmes d'étude permet de détecter et de tester les relations ainsi que de regrouper les points en attributs (tels que le type de cultures, les systèmes de sélection particuliers et les types d'agents pathogènes).

Axe de la diversité génétique

L'axe de la diversité génétique (Y) a été largement étudié ailleurs (par exemple, Jarvis et *al.*, 2008; voir chapitre 4), et la diversité peut être mesurée de plusieurs façons. La richesse des noms de variété, l'équitabilité et la divergence entre les fermes sont des mesures de base présentant plusieurs avantages (Jarvis et *al.*, 2008, chapitre 5). L'indice de diversité génétique de Nei (qui est le complément de l'indice de dominance de Simpson) combine les notions de richesse et d'équitabilité, mais donne plus de poids à l'équitabilité de la fréquence des types les plus répandus. Sherwin et *al.*, (2006) ont affirmé que l'indice d'information de Shannon-Weaver est plus utile comme statistique relative à la diversité, en particulier dans le cas de données hiérarchiques où la diversité est répartie en composantes au sein d'un même champ, entre les fermes, au sein des communautés et entre les communautés.

Axe des dommages ou de la perte de productivité

L'axe de la productivité (ou des dommages) (Z) présente des défis dans le regroupement des données et leurs méta-analyses. Les échelles des différentes mesures dans les différents systèmes de culture peuvent être très hétérogènes, allant des types de réponse à une maladie définie pour des systèmes spécifiques (par exemple, pour l'expression des symptômes de la rouille) à la mesure des traits morphologiques. Les méthodes de mise à l'échelle multidimensionnelle, telles que l'analyse en composantes principales, permettent de combiner de nombreuses variables dans un nombre réduit d'indices (voir chapitre 6). Pour toutes les mesures des dommages, il est essentiel que la mise à l'échelle soit cohérente dans la direction, de sorte que des notes plus élevées indiquent plus de maladie, plus de dommages, moins de rendement ou une plus grande adversité comme résultat de la maladie. Nous avons décrit ci-dessus comment obtenir des notes fiables de dommages au champ. Les autres variables qui appartiennent à cet axe sont les mesures de l'impact économique ou social (chapitres 8 et 9) et la substitution des pesticides par la diversité comme moyen de réduction des dommages (voir le chapitre 9).

Les variables qui mesurent les dommages (la maladie) causés par les agents pathogènes, les parasites ou les ravageurs à la ferme (la «pression des ravageurs») comprennent la présence ou la prévalence de ravageurs spécifiques dans une zone, les dommages et la perte de rendement qui en résultent, la réponse à l'application de pesticides et la réponse des génotypes de l'hôte test pour une résistance connue. Les méthodes de base pour cette évaluation sont

la surveillance des impacts de la maladie ou du ravageur, y compris la perte de rendement, le prélèvement d'échantillons aussi bien de la plante hôte que du ravageur pour des tests de réponse à des biotypes locaux, la comparaison des hôtes locaux et exotiques pour la diversité de leur réponse aux biotypes, et l'évaluation de la diversité des traits affectant la réponse de l'hôte (par exemple, la morphologie) et la diversité pour les marqueurs neutres.

Axe de la vulnérabilité génétique

Le troisième axe (X) de la vulnérabilité génétique est la dimension la plus difficile à quantifier (Brown, 2008). La vulnérabilité génétique est «l'état qui se produit lorsqu'une culture ou une espèce végétale est génétiquement et uniformément sensible à un ravageur, un agent pathogène ou à un risque environnemental» (Conseil national de la recherche, 1993). La vulnérabilité génétique se concentre sur le potentiel de dommages futurs plutôt que sur les dommages réels dans la culture actuelle. Les populations d'une espèce cultivée sont «génétiquement vulnérables» si elles ne possèdent pas la diversité génétique qui leur permettrait de résister à un nouveau défi biotique ou à un stress abiotique susceptible de s'intensifier, en particulier lorsque cette diversité génétique adaptative est disponible ailleurs. Ainsi, le concept de vulnérabilité génétique est plus restreint que la simple vulnérabilité. Pour être «génétique», la diversité adaptative ou de résistance qui fait défaut dans la localité actuelle doit exister ailleurs. La vulnérabilité génétique découle d'une cause génétique (manque de diversité) et possède des remèdes génétiques. Un cas évident de grande vulnérabilité génétique se présente lorsque des zones entières sont cultivées avec un seul génotype (par exemple, une oasis cultivée avec un seul clone de palmier dattier, très apprécié pour son goût ou son rendement, mais sensible à une maladie, alors que d'autres variétés moins appréciées auraient pu être cultivées).

Il est difficile d'établir une mesure de la vulnérabilité génétique car une valeur réelle exigerait une connaissance précise des environnements futurs. Le tableau 7.2 présente les mesures possibles, ainsi que leurs hypothèses ou bases conceptuelles, en fonction de différents types de vulnérabilité génétique (Brown, 2008). Le premier type est presque une simple tautologie, il affirme que l'uniformité génétique en soi est susceptible d'entraîner une perte importante de la récolte lorsqu'un nouveau défi environnemental se présente. Pour ce concept, la richesse et l'équitabilité de la diversité des variétés constituent des mesures générales. Par ailleurs, les estimations de la diversité pourraient être basées

TABLEAU 7.2. CONCEPTS ET INDICATEURS DE LA VULNÉRABILITÉ GÉNÉTIQUE.

Concept de vulnérabilité génétique	Mesure
<i>Homogénéité génétique</i> : La zone cultive une ou très peu de variétés d'une culture, et ces variétés partagent toutes une structure de résistance très similaire.	<ul style="list-style-type: none"> • Richesse et équitabilité de la diversité des variétés. • Diversité des résistances génétiquement différentes.
<i>Vulnérabilité environnementale</i> : Les variétés actuelles d'une région, bien qu'adaptées à l'environnement actuel de cette région, manquent de diversité génétique qui les adapterait aux catastrophes environnementales ou au stress croissant avec le temps.	<ul style="list-style-type: none"> • Sensibilité relative des variétés locales lorsqu'elles sont cultivées dans des conditions à stress croissant.
<i>Vulnérabilité mutationnelle</i> : La culture serait sensible à un nouveau pathotype mutant de l'agent pathogène.	<ul style="list-style-type: none"> • Proportion de pathotypes non locaux ou d'isolats distincts susceptibles de provoquer une maladie.
<i>Vulnérabilité à la migration</i> : La culture serait sensible à une nouvelle propagule migrante du ravageur ou de la maladie provenant de l'extérieur de la zone de culture.	<ul style="list-style-type: none"> • Probabilité qu'une propagule migrante aléatoire de ravageur ou de maladie réussisse. • Proportion de plantes qui deviennent malades dans des zones exposées à la maladie, autres que leur environnement domestique.

Adapté de Brown (2008).

sur la variation des séquences du gène marqueur. Le concept repose sur une corrélation de la variation et des arguments de probabilité, dans la mesure où une plus grande diversité génétique pour les génotypes ou les variétés multilocus est, en moyenne, plus susceptible d'entraîner une diversité génétique pour répondre aux besoins spécifiques futurs (tels que les gènes de résistance). Une note élevée pour la richesse signifie que plus de génotypes ou de variétés sont présents dans le système local, incluant tous ceux dont les fréquences sont actuellement négligeables. Ils représentent une diversité dispersée disponible pour une multiplication rapide et un déploiement dans les cultures suivantes ou ultérieures. D'autre part, l'équitabilité mesure la diversité déjà déployée à un moment donné et à une échelle déterminée (soit au sein des champs, dans une ferme ou dans un village). Une note élevée pour l'équitabilité implique une diversité dans l'utilisation actuelle, dans la résistance à un large spectre de pathotypes de maladies fongiques ou dans la tolérance à une gamme de types de sol.

Si une mesure de la diversité génétique telle que la richesse variétale est également utilisée comme mesure de la vulnérabilité génétique, nous

ne disposons pas d'un test indépendant de la relation entre la diversité et la vulnérabilité. Toutefois, il est possible de fonder la mesure de la diversité sur des marqueurs neutres (voir chapitre 5) ou des classes génétiques générales (par exemple, des variétés), et la mesure de la vulnérabilité sur des données décrivant l'interaction biotique.

Une autre perspective sur le déploiement de la diversité, et son impact sur la vulnérabilité, consiste à considérer la localisation de la diversité dans l'espace. La vulnérabilité environnementale se produit lorsque la culture se trouve dans une zone émergente de stress (telle qu'une zone d'aridité ou de salinité croissante), mais la diversité qui l'adapterait au nouveau stress n'est pas disponible pour les agriculteurs au niveau local.

Les pressions biotiques soulèvent d'autres possibilités de perte future par le biais de changement génétique ou de migration dans les populations d'agents pathogènes ou de ravageurs. La sensibilité peut provenir de mutations de virulence chez l'agent pathogène qui sont nouvelles pour la population. C'est ce que nous appelons la vulnérabilité mutationnelle, qui est mesurée comme la probabilité moyenne d'infection, ou le niveau moyen des dommages causés par un échantillon uniforme d'isolats non locaux ou de la souche de la maladie, lorsqu'ils sont testés sur les variétés locales. (Un isolat est une culture ou une sous-population d'un microorganisme séparé de sa population mère et maintenu dans une sorte de conditions contrôlées). Les notes séparées pour chaque isolat ne sont pas pondérées, car il est inconnu à l'avance quel pathotype ou spectre de virulence possédera la nouvelle mutation.

La dernière façon dont la productivité d'une zone de culture est menacée est lorsqu'une nouvelle souche de maladie ou d'espèce de ravageur migre dans cette zone et que la population locale y est sensible. Cette vulnérabilité est distinguée comme une vulnérabilité migratoire, qui est mesurée soit au niveau de la ferme ou de la communauté comme étant la probabilité qu'un migrant aléatoire entrant dans la zone réussisse à causer des dommages. Dans un contexte plus large, Stukenbrock et McDonald (2008) distinguent quatre modèles évolutifs par lesquels de nouveaux agents phytopathogènes ont émergé dans les agroécosystèmes sur des échelles de temps très différentes et soulignent l'importance de la diversité génétique dans la lutte contre ces événements à l'avenir. L'accent est mis ici sur les échelles spatiales locales et des échelles temporelles plus courtes. Évidemment, il n'est pas possible de savoir à l'avance quelle virulence d'agent pathogène ou quelle race de ravageur va apparaître dans la zone. Au lieu de cela, des calculs approximatifs sont tentés à des fins de

comparaison en utilisant la connaissance existante de la distribution géographique actuelle des sources menaçantes de l'agent pathogène ou du ravageur, pondérés inversement par la distance et les migrations probables. D'autres estimations de la vulnérabilité migratoire sont disponibles si un échantillon de la population locale en question est testé dans une série de zones exposées à une maladie et la note est basée sur la proportion de plantes endommagées. La section suivante présente un exemple hypothétique de variétés d'hôtes testées contre différents isolats d'une maladie.

Systèmes d'Interaction Génétiquement Définis

Dans cet exemple hypothétique simple, un échantillon de cinq géotypes ou variétés d'hôtes est testé dans des conditions contrôlées pour la réponse à l'infection par cinq isolats distincts de maladie ou à l'infestation par cinq sources de ravageurs. De même, la réponse des hôtes aux tests au champ est indiquée dans la ligne F. Dans ce cas, nous réduisons la réponse à une variable à deux états, mais les principes peuvent être étendus à des variables qualitatives ou quantitatives plus complexes avec des outils permettant de les regrouper en classes.

Les cinq isolats de la maladie se répartissent en trois types de réponse reconnus par cet échantillon d'hôtes (SSSSS, RRRRS, RRRSS), avec des fréquences dans l'échantillon de 0,4 ; 0,4 et 0,2. Par conséquent, la diversité de la richesse des biotypes du ravageur est de 3 et la diversité de l'équitabilité de Nei est de $1 - (0,4)^2 - (0,4)^2 - (0,2)^2 = 0,64$. Les statistiques relatives à la réponse de l'hôte sont une richesse de trois types (SSRRR, SSRRS, SSSSS), et une équitabilité de Nei de 0,56. Il en résulte qu'il existe neuf types d'interactions hôte-agent pathogène définis dans le tableau. La fréquence de chaque type de test varie (6, 6, 3, 2, 2, 2, 2, 1, 1) sur un total de 25 (= 5×5) tests, et la diversité de l'équitabilité de Nei est de 0,8416 (ce qui, dans ce tableau complet, est égale à $1 - [1 - 0,56] \times [1 - 0,64]$) (Figure 7.3).

Relations Entre les Variables de DDV

Après avoir construit le cadre conceptuel pour l'analyse de l'évolution de la diversité génétique et des stress biotiques, il est maintenant possible d'examiner les relations entre les trois axes clés et les questions de recherche d'intérêt.

Diversité: Dommages

La façon qui lie les dommages à la diversité est fondamentale pour comprendre la diversité d'une culture traditionnelle dans son environnement

biotique. Voici quelques questions de recherche directrices en réponse aux pressions biotiques, elles-mêmes génétiquement diverses dans l'environnement domestique:

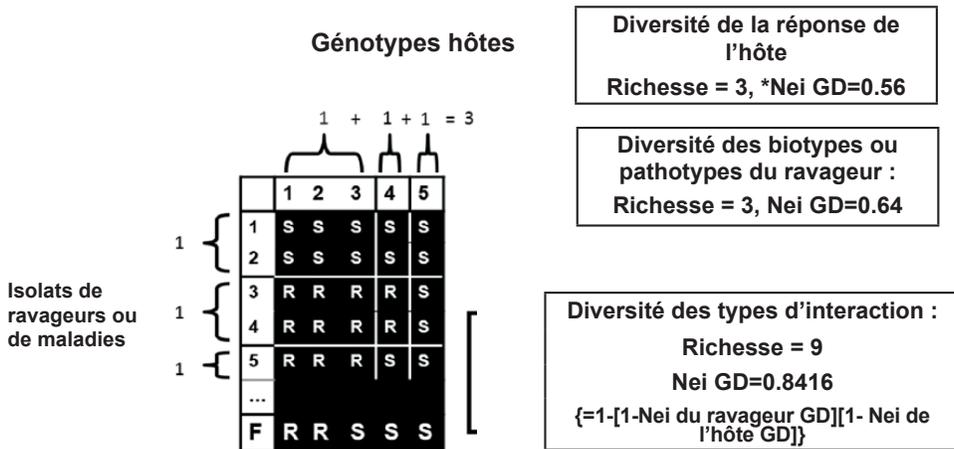
- Quelle est la performance des variétés et génotypes locaux par rapport à celles des cultivars modernes ou celles des cultivars exotiques?
- Quel est le modèle général de relation entre les dommages biotiques subis et la diversité variétale, que ce soit dans les champs des agriculteurs ou dans les communautés?
- Avec plus de diversité, y a-t-il simplement une moyenne des dommages, ou un avantage supplémentaire au niveau de la moyenne des composantes; ou bien un coût pour la diversité en termes de réduction de la résistance?
- Existe-t-il des différences dans les relations pour les types de cultures ou les types de menaces biotiques?
- Dans les systèmes qui peuvent être quantifiés de la même manière que dans le simple exemple, quelle est la relation entre les dommages et les diverses mesures de la diversité?

Diversité: Vulnérabilité Génétique

Comme indiqué précédemment, la relation entre ces axes est difficile à analyser si la diversité génétique elle-même est aussi la mesure de la vulnérabilité. Pourtant, nous avons noté que sur ces trois axes, ce sont les agriculteurs qui peuvent le plus influencer la dimension de la diversité par leur utilisation de la diversité variétale—c'est-à-dire le nombre (la richesse) de variétés cultivées et l'équitabilité calculée sur la superficie cultivée par chaque variété. Il est clairement nécessaire d'étudier l'intérêt présumé d'une plus grande diversité dans la réduction de la vulnérabilité. Par exemple, l'utilisation de mélange de variétés de cultures ou d'ensembles diversifiés de variétés d'une culture ouvre la voie à des questions sur leur composition optimale (richesse et équitabilité des composants), la disposition des plantes (échelonnée dans le temps, aléatoire ou en lignes intercalées, voire en parcelles séparées et en petits champs), la culture et la gestion de la récolte.

Quels types de systèmes présentent une relation entre la diversité et la vulnérabilité au profit des agriculteurs?

La question de la stratégie de diversité génétique (variété) et de l'atténuation de la vulnérabilité a un analogue intéressant dans la «théorie du portefeuille» pour la gestion de l'investissement. La question analogue d'intérêt est celle de la répartition optimale des investissements entre les actions de



*La diversité génétique de Nei (Nei GD) est le complément de l'indice de diversité équitabilité/dominance de simpson (Nei GD élevé = fréquence plus équitable des types, Nei GD faible = dominance de quelques types)

Figure 7.3. Matrice pour un système d'interaction génétiquement défini (à partir de Brown 2012, avec l'autorisation de Bioversity International)

la société (analogue aux différentes composantes variétales d'une stratégie mixte) afin d'obtenir un rendement total maximal, ou une résilience maximale. Un résultat fondamental de cette théorie se concentre sur la matrice de variance-covariance de la performance du génotype (action) sur un certain nombre d'environnements (dans le temps), pondérée par leur probabilité d'occurrence. Une plus grande résilience de la performance (vulnérabilité minimisée) se produit lorsque des corrélations négatives prévalent, c'est-à-dire lorsque différents «investissements» dans l'ensemble du portefeuille ont des performances différentes en réponse à des défis différents dans le temps, dans un marché en évolution. Dans le cas de la diversité variétale, la vulnérabilité est minimisée lorsque la «corrélation bénéfique» nette (définie comme les corrélations négatives moins les corrélations positives) a une grande valeur absolue.

Domages: Vulnérabilité Génétique

La relation entre les dommages subis par la culture actuelle et les pertes potentielles futures influe vraisemblablement sur la prise de décision des agriculteurs en matière de diversité. Dans les populations hôtes fortement endommagées renfermant d'importantes populations d'agents pathogènes, la

charge croissante d'inoculum peut augmenter le risque d'évolution de nouveaux biotypes de virulence. Par conséquent, les questions d'intérêt comprennent:

- Comment les agriculteurs réagissent-ils aux dommages causés à la culture par la maladie? Vont-ils traiter, changer de variétés, modifier les pratiques culturales ou simplement subir la perte?
- Les dommages subis par la culture actuelle prévoient-ils des dégâts plus importants dans le futur et incitent-ils ainsi l'agriculteur à modifier ses pratiques de gestion?

Conclusions

Ce chapitre a abordé des cas et des méthodes relatives à la manière dont la diversité génétique des cultures est utilisée pour gérer les stress abiotiques et biotiques dans l'environnement agricole. Évidemment, ce concept pourrait faire partie d'un programme de lutte intégrée contre les organismes nuisibles. Cependant, il est également connu que l'approche consistant à utiliser la diversité génétique des cultures n'est pas appropriée dans toutes les circonstances. Le défi consiste à déterminer quand, où et comment la diversité génétique des cultures peut jouer, ou joue, un rôle clé dans la gestion des pressions environnementales néfastes dans les champs des agriculteurs. À cette détermination, nous devons ajouter une compréhension de l'environnement socioculturel, économique et politique qui influence les décisions des agriculteurs, ce que nous aborderons dans les chapitres suivants (chapitres 8, 9 et 10). Ceci constituera la base des outils et des procédures de prise de décision pour les agriculteurs, les chercheurs et les agents de développement. Cela permet de comparer les «stratégies riches en diversité» avec d'autres méthodes de gestion des cultures disponibles pour assurer une productivité durable dans des conditions de stress (voir chapitre 12).

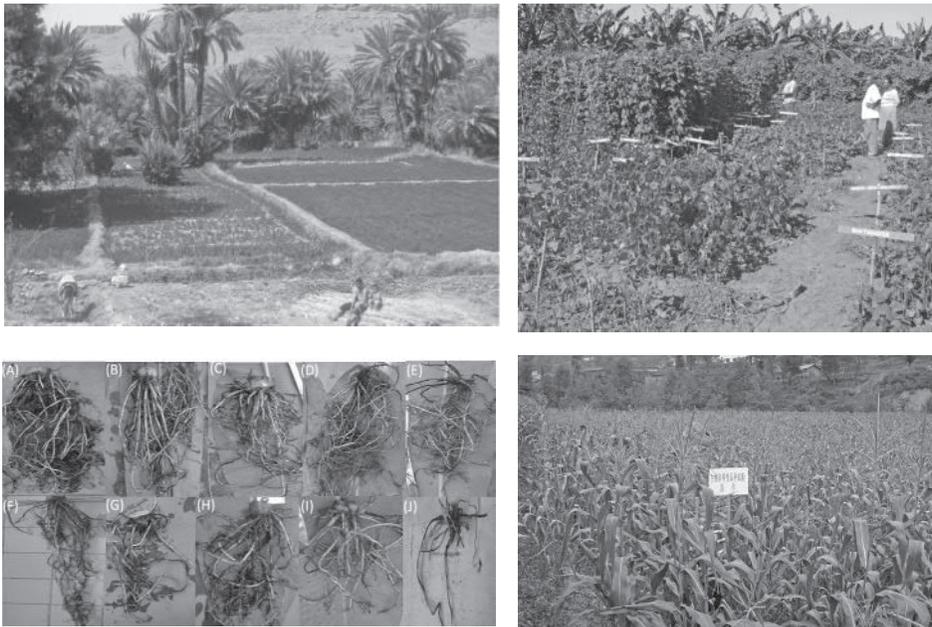


Planche 8. Dans n'importe quel champ, une large gamme de facteurs de stress climatiques, édaphiques et biotiques peut se trouver à des niveaux qui affectent la croissance de la plante et la productivité de la culture. De nombreuses variétés traditionnelles évoluent dans des champs souvent soumis à de multiples stress. En haut à gauche: oasis de palmier dattier au Maroc. Les agriculteurs choisissent des variétés de dattes précoces pour limiter la période d'exposition à la chaleur extrême, gérant ainsi la variation génétique pour éviter le stress thermique plutôt que pour la tolérance. En haut à droite: variétés traditionnelles de haricot grimpant et de haricot de brousse qui ont été prélevées sur trois sites en Ouganda pour être cultivées ensemble afin de tester la résistance à la tache angulaire (*Phaeoisariopsis griseola*) et à l'anthracnose. En bas à gauche: diversité des dégâts causés par les nématodes (*Radopholus similis*) sur les variétés de *Musa* en Equateur. Les lettres font référence à différentes variétés de plantain (*Musa* spp.): (A) Dominio Hartón; (B) Dominico; (C) Gros Michael; (D) Orito; (E) Barraganete; (F) Dominico Verde; (G) Limeño; (H) Dominico Negro; (I) Guineo de Jardín; (J) Williams. En bas à droite: expérimentation de mélange variétal de maïs du comté de Zhaojue, dans la province du Sichuan, en Chine, où une variété moderne est cultivée avec trois variétés traditionnelles pour la gestion de la maladie contre la brûlure des feuilles du maïs. Crédits photos: D. Jarvis (en haut à gauche), Joyce Adokorach (en haut à droite), D. Vero/D. Vaca, C. Suárez-Capello/J. Lopez (en bas à gauche), H. X. Peng (en bas à droite).

CHAPITRE 8

Qui sont les Gestionnaires de la Diversité?

Caractérisation des Environnements Sociaux, Culturels et Economiques

À la fin de ce chapitre, le lecteur devrait avoir une connaissance de base de ce qui suit:

- Comment caractériser les agriculteurs et les communautés agricoles qui maintiennent la diversité dans leur environnement social, culturel et économique.
- Les méthodes d'analyse de la manière dont les rôles déterminés socialement, culturellement et économiquement façonnent les modèles de diversité génétique des cultures chez les agriculteurs et leurs foyers, les réseaux ou les associations formelles d'agriculteurs et les communautés agricoles.

Rôles des Agriculteurs et Gestion de la Diversité des Cultures

Les décisions des agriculteurs concernant la diversité des cultures sont influencées par le rôle social, culturel et économique qu'ils jouent dans leur communauté et dans leur vie. Ces rôles influent sur l'étendue et le type de diversité des cultures que les agriculteurs maintiennent en façonnant leur accès aux connaissances et aux ressources, ainsi que leurs actions ultérieures. La recherche sociale étudie la manière dont les gens se regroupent et interagissent au sein des institutions et s'organisent, de manière formelle et informelle, en vue d'une action collective. La culture peut être définie comme l'expression de l'interaction dans le temps entre les communautés et leurs environnements naturels, historiques et sociaux. Ces environnements non seulement satisfont les besoins matériels des populations en nourriture, fourrage, eau, médicaments et autres ressources naturelles, mais fournissent également les bases des valeurs éthiques, des concepts d'espaces sacrés, des expériences esthétiques et des

identités personnelles ou collectives issues de l'environnement local (Kassam, 2009). La recherche culturelle se concentre sur les coutumes, les croyances et les valeurs à travers lesquelles une société ou un groupe se définit. La recherche économique porte sur les décisions que prennent les gens en matière d'allocation et d'utilisation des ressources, sur la base de valeurs marchandes et non marchandes. L'analyse de la pertinence des rôles socialement, culturellement et économiquement déterminés pour la gestion des cultures et des variétés aidera à comprendre les systèmes de gestion des cultures et des variétés et, par conséquent, à orienter la conception et la mise en œuvre des programmes de conservation de la diversité à la ferme. Les caractéristiques à prendre en compte sont l'âge, le genre, la parenté, la richesse relative, l'éducation, le statut social, l'ethnicité et la langue. Une caractérisation des relations sociales et du capital social est également fondamentale.

Dans le cadre de tout exercice de diagnostic, les caractéristiques ci-dessus sont étudiées à différentes échelles spatiales, dont l'unité de production agricole (qui est souvent, mais pas toujours, un foyer agricole), les groupes d'agriculteurs (qui comprennent les réseaux sociaux ainsi que les associations les plus formelles) et les communautés agricoles. L'une des principales raisons pour lesquelles l'accent est mis sur une gamme d'échelles spatiales est que les différences s'expriment souvent plus fortement dans la variation entre les groupes et les communautés plutôt qu'au sein de ceux-ci. Il est important que la conception de l'étude (et la structure d'échantillonnage, si des méthodes quantitatives sont employées) permette de telles comparaisons.

Caractérisation des Gardiens et des Gestionnaires de la Diversité

Voici quelques caractéristiques sociales qui sont les plus utiles pour comprendre et analyser la gestion de la diversité des cultures par les agriculteurs.

Âge

Les connaissances relatives à la diversité des cultures et aux agroenvironnements locaux sont souvent détenues par des groupes d'âge ou des cohortes spécifiques dans une communauté. Les connaissances indigènes ou traditionnelles sur la diversité génétique des cultures sont souvent plus développées chez les membres les plus âgés d'une communauté, bien que les jeunes générations puissent également avoir des connaissances uniques sur les cultures et les plantes sauvages associées. Les jeunes agriculteurs peuvent avoir des préférences idéologiques ou personnelles différentes de celles des

agriculteurs des cohortes âgées, ce qui les amène à prendre des décisions et à faire des choix différents affectant la diversité de leurs systèmes agricoles.

Genre

Le genre fait référence aux rôles et aux responsabilités sociales des hommes et des femmes dans un contexte culturel spécifique, qui sont appris et modifiable et qui peuvent varier considérablement au sein et entre les cultures. Le genre est différent du sexe, qui désigne les différences biologiques et fixes entre les hommes et les femmes. Les rôles de genre sont des comportements appris dans une société, basés sur le conditionnement social des activités qui sont considérées comme appropriées pour les hommes et celles qui le sont pour les femmes. Les rôles et les relations de genre changent en fonction de l'évolution des conditions sociétales.

Dans de nombreuses cultures, les femmes et les hommes détiennent des connaissances exclusives sur différentes cultures ou même sur différentes variétés traditionnelles d'une même espèce, ce qui fait du genre une catégorie sociale particulièrement importante pour comprendre la diversité génétique des cultures et sa gestion à la ferme (Encadré 8.1). Les différences de connaissance ou de responsabilités relatives aux cultures peuvent résulter de la variation dans les utilisations, les préférences, la propriété ou les régimes de travail associés aux hommes et aux femmes. Différents espaces de production, qu'il s'agisse d'un potager à proximité de la maison ou d'un champ ou d'un verger plus grand appartenant au foyer, peuvent être sous la responsabilité de membres de la famille de sexe différent. Ces divisions peuvent s'appliquer aussi bien aux produits récoltés de la culture destinés à la vente ou à la consommation qu'aux stocks de semences sélectionnées pour le prochain semis. En raison de la nature sexuée du caractère des connaissances et des pratiques de gestion des ressources génétiques des cultures, les données sont collectées sous forme désagrégée auprès des hommes et des femmes. La désagrégation des données doit assurer un échantillon équilibré; par exemple; une enquête menée auprès de 60 foyers, dans une communauté devrait interroger un homme adulte dans 30 foyers (50 % de l'échantillon) et une femme adulte dans les 50 % des foyers restants quel que soit le sexe du chef de chaque foyer.

Parenté

La parenté est la relation socialement reconnue entre des individus d'une société qui sont biologiquement apparentés ou qui ont reçu le statut de parents par mariage, adoption ou autre rituel au sein d'une communauté. Les

Encadré 8.1. Exemples de Genre et d'Espaces de Production

Yucatán, Mexique

Dans la région du Yucatán au Mexique, la milpa, ou champ de maïs, est traditionnellement considérée comme le centre de la sphère d'influence des hommes, et ce sont principalement les hommes qui gèrent les flux de semences des cultures qui y sont cultivées, en particulier le maïs, les haricots et les courges. Cependant, lorsque les mêmes cultures sont cultivées dans les jardins familiaux et les parcelles villageoises, les femmes jouent souvent un rôle de premier plan dans la sélection, l'approvisionnement et l'échange des semences, car ces sites sont considérés comme le lieu d'influence des femmes. Ces espaces de production traditionnels sont interdépendants en termes de sélection et d'entretien des variétés pour les raisons—à la fois similaires et différentes—que les hommes et les femmes possèdent pour la culture d'un cultivar donné dans un espace de production donné, associées à l'influence que les hommes et les femmes exercent les uns sur les autres pour la sélection variétale en fonction de l'espace de production (Lope, 2004).

Burkina Faso

Au Burkina Faso, la plupart des foyers constituent souvent de grandes unités de production agricole composées d'un chef masculin senior et de son épouse ou ses épouses, de leurs filles non mariées et des familles nucléaires de tous leurs fils. Les unités de production peuvent comprendre plus de 50 membres. La plupart ont des champs familiaux importants, qui représentent la majorité de la superficie de la ferme et dans lesquels tous les membres du foyer travaillent pour produire les céréales de base (sorgho ou millet). Le reste des terres est géré de manière indépendante par les membres du foyer, chaque épouse et les fils aînés disposent normalement de leur propre parcelle (Dossou et al., 2004; Sawadogo et al., 2005a).

Ethiopie

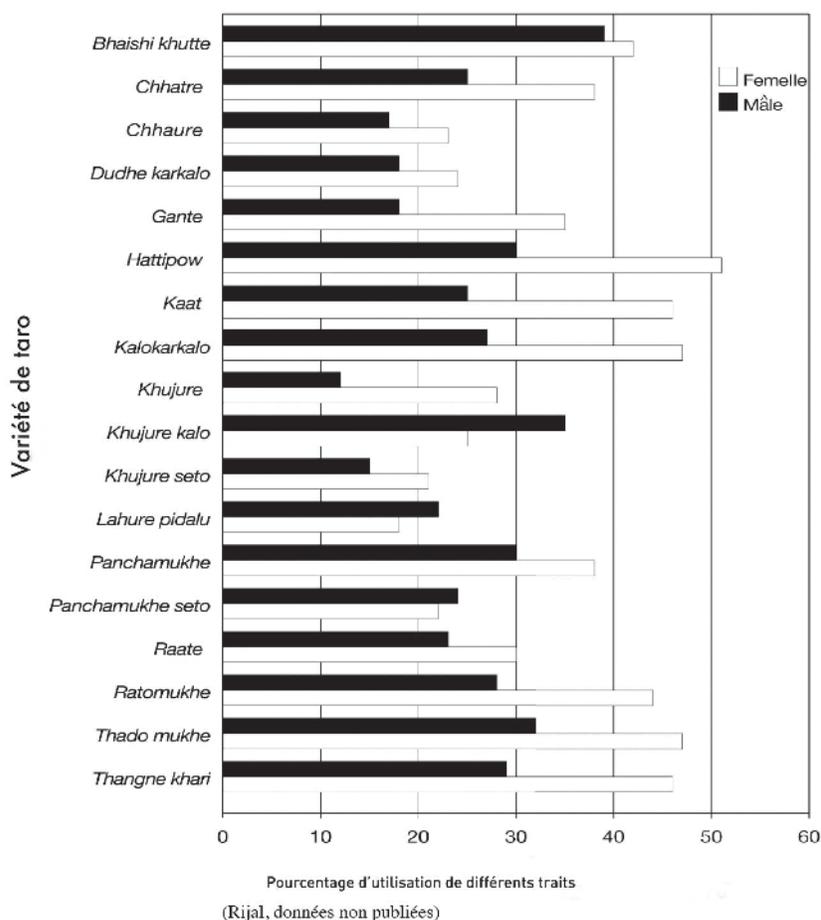
Au nord de l'Éthiopie, les foyers agricoles dirigés par des femmes, ou ceux qui comptent une proportion de femmes plus élevée, ont tendance à cultiver une plus grande richesse de variétés de céréales (blé, maïs et teff [*Eragrostis*]) que les autres foyers (Benin et al., 2006).

liens de parenté jouent souvent un rôle déterminant dans l'accès des individus aux semences et aux variétés de cultures, ainsi qu'aux connaissances spécialisées sur les cultures, comme la façon de cultiver ou d'utiliser des variétés uniques. Les relations de sang et ce que les anthropologues culturels appellent les liens de parenté «fictifs» ou les relations sociales (tels que les accords de parrainage) peuvent influencer l'accès au matériel végétal de plantation et à l'information sur l'expérience agricole. Les principaux aspects de parenté qu'il est important de quantifier par le biais d'entretiens et d'autres méthodes de recherche sociale comprennent les règles coutumières de résidence, d'héritage, de filiation et de mariage (par exemple, si les individus ont tendance à se marier au sein de leur communauté [endogamie] ou en dehors de celle-ci [exogamie]). Ces modèles de base et ces règles de parenté influencent la structure géographique de la diversité génétique des cultures (Leclerc et Coppens d'Eeckenbrugge, 2012), le plus souvent en renforçant un échange «vertical» de stocks de semences entre générations le long de la famille, du clan ou d'autres liens de parenté (Figure 8.1).

Encadré 8.1. (suite)

Népal

Les enquêtes sur la nomenclature des variétés de taro (*Colocasia* spp.) au Népal indiquent que les femmes sont plus cohérentes que les hommes dans leur utilisation des traits pour décrire les variétés locales de taro (voir figure ci-dessous). Comparées aux agriculteurs, les agricultrices utilisent un plus grand nombre de descripteurs de traits, elles les appliquent de manière plus cohérente aux variétés traditionnelles et sont plus fiables dans la reconnaissance de descripteurs spécifiques que leurs homologues masculins quant à la caractérisation des variétés de pays (Rijal, 2007).



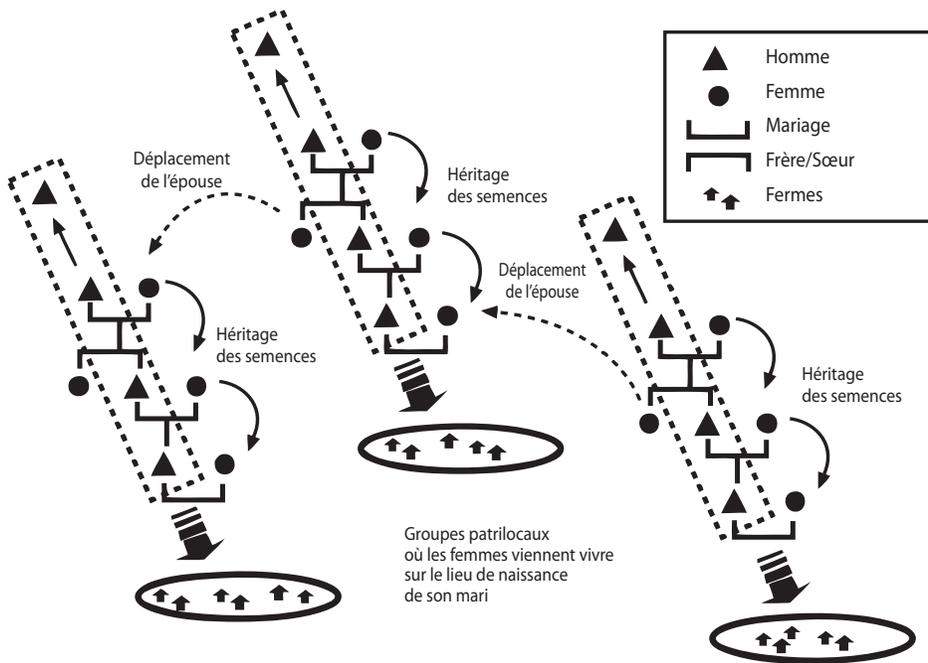


Figure 8.1. Transmission verticale des semences entre les communautés Muthambi au Kenya. Lorsque les femmes se marient dans un clan, elles reçoivent des stocks de semences de leurs nouvelles belles-mères. Avec une résidence patrilocale (c'est-à-dire des femmes résidant dans la maison de la famille de leur mari), le système Muthambi dominant de transmission des semences favorise le maintien des variétés de cultures dans le temps au sein de lignées claniques clairement définies (De Leclerc et Coppens d'Eeckenbrugge, 2012, reproduit avec la permission de MDPI Open Access Journals)

Niveau de richesse et de revenu

La richesse est souvent définie comme un «revenu permanent», puisque les actifs comme le bétail, les outils, l'équipement et le logement contribuent à assurer la capacité de générer de futurs revenus. Les sources de revenus comprennent les revenus agricoles et non agricoles, ainsi que les loyers et les transferts de fonds provenant de parents ou d'autres relations sociales. De manière un peu circulaire, le concept de richesse est défini en fonction du contexte social, culturel et économique particulier des agriculteurs. Par exemple, le bétail constitue souvent une composante majeure et une mesure de la richesse dans certaines sociétés africaines, en particulier lorsque d'autres moyens d'épargne ou d'investissement ne sont pas disponibles, ou lorsque la terre est détenue selon le droit coutumier. Toute mesure des caractéristiques de la richesse commence par l'identification de ce qui constitue la richesse dans la société ou le groupe social étudié.

Selon le milieu agroenvironnemental et le contexte socioéconomique local, la richesse peut être positivement ou négativement corrélée à la diversité génétique des cultures (voir chapitre 9). Dans certains cas, les agriculteurs les plus riches peuvent se permettre de conserver les variétés traditionnelles pour des raisons purement esthétiques, comme les préférences culinaires, ou pour des cérémonies et des célébrations traditionnelles qui véhiculent un prestige social local. Dans la péninsule du Yucatán, au Mexique, une variété locale de maïs aux grains bleus est un élément essentiel d'un ragoût très apprécié au Yucatán, le *relleno negro*, qui est servi lors des mariages, des anniversaires et autres occasions festives. La farine de maïs est utilisée pour épaissir le ragoût, et le maïs bleu est préféré parce qu'il rehausse la couleur foncée du ragoût. Moins de 15 % des foyers ruraux du Yucatán cultivent du maïs bleu, mais ceux qui le font citent souvent les préférences culinaires comme principale raison (Tuxill et *al.*, 2010). Les cuisiniers et les consommateurs, ainsi que les agriculteurs qui cultivent le maïs bleu, tirent donc une valeur économique privée de l'utilisation de cette variété, bien que le produit ne soit pas vendu sur les marchés.

En même temps, les agriculteurs les plus pauvres peuvent avoir une meilleure connaissance de la diversité génétique des cultures adaptée aux agroécosystèmes marginaux et à faible niveau d'intrants. Par exemple, une étude menée auprès des riziculteurs népalais a révélé que les foyers pauvres en ressources ont tendance à cultiver des variétés de riz à gros grain mais tolérantes à la sécheresse, adaptées aux sites marginaux, tandis que les foyers riches en ressources privilégient les variétés qui ont des qualités culinaires très appréciées et qui se vendent à des prix élevés (Rana et *al.*, 2000).

Éducation

L'éducation formelle est souvent considérée comme un moyen d'inciter les gens à quitter l'agriculture pour les orienter vers d'autres activités génératrices de revenus, ce qui réduit le temps qu'ils passent dans leurs fermes. L'éducation reflète le niveau d'alphabétisation. Lorsque le niveau d'alphabétisation est relativement faible, même un niveau d'éducation modeste peut permettre aux gens d'avoir un meilleur accès à l'information et d'acquérir le statut social nécessaire pour obtenir des connaissances et les utiliser.

Statut social

Le statut social des individus a tendance à être lié à la richesse et au revenu, mais il comporte aussi souvent des dimensions ou des subtilités qui méritent une attention particulière. Les personnes ou les foyers ayant un statut social ou politique particulier peuvent exercer un contrôle sur des aspects spécifiques de

l'agriculture, tels que le test de nouvelles variétés, l'entretien des cultures et le calendrier des récoltes. Les personnes qui jouent des rôles rituels ou culturels spécifiques peuvent avoir une connaissance unique de la diversité des cultures, tout comme les agriculteurs ayant une expertise dans la production de semences ou d'autres tâches spécialisées, quel que soit leur niveau de richesse. Le statut social peut influencer le rôle des individus au sein des réseaux sociaux et la mesure dans laquelle ils les utilisent ou en tirent profit.

Le statut social des agriculteurs et leur rôle dans les institutions sociales informelles (et parfois formelles) peuvent expliquer une grande partie de leur influence sur les systèmes semenciers locaux et les flux de diversité. Dans une étude menée en Ouzbékistan, une corrélation positive a été constatée entre la participation d'un foyer rural aux institutions sociales traditionnelles (allant de la présence aux mariages et au temps passé au centre du village, à la participation à des groupes de travail communautaires) et le niveau de diversité des arbres fruitiers et à noix conservés dans les jardins familiaux. Les jardins familiaux ouzbeks contiennent une grande diversité d'abricots, de pommes, de noix, de raisins et d'autres espèces de fruits et de noix originaires d'Asie centrale et du Proche-Orient. L'analyse des systèmes de semences indique que des sources informelles (par exemple, les relations familiales, les voisins, les vendeurs de bazar) sont utilisées pour plus de 85 % du matériel végétal de plantation de fruits et de noix utilisé par les foyers ouzbeks (Van Dusen et *al.*, 2006).

Ethnicité

L'ethnicité, ou identité ethnique, désigne l'appartenance à un groupe culturel particulier. Elle est définie par des pratiques culturelles communes, parmi lesquelles figurent, entre autres, les coutumes, les traditions, la nourriture, les vacances et la langue. Malgré des conditions environnementales similaires, différents groupes ethniques peuvent cultiver des variétés de cultures uniques et éventuellement employer des approches de gestion agroécologique différentes, basées sur les traditions, les normes et les valeurs de leur héritage ethnique.

Dans les communautés parlant le quechua au Pérou, le terme «kawsay» désigne un ensemble d'attentes philosophiques et morales sur la manière dont les individus doivent mener leur vie. En renforçant les normes culinaires, le kawsay a incité les agriculteurs à maintenir les variétés traditionnelles de pommes de terre, de maïs, d'oca (*Oxalis tuberosa*), d'ulluco (*Ullucus tuberosus*) et d'autres cultures andines. Les antécédents culturels du kawsay ont été documentés dès les années 1600. Il s'est avéré être un élément durable de la vision du monde quechua même si les agriculteurs se sont engagés dans une production orientée

vers le marché de façon plus intensive au cours des dernières décennies. L'une des raisons de cette durabilité est que le *kawsay* est un concept culturel en évolution et non statique. Pendant les périodes de conflit social, par exemple, les communautés Quechua privées de leurs droits ont mis un accent particulier sur le *kawsay* comme moyen de justifier et de renforcer leurs revendications sur la terre et les ressources productives. Si les normes culinaires *kawsay* mettent l'accent sur la production et la préparation d'une diversité de denrées alimentaires andines traditionnelles comme la pomme de terre et le quinoa, des cultures de base non indigènes comme la fève et le pois fourrager ont également été incorporées au fil du temps (Zimmerer, 1996; Hermida, 2011).

Les variétés de cultures peuvent avoir une valeur particulière dans les contextes rituels ou religieux que suivent les agriculteurs et les communautés agricoles. Par exemple, dans certaines régions d'Indonésie, les agriculteurs autochtones qui cultivent principalement du riz de zones arides, sur des parcelles situées en altitude maintiennent également de petites populations de variétés traditionnelles de patate douce, de taro, d'igname et de larmes de Job (*Coix spp.*). Ces cultures mineures ne contribuent pas de façon importante à la subsistance des foyers et ne sont pas non plus vendues, mais elles sont plutôt maintenues pour leur rôle essentiel dans les cérémonies et les rituels agricoles pratiqués par les foyers individuels (Dove, 1999).

Langue

La langue constitue également un marqueur commun pour le savoir spécifique sur la diversité des cultures, au niveau social et culturel. L'information sur la façon d'identifier et de gérer les variétés de cultures est souvent conceptualisée différemment, ou à différents niveaux de détail, dans différentes langues. Au sein d'une communauté, les différences intergénérationnelles dans les capacités ou les préférences linguistiques (comme lorsque la langue d'un groupe ethnique minoritaire est submergée par une langue nationale plus largement parlée) peuvent être en corrélation avec les niveaux de diversité des cultures maintenues. L'ethnicité et la langue peuvent toutes les deux refléter des relations historiques uniques ou des contraintes sociales qui ont influencé la distribution des ressources génétiques des cultures au sein des communautés agricoles, dans les paysages agricoles régionaux ou même à plus grande échelle (Perales et al., 2005). Par exemple, de nombreuses études sur le sorgho indiquent que la dispersion et la diversification du sorgho en Afrique ont été façonnées par les schémas linguistiques entre les locuteurs de langues nilotiques/soudanaises et ceux de langues bantoues (Leclerc et Coppens d'Eeckenbrugge, 2012).

Les relations politiques ou commerciales entre les groupes ethniques sont des contingences historiques supplémentaires qui peuvent affecter l'accès des différentes communautés aux ressources génétiques au fil du temps.

Relations Sociales et Distribution de la Diversité

Les relations sociales au sein d'une communauté influencent l'accès d'un individu aux semences et aux variétés de cultures, ainsi qu'à l'information nécessaire pour les cultiver avec succès. Pour faciliter l'accès, les agriculteurs s'appuient souvent sur des réseaux sociaux, basés à la fois sur la parenté et sur des relations intracommunautaires plus subtiles. Pour les agriculteurs qui sont à la recherche de semences, ces relations interpersonnelles servent à fournir une certaine assurance quant à la source, les caractéristiques et à la qualité des semences acquises—des informations qu'un agriculteur peut ne pas être en mesure d'observer ou d'évaluer directement dans un stock de semences avant le semis. Ainsi, dans les systèmes semenciers informels, les relations personnelles et les liens sociaux ont une fonction similaire à celle de la certification des semences sur les marchés semenciers formels (Badstue et al., 2007; Dalton et al., 2010).

Inversement, il existe aussi des situations où les normes sociales peuvent amener les agriculteurs à s'adresser à des personnes extérieures à leurs familles et à d'autres réseaux locaux pour s'approvisionner en semences. Par exemple, les villageois de la zone sahélienne du Mali considèrent souvent l'insuffisance de semences au moment du semis comme une source de honte, ce qui donne une mauvaise image de leurs propres capacités et aptitudes en tant qu'agriculteurs (Smale et al., 2010). Dans ces circonstances, les agriculteurs maliens qui ont besoin de semences peuvent préférer les acquérir non pas auprès de proches ou de voisins, mais plutôt en accédant aux marchés locaux ou régionaux, où les transactions peuvent être effectuées de manière plus impersonnelle ou peut-être même sous prétexte d'achat de céréales destinées à la consommation que l'agriculteur a en fait l'intention d'utiliser comme semences (Lipper et al., 2010). Dans ces cas, les agriculteurs se tournent vers les marchés même si cela implique probablement un coût d'opportunité, du moins pour les variétés traditionnelles et les autres catégories de semences non certifiées. Des recherches menées au Mali montrent que les grands marchés sont plus susceptibles de fournir des semences provenant de sources multiples, ce qui réduit la certitude quant à l'identité d'une semence et donc la fiabilité de ses caractéristiques agromorphologiques (Smale et al., 2010).

Tous les foyers agricoles ne jouent pas le même rôle dans la gestion et le maintien de la diversité au sein d'une communauté ou d'un réseau semencier

particulier. Au niveau local et parfois aussi au niveau régional, certains agriculteurs constituent des sources importantes de semences, d'informations et d'expertise pour favoriser la diversité. Ces personnes clés, parfois appelées «agriculteurs nodaux», peuvent aussi avoir le statut d'experts ou de maîtres cultivateurs au sein de la communauté. Beaucoup d'entre eux ont aussi d'autres rôles sociaux importants, comme celui de chef de cérémonie ou d'herboriste.

Les rôles des agriculteurs nodaux ne sont pas statiques ou fixes et peuvent varier constamment au fil du temps, un agriculteur peut remplacer un autre en tant qu'agriculteur nodal à mesure que les circonstances sociales et économiques changent. Certains agriculteurs clés maintiennent une diversité variétale exceptionnellement élevée à la ferme, notamment des cultivars locaux ou régionaux rares qui ne sont pas cultivés par la plupart des agriculteurs, et qui sont souvent connus localement et même au niveau régional comme sources de variétés inhabituelles et difficiles à trouver (Salick *et al.*, 1997). D'autres personnes peuvent ne pas maintenir des niveaux exceptionnellement élevés de diversité à la ferme, mais sont connues au sein de leurs communautés et de leurs réseaux sociaux comme étant des agriculteurs exceptionnellement diligents, dévoués et qualifiés qui réalisent de façon fiable des récoltes excédentaires même dans des conditions environnementales peu idéales. Ces personnes peuvent être des sources de semences particulièrement importantes pour d'autres agriculteurs et peuvent jouer un rôle démesuré dans les systèmes semenciers locaux et régionaux, en particulier à la suite de mauvaises récoltes, lorsque de nombreux agriculteurs peuvent être à la recherche de stocks de semences supplémentaires pour leurs besoins de semis.

Dans une perspective de conservation, un rôle important des agriculteurs connus pour conserver et distribuer des niveaux élevés de diversité ou des types uniques de variétés de cultures est qu'ils peuvent être ciblés pour recevoir un soutien afin d'accroître l'accès et la disponibilité de la diversité à un plus grand nombre de membres de la communauté. La réalisation d'une enquête ou d'entretiens semi-structurés (décrits ci-dessous) auprès d'un échantillon aléatoire de foyers agricoles au sein d'une communauté permet généralement d'obtenir un premier aperçu de l'importance relative des différents foyers dans la gestion de la diversité génétique des cultures, mais cela peut ne pas suffire pour identifier toutes les personnes clés. Un moyen de suivi consiste à utiliser un processus «d'échantillonnage en boule de neige», dans lequel les informateurs initiaux suggèrent d'autres personnes ou foyers à enquêter, qui à leur tour suggèrent d'autres personnes, etc. Cette méthode d'échantillonnage peut être utilisée

pour suivre les lignes d'échange de semences et, dans le processus, identifier les agriculteurs qui constituent les principales sources intracommunautaires de matériel végétal de plantation et probablement les gestionnaires clés de la diversité génétique des cultures. La cartographie des réseaux sociaux d'origine des semences peut également donner des résultats similaires (voir le chapitre 11 pour plus de détails).

Les semences et les informations associées passent à travers certains réseaux sociaux plus que d'autres, et il est essentiel de pouvoir reconnaître ces canaux pour soutenir la diversité des systèmes semenciers locaux (Encadré 8.2). Une composante importante des réseaux sociaux est constituée par les nombreux types d'associations—d'origine interne et externe—qui se trouvent dans les communautés. Toutes les associations ou autres institutions qui cherchent à fournir des avantages aux agriculteurs impliquent la constitution d'un capital social, ou la capacité des agriculteurs (hommes et femmes) à développer et utiliser des réseaux sociaux (Jarvis et *al.*, 2011). Certaines associations sont formellement créées et dirigées par des étrangers, tels que les clubs de crédit des agriculteurs qui obtiennent des variétés modernes et d'autres intrants. De nombreuses autres associations sont installées au sein d'un village ou d'une ville et sont orientées vers une série de besoins quotidiens, tels que les fonds pour les mariages et les enterrements, les associations de crédit informelles et les groupes de travail. Certaines de ces associations sont plus inclusives que d'autres et certaines remplissent une fonction essentiellement économique.

L'identification des associations clés pour l'accès aux semences et aux informations qui les concernent peut-être effectuée par le biais d'entretiens et d'instruments d'enquête qui demandent aux agriculteurs d'identifier les types d'associations et autres institutions sociales auxquelles ils participent, ainsi que de caractériser leur intensité et/ou leur fréquence de participation, notamment en ce qui concerne l'échange d'informations agricoles (Van Dusen, 2006). Lorsque ces informations sont combinées à d'autres données sur les systèmes semenciers provenant d'enquêtes, comme par exemple en demandant aux agriculteurs où et auprès de qui ils se procurent leur matériel végétal de plantation (voir chapitre 11), une image détaillée se dégage sur l'importance des associations au sein des réseaux sociaux pour l'accès des agriculteurs à la diversité variétale. Il est également possible de modéliser de manière quantitative la relation entre la participation des agriculteurs aux associations ou autres institutions sociales et leur maintien de la diversité en utilisant une analyse de régression (voir chapitre 9).

Encadré 8.2. Réseaux Sociaux et Diversité des Variétés Traditionnelles dans les Andes Centrales

Dans la région andine du Pérou, de l'Équateur et de la Bolivie, des millions de petits agriculteurs cultivent diverses variétés traditionnelles de pommes de terre, de tubercules oca et ulluco, de maïs, de haricots et d'autres cultures annuelles. Les foyers agricoles se procurent généralement la majorité de leurs stocks de semences à partir de leurs propres récoltes, mais des études indiquent que les agriculteurs andins dépendent de sources de semences extérieures à la ferme pour au moins 15 % des plantations de chaque année (Zimmerer, 2003b). Les réseaux sociaux centrés sur la parenté et les relations sociales («Compadrazgo ou parrainage») constituent les sources les plus importantes de semences provenant de l'extérieur de la ferme. Cependant, un rôle de plus en plus important est également joué par les associations paysannes locales et régionales, en particulier celles organisées à des fins de conservation. En collaboration avec des ONG locales et nationales, les associations paysannes ont contribué à l'organisation de foires aux semences, de banques de semences communautaires et d'autres programmes qui facilitent l'accès des petits agriculteurs à la diversité des cultures aux niveaux local et régional (Tapia, 2000). À divers degrés, les ONG des trois pays ont collaboré avec des institutions gouvernementales nationales telles que les ministères de l'agriculture pour promouvoir des réseaux sociaux qui favorisent l'accès à la diversité des cultures (Zimmerer, 2003b).

Capital Social, Action Collective et Droits de Propriété

Les réseaux sociaux influencent également le maintien de la diversité génétique des cultures par les agriculteurs de nombreuses manières indirectes qui reflètent des institutions sociales et des structures politiques plus larges. Un rôle clé des réseaux et associations (tels que les syndicats et coopératives d'agriculteurs) consiste à faciliter l'accès des agriculteurs au crédit et à l'information sur les nouvelles options et pratiques de gestion. Le capital social que les agriculteurs obtiennent grâce aux réseaux et aux associations comprend le développement de pratiques de gestion collective appropriées et le renforcement des droits de propriété des individus ou des groupes.

Les actions collectives sont comprises comme les mesures volontaires prises par un groupe pour atteindre des intérêts communs et des régimes de propriété (MeinzenDick et Eyzaguirre, 2009). L'action collective peut impliquer des membres d'un groupe agissant directement par eux-mêmes ou par le biais d'une organisation—par exemple, en convenant et en appliquant des règles pour l'utilisation ou la non-utilisation d'une ressource génétique, et en coordonnant les activités entre les fermes individuelles. Les agriculteurs peuvent se tourner vers l'action collective pour obtenir de l'aide afin de faire face aux imperfections du marché et aux coûts de transaction, tels que ceux engendrés par les contraintes en matière d'information, de crédit et de commercialisation.

Les droits de propriété impliquent «la capacité de faire appel à la collectivité pour soutenir la revendication de chacun à un flux de bénéfices» (Bromley, 1991). Les projets ou les interventions politiques qui renforcent les droits de propriété individuels ou collectifs et aident les agriculteurs à participer à des activités collectives peuvent améliorer leurs positions de négociation et leur capacité à négocier avec d'autres acteurs sociaux (Eyzaguirre et Dennis, 2007). Ces interventions peuvent impliquer le développement de mécanismes institutionnels que les participants locaux peuvent utiliser pour s'organiser et promouvoir l'utilisation de variétés de cultures traditionnelles, par exemple par le biais de districts spéciaux, d'associations privées et d'initiatives des autorités locales/régionales (Meinzen-Dick et Eyzaguirre, 2009). Ces mécanismes peuvent permettre d'établir des liens plus étroits avec les institutions politiques qui soutiennent les syndicats et les coopératives agricoles dans leurs efforts pour former les agriculteurs à la production et à la commercialisation, aider à la négociation des prix, collecter les taxes foncières et partager les informations—autant de mesures qui contribuent à la durabilité des systèmes agricoles locaux et régionaux (Caviglia et Kahn, 2001; Pretty, 2008).

Outils et Méthodes de Documentation et de Mise en Relation des Caractéristiques de l'Agriculteur avec la Diversité Génétique des Cultures

Les spécialistes des sciences sociales ont développé une large gamme de méthodes de recherche qui peuvent être utilisées pour documenter ou mesurer les rôles des agriculteurs définis socialement, culturellement et économiquement et les relier à la diversité des cultures à différentes échelles d'analyse. En général, ce travail commence par un diagnostic participatif de la situation sur le terrain, en utilisant une combinaison de méthodes qualitatives et quantitatives.

Le diagnostic participatif vise à adopter le «point de vue d'en bas» en explorant la manière dont les groupes d'utilisateurs comprennent et agissent sur les situations problématiques. Les résultats du diagnostic participatif aident à définir le programme des phases ultérieures du projet, comme par exemple: (1) identifier et évaluer les options technologiques basées sur le savoir et les ressources locales; (2) s'assurer que les innovations techniques sont adaptées aux contextes socioéconomiques, culturels et politiques locaux; (3) mettre en place des mécanismes pour un partage et une utilisation plus larges des innovations agricoles; et (4) suivre et évaluer les améliorations agricoles résultant du processus de recherche et de développement.

Le diagnostic participatif est utile lorsque le but du projet est d'examiner les problèmes, les besoins et les opportunités tels qu'ils sont perçus par les groupes d'utilisateurs. Il complète, mais ne remplace pas nécessairement, d'autres méthodes de recherche dans lesquelles l'équipe du projet observe et interprète directement les situations biophysiques ou sociales (par exemple : collecte par les chercheurs d'échantillons de sol pour les analyses au laboratoire). Le diagnostic participatif est centré sur l'identification et la hiérarchisation des problèmes. Il peut également couvrir des questions/thèmes associés à l'évaluation des besoins et des opportunités, à l'analyse des parties prenantes/du genre, à l'évaluation des systèmes de subsistance, à la documentation du savoir local et aux études de base.

En général, les études de diagnostic visent à générer des informations sur les systèmes agricoles ciblés pour une amélioration à travers les efforts de la recherche et de développement. Les études de diagnostic peuvent être largement regroupées selon celles qui permettent aux travailleurs en recherche et en développement d'étudier: (1) les caractéristiques biophysiques de certains agroécosystèmes, (2) les profils sociaux des agriculteurs et autres gestionnaires de ces agroécosystèmes, et (3) les connaissances ethnoécologiques et ethnographiques des résidents locaux sur la dynamique biophysique et sociale des agro écosystèmes. La troisième catégorie se réfère aux connaissances dans leur sens le plus large—concepts, perceptions, croyances, valeurs, décisions et actions—et c'est là que le diagnostic participatif peut être le plus utile.

Méthodes de Recherche Sociale Qualitative

Les méthodes qualitatives permettent à un chercheur de documenter de manière approfondie le contexte social et culturel d'une communauté agricole, et de se familiariser directement avec la gestion locale de la diversité génétique des cultures. Parmi les outils qualitatifs les plus largement utilisés par les spécialistes des sciences sociales figurent les entretiens, l'observation des participants et la documentation des histoires orales. La plupart de ces outils sont applicables à la fois dans des situations individuelles et de groupe. Les informations sur le contexte social de la gestion de la diversité qui sont obtenues de manière qualitative sont souvent vitales pour l'interprétation complète et précise des données ultérieures qui sont collectées de manière quantitative.

Entretiens

Les entretiens individuels ou en petits groupes constituent souvent un meilleur cadre pour discuter avec certains membres de la communauté, comme

les femmes ou les personnes pauvres, qui peuvent être réticents à exprimer leurs véritables opinions dans des groupes plus larges (Davis-Case, 1990). Comme indiqué au chapitre 5, un entretien de groupe a l'avantage de présenter plusieurs points de vue d'un groupe social ou d'une communauté dans un seul cadre. Souvent, certaines des informations parmi les plus révélatrices des entretiens de groupe peuvent provenir de l'interaction sociale entre les différents membres de la communauté lorsqu'ils présentent leurs perspectives sur les sujets de discussion (Freudenberger et Gueye, 1990). Le style d'un entretien peut varier d'un entretien relativement ouvert, dont le but est simplement d'obtenir un aperçu général sur les thèmes de la vie locale, à des entretiens semi-structurés où le chercheur donne à l'avance un aperçu des thèmes, des points de référence ou des questions clés à couvrir pendant l'entretien.

Histoires orales

Les histoires orales représentent une sorte d'entretien dont le but est de documenter les événements passés, les tendances et les changements vus du point de vue des collaborateurs locaux. Les histoires orales peuvent être réalisées en tant qu'exercice de groupe, par exemple pour documenter les changements historiques dans l'utilisation des terres ou le régime foncier dans une communauté, ou individuellement (par exemple, pour noter les expériences d'un agriculteur individuel concernant une culture, la sélection et la gestion des variétés de cultures). La préparation d'une chronologie historique ou d'un transect historique est souvent un moyen utile et visuel de documenter et d'organiser les informations de l'histoire orale. Sur une échelle de temps plus courte, les calendriers d'activités saisonnières permettent d'atteindre le même objectif.

Observation des participants

L'observation des participants est, essentiellement, une sorte d'entretien prolongé au cours duquel le chercheur participe à une activité avec des collaborateurs, comme le défrichage, le semis, le désherbage ou la récolte d'un champ, ou la sélection de semences pour le cycle de semis suivant. L'information enregistrée provient à la fois de la conversation informelle avec les collaborateurs pendant l'exécution du travail et de l'expérience directe du chercheur dans la réalisation du travail en question. L'un des avantages de l'observation des participants est qu'elle permet de poser des questions complètes et détaillées (par exemple, sur les pratiques agricoles et de gestion des semences) dans le cadre d'une conversation qui se déroule de manière tout à fait naturelle et informelle, et de vérifier ou de recouper les informations avec les activités réelles observées.

Cartographie

La cartographie est une activité assez productive lorsqu'elle est combinée à des entretiens. La préparation d'une carte informelle, soit avec un groupe (par exemple, en montrant les terres agricoles d'une communauté ou les agroenvironnements autour d'un village), soit avec un foyer (par exemple, en montrant les champs et les parcelles d'un agriculteur), permet de recueillir efficacement beaucoup d'informations spatiales. Les cartes vernaculaires ou cognitives qui résultent de ces sessions avec les collaborateurs locaux ne sont généralement pas dessinées entièrement à l'échelle, ou peuvent montrer des formes de relief locales ou des caractéristiques d'un point de vue inhabituel. Néanmoins, elles sont extrêmement utiles comme modèles pour poser des questions sur les pratiques et les tendances agricoles, et sur la gestion des ressources phytogénétiques au niveau de la communauté ou de la ferme (Tuxill et Nabhan, 2000). Lorsque les collaborateurs sont habitués à interpréter des cartes de base formelles telles que les quadrangles topographiques, ces cartes peuvent servir de base de discussion. La technologie GPS offre également un moyen de standardiser les informations obtenues grâce à des exercices de cartographie collaborative (voir chapitre 6).

Créations de diagrammes

La création de diagramme est une activité utilisée pour illustrer et expliquer des processus, des relations et des structures, même si l'information n'est pas de nature spatiale à l'origine. Elle peut être une alternative qui permet de gagner du temps en évitant de poser de nombreuses questions à l'agriculteur. Un diagramme de flux de semences est un moyen visuel efficace permettant aux agriculteurs de transmettre des informations précises sur le lieu et la manière dont ils ont obtenu des semences de différentes variétés et sur les personnes à qui ils ont fourni des semences à leur tour (Figure 8.2). Le diagramme constitue également un moyen efficace pour communiquer l'information sur le flux de semences à d'autres personnes. Lors de la création des diagrammes, il est important que la signification des lignes et des formes soit définie et utilisée de façon cohérente par tous les informateurs. Les diagrammes individuels peuvent ensuite être compilés pour aboutir à une compréhension du pourcentage du flux de semences entrant et sortant d'une communauté à partir de différentes sources.

Méthodes Quantitatives de Recherche Sociale

Les méthodes quantitatives de recherche sociale consistent à recueillir des données sociales et économiques de manière systématique, de sorte que les résultats soient statistiquement valides et donc représentatifs de toute une

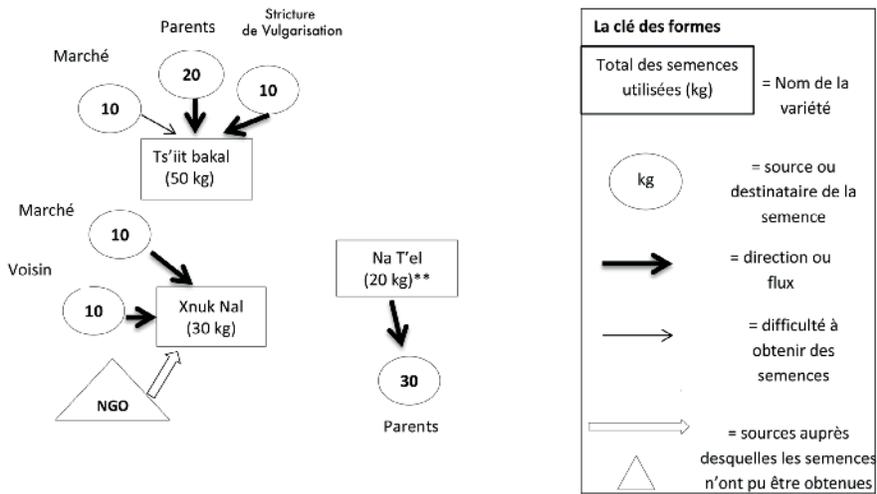


Figure 8.2. Carte dessinée par le répondant A pour le flux familial de semences de maïs. (*Pour Ts'iit bakal: 10 kg du marché, 20 kg des parents, 10 kg provenant des structures de vulgarisation, 10 kg de semences auto-conservées = 50 kg semées cette saison; **Pour Na T'el: 20 kg semées sans source indiquée, 20 kg de semences auto-conservées). Une fois compilés, les diagrammes de flux de semences individuels peuvent permettre de comprendre le pourcentage de semences entrant et sortant d'une communauté provenant de différentes sources. (Tiré de Jarvis et Campilan, 2006, avec l'aimable autorisation de Bioversity International)

population, une communauté ou une région, selon l'échelle d'échantillonnage. Généralement, les informations quantitatives sur le contexte social de la diversité sont collectées en utilisant des instruments d'enquête ou des questions standardisées issues d'entretiens individuels. Les méthodes de recherche participative décrites dans la section précédente, lorsqu'elles sont correctement appliquées, peuvent également produire au moins trois types distincts d'informations quantitatives:

1. Les données d'identification et de caractérisation comprennent des listes de noms, de critères, de descriptions, de raisons et d'autres données nominales similaires permettant d'identifier et de caractériser un sujet particulier. Généralement, ces données sont générées par le biais de questions d'approfondissement de type «quoi», «quand», «où», «comment» et «pourquoi».
2. Les données de notation et de comparaison couvrent les rangs, les notes et autres données similaires où les agriculteurs ou autres informateurs sont invités à évaluer, comparer et différencier un ensemble de variables. Pour faciliter le codage de ce type de données, il est idéal de fixer la

même gamme de notes ou d'échelles lors de la conception des outils de collecte de données. Ces données sont généralement générées par le biais de classements matriciels et d'outils de notation. Les déclarations de croyance constituent un autre type de données impliquant la notation et la comparaison. Des notes sont attribuées à chaque réponse possible selon une échelle de notation. Ces résultats représentent la direction, l'étendue ou le degré d'accord ou de conformité à des croyances, attitudes, normes et motivations particulières.

3. Les données de visualisation comprennent des cartes, des diagrammes et des spécimens, qui sont utilisés comme outils visuels pour permettre aux informateurs d'exprimer leurs connaissances sur un sujet particulier. Souvent, elles sont utilisées pour montrer le lieu, la direction, la relation, le modèle, et la tendance. Les données des cartes sont représentées par des symboles, des signes et des étiquettes. Ces données visuelles peuvent être traitées à l'aide d'une analyse de contenu. La méthode d'analyse de contenu consiste à obtenir des significations transmises par les agriculteurs à l'aide de symboles sous forme de données de terrain, puis à les encoder dans la base de données à l'aide d'identités numériques et de valeurs qui leur sont attribuées. Chaque carte ou diagramme, provenant d'un répondant à un entretien individuel ou d'un groupe de participants à une session de discussion de groupe, est considérée comme une unité d'observation. Grâce à l'analyse du contenu, un ensemble de diagrammes peut être encodé dans une base de données et ensuite analysé comme les données d'une enquête plus conventionnelle.

L'information quantitative peut être recueillie auprès de groupes ou d'individus. Dans tous les cas, il est important de distinguer l'unité d'observation pour laquelle cette information quantitative a été recueillie. Les données collectées lors d'une session de discussion de groupe constituent une seule observation quantitative, quel que soit le nombre de participants à chaque session. De même, la cartographie d'une communauté, où des agriculteurs représentant une section transversale d'une communauté travaillent conjointement avec une équipe de recherche pour documenter l'information spatiale, aboutit à un résultat au niveau du groupe. Chaque carte préparée collectivement par un groupe d'informateurs clés constitue une unité d'observation. Les entretiens individuels représentent chacun une unité d'observation distincte, peu importe si des outils participatifs ou des questions directes ont été utilisés pour recueillir les réponses.

Les questionnaires et les instruments d'enquête similaires fonctionnent comme une «situation de rôle interpersonnel dans laquelle un enquêteur pose aux répondants des questions conçues pour obtenir des réponses pertinentes aux hypothèses de recherche. Les questions, leur formulation et leur séquence définissent la structure de l'entretien» (Frankfort-Nachmias et Nachmias, 1996:232).

Avec l'avènement des systèmes d'information géographique (SIG), il devient de plus en plus possible de cartographier et d'analyser le modèle spatial des variables sociales et économiques ainsi que les facteurs environnementaux. Par exemple, dans une étude réalisée au centre du Pérou, des chercheurs ont travaillé avec des agriculteurs de huit communautés pour cartographier la distribution spatiale des variétés traditionnelles de pommes de terre, ainsi que les modes de mise en jachère et les rotations de cultures afin de comprendre la manière dont les décisions des agriculteurs en matière de gestion des terres ont influencé le maintien de la diversité des pommes de terre au fil du temps (de Haan et Juarez, 2010). L'information spatiale peut également être combinée avec des enquêtes centrées sur l'importance relative de différents groupes de statut social ou économique dans la gestion de la diversité.

Les instruments d'enquête, ou questionnaires, sont remplis lors d'un entretien personnel et constituent un moyen de recueillir des données quantitatives directement auprès des informateurs. Le degré de flexibilité des entretiens d'enquête peut varier afin de répondre aux questions en cours d'étude. Lors d'un entretien plus structuré, les questions doivent être formulées de la même manière avec chaque participant, et les questions doivent être posées dans le même ordre afin d'éviter des interprétations différentes de la question.

Comme pour les autres techniques quantitatives, une enquête correctement mise en œuvre doit produire des données appropriées pour l'analyse statistique et, en particulier, pour le développement de modèles empiriques permettant de tester les hypothèses sur les raisons pour lesquelles les agriculteurs conservent, augmentent ou réduisent la diversité des cultures dans différentes conditions économiques (Smale et *al.*, 1994; Van Dusen, 2006). Ces modèles peuvent être utilisés pour étudier les décisions prises en matière de diversité des cultures, aussi bien au niveau individuel qu'au niveau des foyers, et sont capables d'intégrer une série de variables quantitatives économiques, sociales, écologiques et agronomiques, en fonction des questions particulières posées dans le questionnaire d'enquête.

L'une des approches de modélisation les plus couramment utilisées consiste à relier une variable dépendante, comme le choix des variétés cultivées, à une série de variables indépendantes (comme l'âge et l'origine ethnique de l'agriculteur, la taille de la ferme ou la disponibilité de la main d'œuvre au foyer). Le modèle combine des variables indépendantes dans une fonction mathématique, qui peut être de différents types. Par exemple, une fonction de production décrit les compromis auxquels les agriculteurs doivent faire face pour maximiser les possibilités de production de différents intrants en vue d'un objectif particulier, comme le rendement, la génération de revenus pour le foyer ou le maintien de la diversité. Une fonction d'utilité décrit les avantages relatifs qu'un agriculteur ou un foyer agricole tire des différentes caractéristiques d'une activité, comme l'entretien d'un jardin d'arrière-cour ou la culture de variétés génétiquement diversifiées, de façon à maximiser la valeur de cette activité (Birol et *al.*, 2006). Une fois qu'un modèle est décrit en détail en tant que fonction, il est ensuite testé et affiné par l'application des données d'enquête à l'aide d'une équation de régression (décrite plus en détail au chapitre 9).

Utilisation des Données Sociales et Economiques dans la Gestion de la Diversité

Afin de travailler efficacement, les décideurs politiques et les professionnels de la conservation qui s'occupent de la gestion de la diversité phytogénétique à la ferme doivent savoir quels individus, foyers ou communautés sont les plus susceptibles de maintenir la diversité. Ceci est particulièrement vrai dans un environnement politique où les programmes de conservation doivent être mis en œuvre de manière rentable parce qu'ils sont en concurrence avec l'allocation d'autres fonds publics rares (voir chapitre 10). Les outils conceptuels décrits dans ce chapitre pour la collecte et l'analyse d'informations relatives au contexte social de la diversité des cultures sont utiles pour identifier et comprendre quels groupes ou réseaux sociaux doivent être ciblés par les politiques de conservation. Par exemple, la modélisation économique (abordée au chapitre 9) révèle que les programmes de conservation à la ferme doivent être intégrés aux programmes de lutte contre la pauvreté destinés aux secteurs les plus pauvres des communautés agricoles rurales, mais qu'ils doivent aussi être prêts à travailler avec les foyers économiquement plus aisés dont le plus large accès aux ressources productives leur permet souvent de jouer un rôle clé dans le maintien de variétés de cultures les moins répandues.

En particulier, le concept de «foyer agricole» apparaît comme une institution sociale clé pour comprendre la manière dont la diversité des cultures a évolué et a persisté sous la gestion des agriculteurs dans des contextes agricoles qui ne sont pas entièrement commercialisés. Toutefois, la recherche au champ a démontré qu'il faudrait accorder une attention considérable à la définition de l'unité de prise de décision dans les contextes sociaux, culturels et économiques.

Les outils de ce chapitre peuvent également être utilisés pour identifier les institutions potentielles (telles que les coopératives agricoles ou les organisations villageoises) avec lesquelles les programmes de conservation peuvent collaborer sur le terrain. Par exemple, dans le sud de l'Italie, les coopératives de producteurs s'avèrent être une institution clé responsable de la présence continue de diverses variétés de blé dur dans le paysage agricole (Di Falco et Perrings, 2006). Enfin, les outils fournissent également des suggestions sur la manière de concevoir les politiques le plus efficacement possible, en éclairant comment les différents acteurs sociaux valorisent la diversité des cultures et pourquoi ils continuent à maintenir la diversité dans leurs approches agricoles. La mesure, l'analyse et la compréhension des valeurs apportées par la diversité des cultures—pour les agriculteurs et pour la société dans son ensemble—sont au cœur du chapitre 9.

Lectures Complémentaires

- Brush, S. B. 2004. *Farmer's Bounty: Locating Crop Diversity in the Contemporary World*. Yale University Press, New Haven.
- Chevalier, J.M., and D.J. Buckles. (2013). *Participatory Action Research: Theory and Methods for Engaged Inquiry*. Routledge, Milton Park, Abingdon, Oxon.
- Howard, P. L., Ed. 2003. *Women and Plants: Gender Relations in Biodiversity Management and Conservation*. Zed Books, London.
- Smale, M., Ed. 2006. *Valuing Crop Biodiversity: On-Farm Genetic Resources and Economic Change*. CABI Publishing, Wallingford, UK.



Planche 9. Chez de nombreuses cultures, les femmes, les hommes et les enfants détiennent un savoir exclusif sur les différentes cultures ou même sur les différentes variétés traditionnelles au sein d'une même espèce, ce qui fait du sexe et de l'âge des catégories sociales particulièrement importantes pour comprendre la diversité génétique des cultures et sa gestion à la ferme. Les relations sociales et le capital social sont également fondamentaux pour comprendre les pratiques de gestion des agriculteurs. En haut à gauche: Sona Thapa note les informations de son grand-père Naryan Subedi sur les variétés traditionnelles qu'il cultive à Begnas, au Népal, pour le registre de la biodiversité de la communauté. En haut à droite: un agriculteur hongrois avec une variété traditionnelle cultivée pour la consommation domestique. En bas à gauche: des agriculteurs du Burkina Faso travaillent ensemble pour stocker la récolte. En bas à droite: Une femme Maya du Yucatán, au Mexique, prépare des tortillas de maïs dont la pâte contient des graines de courge entières; les deux sont issues de variétés traditionnelles très appréciées pour leurs qualités culinaires. Crédits photos: B. Sthapit (en haut à gauche), D. Jarvis (en haut à droite), R. Vodouhe (en bas à gauche), J. Tuxill (en bas à droite).

CHAPITRE 9

Mesure des Valeurs de la Diversité à la Ferme

À la fin de ce chapitre, le lecteur devrait être en mesure de comprendre:

- Les outils et méthodes permettant de valoriser la diversité à la ferme d'un point de vue économique.
- Le test des relations entre les facteurs sociaux, culturels et économiques et la diversité à la ferme.
- L'identification des facteurs externes qui influencent la décision des agriculteurs en matière de diversité.

L'économie est l'étude des choix que font les individus et les sociétés concernant l'affectation des ressources mises à leur disposition. La recherche économique sur la gestion des ressources génétiques des cultures à la ferme met l'accent sur les variétés et les caractéristiques des variétés que les agriculteurs reconnaissent dans leurs champs plutôt que sur la génétique de la culture ou sa performance dans un environnement contrôlé. Une façon de réfléchir aux dilemmes économiques associés à la diversité génétique des cultures dans les systèmes de production agricole est de reconnaître que les ressources génétiques des cultures sont des «biens publics impurs». Un bien public impur a des attributs économiques à la fois privés et publics. Tous les biens peuvent se situer quelque part entre deux axes définis par le degré de rivalité dans l'usage et la difficulté (ou le coût) d'exclure les utilisateurs (Figure 9.1a).

Une poignée de semences d'une variété de culture donnée qu'un agriculteur cultive pour reproduire cette variété est un bien privé (un intrant de la production), tout comme la récolte de céréales ou de fourrages (un produit de la production). Le germoplasme contenu dans cette poignée de semences, qui

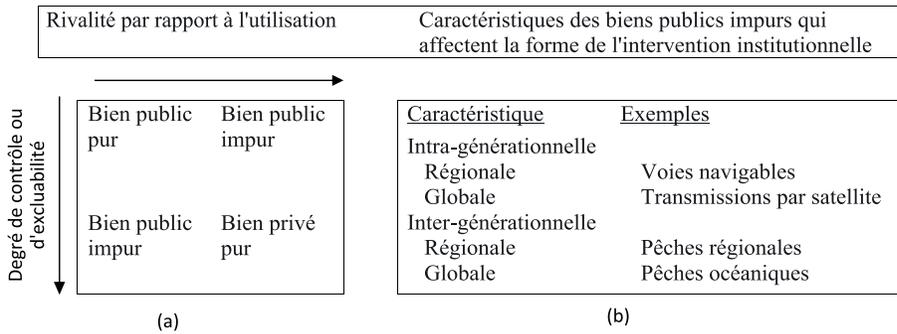


Figure 9.1. Taxonomies simplifiées des biens basées sur les attributs économiques (de Smale 2006b, réimprimé avec la permission de CABI)

la distingue de toute autre poignée, est un bien public. De nombreux agriculteurs peuvent bénéficier simultanément du même germoplasme, et il est coûteux d'exclure les autres de sa communauté. C'est également le cas pour les espèces à pollinisation croisée prédominante comme le maïs, dont le pollen et les gènes sont transportés par le vent d'un champ à l'autre. Une autre complication de la valorisation de la diversité génétique des cultures est que le contenu génétique d'une poignée de semences ou de céréales est, dans une large mesure, non observable sans l'aide d'un laboratoire et d'une technologie de pointe. Ces considérations impliquent que, dans de nombreux contextes, les marchés des ressources génétiques seront loin d'être parfaits. Enfin, étant donné que les décisions des agriculteurs concernant l'utilisation et la gestion des variétés des cultures dans leurs champs peuvent entraîner une diminution des populations végétales et la perte d'allèles potentiellement précieux, leurs choix ont des répercussions intergénérationnelles et interrégionales (Figure 9.1b). Il est donc particulièrement difficile de trouver la bonne combinaison de politiques et d'institutions pour résoudre le problème.

Valeurs Publiques et Privées de la Diversité

Un point de départ consiste à faire la différence entre les valeurs privées et publiques de la diversité. Les valeurs privées sont celles qui reviennent principalement aux propriétaires ou aux gestionnaires individuels de la diversité, tandis que les valeurs publiques et les avantages qu'elles génèrent sont partagés entre tous les membres d'une communauté ou d'une société, souvent de façon assez indirecte. Lorsque les agriculteurs cultivent des variétés traditionnelles très appréciées pour obtenir des produits qu'ils peuvent vendre sur les marchés, ils mettent l'accent sur une valeur privée de la diversité. Si ces mêmes variétés

traditionnelles diversifiées présentent des avantages écologiques en termes de réduction d'applications des pesticides, une plus-value particulière est générée grâce à la réduction des coûts des pesticides et à une moindre exposition à la toxicité due à l'utilisation des pesticides à la ferme.

Une valeur publique est également générée puisque les agriculteurs proches des sources d'eau disposent d'une eau plus propre et les résidus des pesticides dans l'environnement diminuent. La communauté agricole et la société toute entière bénéficient d'un environnement plus sain. En outre, les générations futures d'agriculteurs et de consommateurs pourraient tirer profit de la diversité génétique contenue dans les populations des variétés traditionnelles maintenues à la ferme aujourd'hui—un concept connu sous le nom « valeur d'option » (Smale, 2006a). Les avantages publics et privés de la diversité à la ferme—et la façon de les mesurer—sont abordés dans les sections qui suivent, en commençant par les valeurs sociales et culturelles, qui ne sont souvent pas exprimées dans les échanges sur les marchés.

Valeur Economique Totale

Le concept le plus souvent utilisé par les économistes pour identifier et mesurer la valeur des ressources naturelles, notamment les ressources génétiques des cultures, est la valeur économique totale, représentée dans la figure 9.2. L'économie est utilitaire, et met l'accent sur la société humaine plutôt que sur les systèmes biologiques. Ainsi, la valeur économique des ressources génétiques des plantes cultivées découle à la fois de l'utilisation humaine directe et indirecte. L'usage humain comprend la valeur directe des aliments, des fibres, du fourrage pour animaux et des médicaments, mais aussi la valeur de non-usage ou d'agrément qu'un agriculteur peut apprécier en cultivant une variété traditionnelle de qualité et d'attrait connus. La notion de valeur de non-usage a été proposée pour la première fois par Krutilla (1967). Par exemple, la valeur d'existence se réfère à la satisfaction que les individus ou les sociétés ressentent simplement en sachant que quelque chose existe, que ce soit utilisé ou non. La valeur de legs d'une graine spéciale est la satisfaction de savoir que les générations futures profiteront d'une variété patrimoniale.

La valeur d'usage indirect reflète la contribution des ressources génétiques des cultures aux habitats environnants, aux écosystèmes et à d'autres fonctions de soutien social. Les usages directes et indirectes sont tous deux des dimensions actuelles et futures. Une autre valeur d'usage, connue sous le nom de valeur d'option, assure la flexibilité nécessaire pour fournir des ressources génétiques

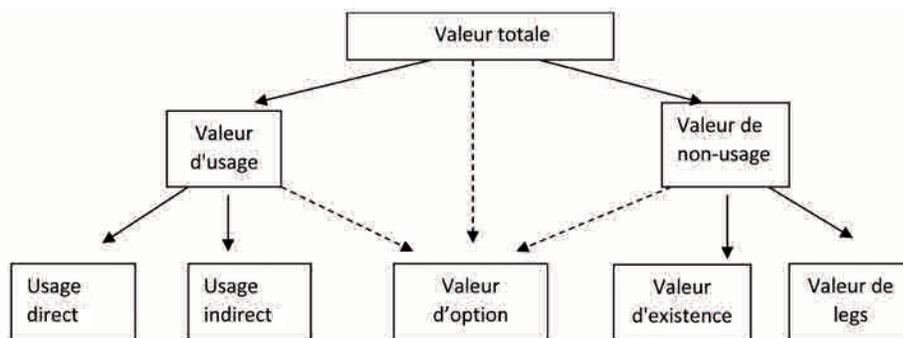


Figure 9.2. Valeur économique totale et ses composantes primaires (adapté de D. Dziegielewska, T. Tietenberg et S. N. Seo, «Total Economic Value» Dans: Encyclopédie de la Terre. Ed. C. J. Cleveland [Washington, D.C.: Environmental Information Coalition, Conseil National pour la Science et l'Environnement], [http://www.eoearth.org /article/Total—economic—value](http://www.eoearth.org/article/Total-economic-value), 2009)

des cultures en dépit d'événements futurs imprévus. Parfois, elle est considérée comme une prime d'assurance pour une communauté ou une société, bien qu'il n'y ait pas de consensus général sur la question de savoir si la valeur d'option est une valeur d'usage ou de non-usage, ou les deux.

Le thème de la valeur économique totale est abordé dans un grand nombre de publications dans le domaine de l'économie de l'environnement et a été appliqué dans de nombreux contextes. Le livre de Pearce et Moran (1994), en particulier, applique le concept à la biodiversité.

Choix Variétal et Maintien de la Diversité

La décision la plus fondamentale que prennent les agriculteurs en matière de diversité est le choix variétal: quelles variétés cultiver et quelles proportions de la superficie cultivée chaque variété doit occuper. Le choix variétal est fortement influencé par le matériel végétal de plantation dont dispose l'agriculteur. Cela suppose que les agriculteurs disposent de terres adéquates, de revenus, ou de relations suffisantes leur permettant d'acheter ou de négocier les variétés dont ils ont besoin (voir chapitre 11). La principale motivation de certaines des premières études menées sur le choix des variétés et le maintien de la diversité était «L'hypothèse du déplacement»—la diffusion rapide des variétés modernes conduit inévitablement à la perte de variétés traditionnelles potentiellement précieuses—qui a été observée au cours des premières phases de la Révolution Verte en Asie (Frankel, 1970; Harlan, 1972). Des études ultérieures ont révélé que l'hypothèse du déplacement ne se vérifie pas toujours et que, dans de nombreux cas, les agriculteurs qui ont adopté des

variétés modernes continuent également à cultiver des variétés traditionnelles (fournies en grande partie par des réseaux de semences locaux ou régionaux) sur une partie de leurs terres (Brush, 1995).

Le choix variétal est également influencé par les niveaux d'hétérogénéité environnementale, tels que la variabilité des précipitations, les types variables de sol et l'incidence des ravageurs et des maladies. Il fonctionne comme une assurance contre le risque environnemental, comme décrit aux chapitres 6 et 7. La variété cultivée et la superficie consacrée à cette variété peuvent être influencées par les demandes du marché et l'accessibilité, par les caractéristiques sociales et économiques du foyer agricole (notamment la disponibilité de la main-d'œuvre adulte); et par les préférences culturelles, religieuses et symboliques. La valeur symbolique des variétés peut être plus abstraite, et peut inclure les valeurs d'autosuffisance et d'indépendance.

Le choix de la variété, même pour un seul foyer, peut changer au fil du temps et parfois de façon assez brutale. Par exemple, en période de troubles civils ou de catastrophe naturelle, lorsque l'autosuffisance d'un foyer n'est plus possible, les agriculteurs doivent se tourner vers l'utilisation d'un ensemble de variétés différent de celui dont ils disposent. Les variétés sont également choisies en fonction de leur valeur alimentaire ou nutritionnelle, leurs caractéristiques post-récolte, leur goût ou leur importance culinaire ou encore leurs propriétés traditionnelles de haute qualité. Dans ce dernier cas, les variétés traditionnelles de grande valeur peuvent imposer des hausses de prix et ainsi compenser les baisses de rendement. Certaines espèces et variétés de plantes cultivées sont également des ingrédients appréciés dans les cuisines locales et régionales, et/ou apportent des bienfaits nutritionnels aux régimes alimentaires. Il est à noter que lorsque les cultures locales ont des rôles culinaires distincts, elles ne sont pas facilement remplacées par d'autres variétés (voir des exemples au chapitre 8). Les agriculteurs peuvent également choisir des variétés traditionnelles plutôt que des variétés modernes lorsque le germoplasme développé par des programmes centralisés de sélection n'est pas bien adapté aux zones marginales et à leurs microclimats. Le choix des variétés peut être influencé par l'utilisation ou la disponibilité d'intrants complémentaires tels que les engrais chimiques et les pesticides, ou par les subventions qui soutiennent des variétés particulières et des intrants chimiques.

L'établissement d'un lien entre les perceptions des variétés par les agriculteurs et les informations sur la structure génétique peut aider à identifier les populations de cultures cibles pour les «options à valeur ajoutée» Une équipe

de l'Institut International de Recherche sur le Riz travaillant dans les systèmes de culture pluviale des basses terres aux Philippines a constaté qu'un groupe de variétés traditionnelles de riz non gluant, connu sous le nom de wagwag, représentait la majorité des réponses positives des agriculteurs concernant les caractéristiques des variétés traditionnelles de riz de la région (Pham et *al.*, 1999). Les agriculteurs ont particulièrement apprécié les qualités aromatiques et la bonne expansion du volume du riz wagwag après la cuisson. Une analyse de correspondance des relations génétiques a démontré que le groupe wagwag est génétiquement distinct de toutes les autres variétés de riz cultivées dans les écosystèmes de plaine pluviale et irriguée aux Philippines. Les résultats génétiques ont également été corroborés par des données sur le polymorphisme mesuré à l'aide de techniques d'isozymes et de microsatellites. Cependant, les variétés de riz wagwag présentent des rendements plus faibles et des durées de maturation plus longues que les variétés de riz modernes. L'équipe de recherche a conclu qu'un programme de sélection ou de gestion visant à réduire le temps de maturation des variétés wagwag pourrait ajouter de la valeur et accroître leur attractivité auprès des agriculteurs, tout en contribuant à la conservation de la diversité génétique du riz à la ferme aux Philippines, en supposant qu'aucun changement majeur ne se produise au fil du temps dans la structure allélique du riz wagwag (Pham et *al.*, 1999).

Une avancée majeure dans la réflexion sur la relation entre les pressions exercées par les ravageurs et les maladies et l'utilisation des intrants dans les fermes a été réalisée lorsque les chercheurs ont reconnu le concept de réduction des dommages. Dans les fermes individuelles, les intrants peuvent avoir un effet direct sur le rendement, qui est lié à l'effet de l'utilisation d'intrants productifs comme les engrais, la main-d'œuvre ou le type de semences qui peuvent avoir un effet direct sur la performance de la culture. Les intrants peuvent également avoir un effet de réduction des dommages, lié à l'effet de l'utilisation de produits de lutte comme les insecticides, les fongicides ou les variétés résistantes qui n'augmentent pas directement la production mais réduisent l'effet des parasites ou des maladies sur la culture. Depuis le travail précurseur de Lichtenberg et Zilberman (1986), les chercheurs en sciences appliquées ont spécifié des modèles qui séparent les effets des intrants sur la réduction des dommages et l'amélioration du rendement de la culture.

Le tableau 9.1 présente quelques références clés de la littérature sur la réduction des dommages, ainsi que plusieurs références qui établissent un lien entre la diversité génétique des cultures et la production végétale dans les fermes.

Les chercheurs ont testé la relation entre la diversité génétique des cultures et le potentiel de rendement et sa variabilité, mais aucune recherche étudiant la relation entre la diversité génétique des cultures et la réduction des dommages n'a été identifiée.

Toute variété possède généralement des caractéristiques souhaitables et indésirables, et il est peu probable que les agriculteurs se contentent d'une seule variété pour répondre à tous leurs besoins agronomiques et de consommation. Relativement peu d'analyses économiques sur le choix de la variété de culture ont tenu compte des traits autres que le rendement en grains et la variabilité de rendement (variance), même si dans de nombreuses régions du monde, les agriculteurs doivent satisfaire au moins une partie de leurs besoins en denrées alimentaires et en fourrage à partir de leur propre production. Bien que la quantité de production—qu'il s'agisse de céréales ou de fourrage—soit une variable importante pour les agriculteurs, ils sont également très attentifs à la qualité des matériaux fournis. Par exemple, certaines variétés de base produisent des ratios plus élevés de fourrage par rapport aux céréales, tandis que d'autres produisent un grain qui se prête mieux à la transformation à la ferme ou à la préparation de plats spécialisés.

En Ouganda, les chercheurs ont examiné l'importance relative des traits de production et des attributs des cultivars pour expliquer les modèles de diversité des bananes (Edmeades et *al.*, 2006). La majorité de la production de bananes en Ouganda est entre les mains des agriculteurs, pratiquant de l'agriculture de subsistance qui cultivent des parcelles de moins de 0,5 ha en utilisant des méthodes à faible intrants. Les agriculteurs ougandais cultivent une gamme impressionnante de cultivars endémiques de bananes d'altitude ainsi que des variétés hybrides récemment développées et des types non améliorés originaires d'Asie du Sud-Est. Les chercheurs ont appliqué une taxonomie des clones de bananes pour obtenir des mesures de diversité basées sur le nombre de rhizomes et la part des rhizomes attribuée aux cultivars de bananes par les agriculteurs ougandais. Un rhizome est un système racinaire unique et peu profond qui développe plusieurs tiges en surface au cours de sa vie. Les chercheurs ont identifié un ensemble d'attributs pour les cultivars de bananes qui sont importants pour la prise de décision concernant les variétés à planter et à quelle fréquence. En se basant sur les données d'enquête obtenues auprès de 517 foyers agricoles ougandais, les chercheurs ont quantifié l'importance relative de chaque attribut de cultivar. L'étude a révélé que les traits de production telles que la résistance d'un cultivar à une maladie ou un ravageur sont généralement

TABLEAU 9.1. EFFET DE LA DIVERSITÉ GÉNÉTIQUE DES CULTURES SUR LES RENDEMENTS DES CULTURES DANS LES FERMES.

Effet de la diversité génétique des cultures	Effet spécifique	Modèle	Référence
Effet de rendement	Rendement potentiel	Fonction de production standard, incluant la diversité génétique.	Headley, 1968
	Variabilité du rendement	Inclusion du risque et d'incertitude.	Smale <i>et al.</i> , 1998; Widawsky <i>et al.</i> , 1998; Di Falco <i>et al.</i> , 2006
		Fonction de production dynamique avec effet de décalage pour surveiller l'impact de la diversité génétique dans le temps.	Di Falco et Chavas, 2006
Effet de la réduction des dommages	Effet des pesticides et autres intrants de contrôle	Fonction de réduction des dommages, qui est une fonction de production standard qui tient compte de l'effet de réduction des dommages causés par les intrants de contrôle.	Lichtenberg and Zilberman, 1986; Babcock <i>et al.</i> , 1992; Carrasco-Tauber et Moffitt, 1992; Oude Lansink et Carpentier, 2001; Thirtle <i>et al.</i> , 2003; Qaim et de Janvry, 2005; Pemsil <i>et al.</i> , 2005
	Effet de la diversité génétique des cultures	Fonction de réduction des dommages, qui est une fonction de production standard qui tient compte de l'effet de réduction des dommages des intrants de contrôle, dont la diversité génétique des cultures.	Aucune référence trouvée

plus importants pour expliquer la diversité des bananes que les attributs de consommation comme la qualité de cuisson (Edmeades *et al.*, 2006).

Peu de travaux ont été effectués sur l'utilité potentielle de la diversité variétale des cultures ou de variétés spécifiques pour fournir des services écosystémiques, tels que la régulation et la lutte contre les ravageurs et les maladies, le maintien de la diversité des pollinisateurs et le soutien de la biodiversité souterraine et la santé du sol (Di Falco *et al.*, 2007). L'utilisation de

ces variétés pourrait réduire les risques financiers et sanitaires liés à des niveaux élevés d'intrants agricoles tels que les engrais et les pesticides, que ce soit pour les petits agriculteurs ou pour l'environnement mais la mesure dans laquelle les agriculteurs prennent ces facteurs en compte dans le choix des variétés qu'ils cultivent est très peu connue. Des facteurs externes tels que l'accès au marché et l'agroécologie conditionnent ou limitent les décisions prises individuellement par les agriculteurs, car ils échappent à leur contrôle immédiat. Le chapitre 11 examine plus en détail les contraintes auxquelles se heurtent les agriculteurs pour accéder au matériel végétal de plantation préféré au moment où ils en ont besoin.

Les hypothèses qui lient l'intensification, l'agroécologie et le développement du marché avec le choix des variétés par les agriculteurs ne peuvent être testées que lorsqu'il existe une variation observable de ces facteurs dans un échantillon de communautés. La stratification est un moyen pratique pour tester les hypothèses qui mettent en relation les caractéristiques environnementales, sociales et économiques avec la diversité. Des données peuvent être collectées sur les caractéristiques des foyers au sein de chaque strate, notamment certaines des variables sociales et culturelles examinées précédemment au chapitre 8 et les caractéristiques environnementales examinées aux chapitres 6 et 7. Les variables ou facteurs de l'échantillon comprennent le revenu, le type de producteur (par exemple, de subsistance ou commercial), la dépendance à l'égard du revenu non agricole, l'offre de la main-d'œuvre, l'appartenance ethnique, l'âge, le sexe, le régime foncier et la qualité de la terre (Tableau 9.2). Les variables sélectionnées sont ensuite supposées façonner la demande de l'agriculteur pour certaines variétés, avec des foyers agricoles considérés à la fois comme producteurs et consommateurs. La demande de l'agriculteur pour les variétés et leurs traits est conditionnée par les types de facteurs externes discutés ici.

Modèles Économétriques

Une fois que les données caractérisant le foyer de l'agriculteur sont collectées, les décisions des agriculteurs peuvent être analysées en appliquant la théorie microéconomique au choix des variétés, à l'aide de modèles économétriques (voir lectures complémentaires pour les manuels décrivant ces modèles). Un modèle économétrique est un modèle dans lequel la théorie économique est utilisée pour supposer des relations causales et les tester à l'aide d'une analyse de régression multiple. Bien que l'analyse de régression soit

TABLEAU 9.2. VARIABLES INDÉPENDANTES UTILISÉES DANS UNE ANALYSE DU CHOIX VARIÉTAL CHEZ DES RIZICULTEURS AU NÉPAL.

<i>Nom de la variable</i>	<i>Définition de la variable</i>	<i>Effet hypothétique</i>
Caractéristiques du foyer		
AGEPDM	Âge du décideur de production (années)	(+)
EDUPDM	Formation du décideur de production (années)	(+,-)
EDUCDM	Formation du décideur en matière de consommation (années)	(+,-)
AAGLABR	Adultes actifs travaillant à la ferme (nombre)	(+)
FAADTPCT	Pourcentage de femmes parmi les adultes actifs	(+)
LANIMLV	Valeur des grands animaux (bœufs, animaux laitiers)	(+)
TOTEXP	Dépenses mensuelles moyennes du foyer depuis la dernière récolte précédant cette campagne (revenu exogène)	(+ , -)
SBRATIO	Rapport entre la moyenne quinquennale du kg de riz produit et le kg de riz consommé	(+ , -)
Caractéristiques de la ferme		
IRPCNT	Pourcentage de la superficie rizicole irriguée	(+ , -)
LNDTYP	Nombre de types de rizières	(+)
RDPLCULH	Distance totale à pied (minutes) de la maison à la rizière, divisée par les hectares cultivés	(+)
Caractéristiques du marché		
TMKTDS	Distance totale à pied entre la maison et les parcelles agricoles jusqu'au marché local (minutes)	(+)
LR SOLD	Quantité de semences des variétés du pays vendue par foyer au cours de la campagne précédente (kg)	(+)
MV SOLD	Quantité de semences de variétés modernes vendue par foyer au cours de la campagne précédente (kg)	(-)

Source: Gauchan et al. (2008).

largement utilisée aussi bien par les écologistes que par les économistes, chaque discipline l'applique de façon plus ou moins différente. Les écologistes utilisent l'analyse de régression pour tester les modèles observés dans un ensemble de données, en particulier l'indépendance spatiale des observations, et pour identifier l'explication la plus parcimonieuse des relations entre les variables. En revanche, les économistes appliquent généralement la régression multiple pour tester les relations entre les variables dans un modèle théorique élaboré avant la collecte des données. Pour les économistes, la régression constitue un

moyen pour identifier et confirmer les variables dépendantes et indépendantes (ou explicatives) d'un modèle. Malgré ces différents points d'intérêt, l'analyse de régression reste un outil statistique indispensable pour les spécialistes des sciences naturelles et sociales (Armsworth et *al.*, 2009).

Dans la régression multiple, la variable dépendante représentant un indice de diversité (choix de la variété ou la diversité variétale) est liée aux facteurs cités ci-dessus, qui sont traités comme des variables indépendantes (Tableau 9.3). La régression multiple permet de tester les effets distincts de chaque variable indépendante ou groupe de variables, tout en vérifiant les autres effets. Dans les analyses de la diversité des cultures à la ferme, la variable dépendante peut être mesurée de nombreuses façons—par exemple, comme un choix entre deux types de populations de cultures, comme un nombre total de variétés à cultiver, comme des répartitions réelles entre les variétés et comme un indice de diversité spatiale pour les variétés nommées (Tableau 9.4). Des exemples supplémentaires de décisions prises par les agriculteurs en matière de diversité variétale, identifiées grâce à une analyse de régression multiple, sont présentés dans l'encadré 9.1.

Diversité:

Importance de l'Échelle

Les marchés sont des institutions sociales qui impliquent l'échange de biens et/ou de services entre les participants, et ils ont une grande influence sur la gestion de la diversité par les agriculteurs. Lorsque les agriculteurs décident de produire des cultures pour le marché, les goûts et les préférences des consommateurs jouent un rôle important dans la détermination des prix que les agriculteurs peuvent obtenir. Le goût et les préférences déterminent la demande pour une culture et peuvent changer en fonction d'une série de facteurs, notamment le niveau de revenu des consommateurs, les normes perçues pour la qualité des produits et les exigences en matière de manipulation et de transformation post-récolte. Les consommateurs expriment leurs préférences en payant des primes de prix pour ce qu'ils préfèrent le plus, et lorsque ces signaux sont transmis à l'agriculteur, celui-ci est incité à cultiver la variété de culture qui lui rapporte la meilleure prime. Les traits de la valeur marchande sont très répandus chez les variétés modernes, ce qui entraîne dans de nombreux endroits des «désincitations» du marché à la culture de variétés traditionnelles. Toutefois, il existe également des cas où les traits uniques des variétés traditionnelles se traduisent par des primes de prix sur les marchés à diverses échelles (du local

TABLEAU 9.3. MISE EN RELATION DE LA DIVERSITÉ AVEC LES VARIABLES SOCIALES À L'AIDE DE LA RÉGRESSION MULTIPLE.

Les données issues des entretiens avec les agriculteurs, dans le cadre de multiples études de cas, ont été testées statistiquement à l'aide de la régression multiple. Un signe plus (+) indique que la diversité augmente à mesure que la variable augmente; un signe moins (-) indique que la diversité diminue à mesure que la variable augmente; (0) signifie que l'effet n'était pas statistiquement significatif; une cellule vide indique que la variable n'a pas été incluse dans l'étude de cas de la régression.

	<i>Pérou: diversité des variétés traditionnelles de pomme de terre</i>	<i>Turquie: diversité des variétés traditionnelles de blé</i>	<i>Mexique: système Milpa, diversité totale des cultures et des variétés</i>	<i>Mexique: diversité des variétés traditionnelles de maïs</i>	<i>Éthiopie: Diversité variétale des céréales</i>	<i>Hongrie: jardins familiaux, variétés traditionnelles</i>
Âge du chef de foyer	0	0	+		+ , 0 , -	+
Éducation		0	+		+ , 0	
Éducation des femmes					+ , 0	
Disponibilité de la main- d'œuvre agricole		-	0	0	+ , 0	0
Revenu non agricole, migration	-	-	-	0		
Biens	- , + , 0	-		0	- , 0	- , 0

Sources: Brush *et al.* (1992); Meng (1997); Van Dusen (2000); Smale *et al.* (2001); Benin *et al.* (2004); Birol (2004).

TABLEAU 9.4. VARIABLES DÉPENDANTES DANS UNE ANALYSE DE RÉGRESSION MULTIPLE RÉALISÉE AUPRÈS DE RIZICULTEURS AU NÉPAL.

Diversité	Population hétérogène et non uniforme	Oui = 1, Autre = 0	Toute variété du pays répondant à ce critère de choix
Rareté	Traits uniques et peu communs	Oui = 1, Autre = 0	Toute variété du pays répondant à ce critère de choix
Adaptabilité	Large adaptation	Oui = 1, Autre = 0	Toute variété du pays répondant à ce critère de choix

Source: Gauchan et *al.* (2008).

au mondial) et dans les milieux ruraux et urbains. Par exemple, les variétés traditionnelles de maïs dans les hautes terres du centre du Mexique bénéficient d'une prime de prix dans les marchés spécialisés, et des études empiriques en Espagne et au Portugal ont quantifié la volonté des consommateurs à payer plus cher les variétés régionales traditionnelles de tomates et de pommes par rapport aux cultivars modernes (Keleman et Hellin, 2009; Brugarolas et *al.*, 2009; Dinis et *al.*, 2011).

Lorsque les traits variétaux ont une valeur sur les marchés (comme les tomates traditionnelles d'Oaxaca dont les propriétés culinaires sont largement appréciées), il est possible de quantifier cette valeur et d'identifier les primes de prix en utilisant un modèle de prix hédoniste. L'analyse hédoniste implique une estimation relativement simple d'une régression linéaire reliant les prix relevés sur des échantillons de marché aux caractéristiques mesurées sur ces échantillons. Le signe et la signification des coefficients de régression fournissent une estimation de la valeur marginale de chaque caractéristique. La relation entre les caractéristiques observées pour lesquelles les consommateurs paient une prime (comme l'arôme, la couleur et la qualité de cuisson) et les attributs physiques d'une semence ou d'une plante cultivée peut nécessiter une collaboration avec des chimistes, des phytotechniciens et d'autres spécialistes. D'autres analyses économiques associées, telles que l'évaluation de l'efficacité du marché ou des coûts de traitement et de manutention, peuvent fournir une idée précieuse sur le fonctionnement des marchés dans la région ou sur le système agricole à l'étude.

Une approche associée, appelée analyse de la chaîne de valeur, peut être utilisée pour identifier les obstacles à l'obtention d'une plus grande valeur pour les variétés traditionnelles, pour cartographier les relations entre les acteurs du marché et les goulots d'étranglements dans les flux des ressources génétiques des cultures, et pour donner un aperçu sur la façon dont les prix se comportent

Encadré 9.1. Exemples de Modèles Économétriques Permettant de Prévoir des Mises en Relations

Les résultats suivants, tirés d'études menées au Mexique, en Éthiopie et en Turquie, illustrent l'utilisation d'analyses économétriques pour comprendre la valeur de la diversité phytogénétique:

- Les agriculteurs de l'est de l'Éthiopie, lorsqu'ils sont confrontés à de graves conditions de sécheresse, dépendent plus de variétés de pays de sorgho que des variétés améliorées à maturité précoce (Cavatassi *et al.*, 2011).
- Pour les agriculteurs du Tigré, en Éthiopie, la diversité variétale dans les champs de blé améliore la productivité et réduit la variabilité du rendement et l'exposition de leur culture de blé au risque de manière générale (Di Falco *et al.*, 2007).
- Dans une étude sur la culture du maïs au Chiapas, au Mexique, les résultats économétriques ont confirmé l'hypothèse selon laquelle le choix des variétés de maïs par les agriculteurs était déterminé par la taxonomie populaire du sol, avec des agriculteurs qui associent de manière prévisible les variétés de maïs aux conditions du sol (Bellon et Taylor, 1993).
- En Turquie, où les agriculteurs continuent de cultiver des variétés de pays de blé parallèlement aux variétés modernes, les preuves économétriques indiquent que les variétés de pays et les variétés modernes peuvent coexister à long terme, avec des avantages positifs particuliers aux agriculteurs ainsi que des avantages publics de la diversité spatiale (Meng 1997; Negassa *et al.*, 2012).

sur les marchés des semences et des produits (Giuliani, 2007; Kruijssen *et al.*, 2009; Anderson, *et al.*, 2010). Le terme «chaîne de valeur» désigne la manière dont un bien (tel qu'un produit agricole) ajoute de la valeur lorsqu'il passe du producteur (par exemple, un agriculteur) à un ou plusieurs intermédiaires (par exemple, des traders, des marchands, des transformateurs) pour atteindre le consommateur. En raison de la circulation des marchandises dans la chaîne de valeur, une série de coûts de transactions apparaissent, lesquels sont répartis en coûts d'information, de négociation, et de contrôle ou d'application (Pingali *et al.*, 2006). Une définition concise de la chaîne de valeur est fournie par Anderson *et al.*, (2010:39) de Kaplinsky et Morris (2001): «L'ensemble des activités nécessaires pour faire circuler un produit ou un service depuis sa conception en passant par les différentes phases de la production (comprenant une combinaison de transformation physique et l'apport de divers services du producteur), jusqu'à la livraison aux clients finaux et l'élimination finale après utilisation».

L'approche de la chaîne de marché est un outil analytique très utile pour identifier comment relier les différents acteurs du marché (producteurs, transformateurs, traders, consommateurs). Elle permet d'analyser les

implications de qui fait quoi et à quelle étape de la chaîne. L'analyse de la chaîne de marché englobe des questions telles que l'organisation, les relations de pouvoir entre les acteurs, les liens et les aspects de gouvernance.

Pour quantifier la manière dont les variétés de cultures traditionnelles ajoutent de la valeur marchande lorsqu'elles passent des producteurs aux consommateurs, une analyse de la chaîne de valeur commence par la construction d'une carte conceptuelle du marché des semences ou autre matériel végétal de plantation d'une culture donnée. Une carte complète du marché identifiera généralement trois éléments interconnectés (Anderson et *al.*, 2010; Albu et Griffith, 2005) qui sont :

1. Les principaux acteurs impliqués dans la chaîne de valeur.
2. L'infrastructure, les institutions, les politiques et les pratiques coutumières qui influencent l'environnement du marché au sens large (appelé aussi «environnement favorable»). Les institutions et les politiques qui façonnent l'environnement favorable opèrent souvent à une échelle (par exemple, les politiques agricoles nationales) qui échappe au contrôle immédiat des acteurs de la chaîne de valeur (Anderson et *al.*, 2010). Idéalement, une carte du marché révélera les dynamiques de pouvoir et les tendances de l'environnement favorable qui influencent l'ensemble de la chaîne de valeur, et qui pourraient offrir des opportunités pour le développement de nouvelles politiques ou institutions qui soutiennent la diversité génétique des cultures.
3. Les prestataires de services (par exemple, les entreprises, les services de vulgarisation) qui soutiennent les activités et les fonctions des chaînes de valeur. Les prestataires de services exercent une influence déterminante sur l'efficacité des chaînes de valeur et sont capables d'apporter une valeur ajoutée de différentes manières (Tableau 9.5).

Ces éléments sont ensuite liés à une mesure appropriée de la diversité comme la richesse ou l'équitabilité des variétés, ou à des propriétés spécifiques présentes chez les variétés traditionnelles disponibles.

La réalisation d'une analyse de la chaîne de valeur commence par la définition de l'échelle et de la portée de la carte du marché, la sélection des marchés à échantillonner, puis la collecte de données qualitatives et quantitatives par l'observation des transactions du marché et des enquêtes auprès des vendeurs. Une façon utile de réfléchir à l'échelle appropriée pour une analyse de la chaîne de valeur est de considérer un «hangar de marché», une région géographique

TABLEAU 9.5. MOYENS PERMETTANT AUX ENTREPRISES ET AUX SERVICES DE VULGARISATION D'AJOUTER DE LA VALEUR AUX SEMENCES ET AUX AUTRES BIENS LORSQU'ILS PASSENT DES PRODUCTEURS AUX CONSOMMATEURS.

Catégorie de service fourni	Exemples spécifiques
Informations sur le marché	Prix, tendances, acheteurs, fournisseurs
Services financiers	Crédit, épargne, assurance
Assurance de la qualité	Contrôle, accréditation
Assistance technique	Développement du produit, diversification et marketing
Transport	Biens, acteurs

Adapté d'Anderson et *al.* (2010).

dont les habitants ont des relations commerciales réelles ou potentielles avec un centre de marché définissable (Anderson et *al.*, 2010:44).

Grâce à une meilleure compréhension de la contribution apportée au produit par chaque acteur du marché dans la chaîne, l'analyse de la chaîne de valeur tente d'identifier les inefficacités, les inégalités et les pertes qui pourraient être corrigées à différents niveaux de la chaîne. L'analyse de «l'environnement favorable» met en évidence les tendances qui affectent l'ensemble de la chaîne du marché et examine les pouvoirs et les intérêts qui sont les moteurs du changement. Ces connaissances peuvent aider à déterminer les voies et les opportunités pour une action réaliste, le lobbying et l'entrepreneuriat politique (Albu et Griffith, 2005).

Une fois que les paramètres initiaux de l'analyse ont été définis, les réunions de parties prenantes se révèlent un moyen utile pour recueillir des informations cruciales sur les chaînes de valeur, avec pour objectif d'impliquer un ensemble aussi complet que possible d'acteurs (impliqués directement et indirectement dans ce marché): producteurs, traders, détaillants, exportateurs, experts en culture, ONG, représentants de ministères et autres (Giuliani, 2007). Ces réunions peuvent aider à créer un climat de confiance entre les différents acteurs de la chaîne de valeur (tels que les agriculteurs, les fabricants de produits alimentaires, les détaillants, les organisations communautaires et les agences gouvernementales) dans les domaines de la qualité et des prix, et éventuellement à créer des partenariats avec des entreprises du secteur privé, ce qui est important pour la réduction des coûts des transaction (Almekinders et *al.*, 2010; Lipper et *al.*, 2010).

Mesure des Valeurs non Marchandes de la Diversité

Le marché ne saisit pas toute la valeur de la diversité variétale des cultures et de ses services en raison de l'absence d'internalisation des coûts externes. Les valeurs sociales, culturelles, et les valeurs d'assurance et d'option de la diversité variétale des cultures sont sous-estimées si elles sont laissées au marché. Les foyers ruraux ne peuvent souvent pas obtenir les attributs des variétés des cultures qui leur importent le plus par le biais des échanges sur le marché. Dans ces situations, les agriculteurs sont au moins partiellement consommateurs des cultures qu'ils produisent, et sont qualifiés de producteurs de subsistance. La production de subsistance représente un défi pour une estimation précise de la valeur des variétés que les agriculteurs cultivent.

L'une des approches les plus simples pour estimer les valeurs non marchandes consiste à utiliser des méthodes de classement ou de notation qui permettent (1) de recueillir auprès des agriculteurs les caractéristiques d'une culture qui leur importent le plus, notamment les caractéristiques de production et de consommation, et (2) de demander aux agriculteurs d'évaluer dans quelle mesure chaque variété intéressante répond aux caractéristiques souhaitées. Les «coûts» de production et de consommation ainsi identifiés, peuvent être quantifiés en termes de nombre d'heures de travail par personne, comprenant la gestion de la culture au champ et le traitement post-récolte avant la consommation.

Les méthodes ci-dessus sont simples à mettre en œuvre car les agriculteurs connaissent bien leurs variétés et n'ont généralement aucun problème à les classer et à les noter en fonction de leurs caractéristiques. Toutefois, les méthodes de classement et de notation présentent certaines limites. Premièrement, il est important de pouvoir relier les caractéristiques abstraites des variétés identifiées par les agriculteurs aux caractéristiques physiologiques d'une culture telles que reconnues par les scientifiques. Deuxièmement, le classement et la notation donnent généralement lieu à une longue liste de caractéristiques variétales qui peuvent être difficiles à analyser et à utiliser à des fins statistiques. Dans l'ensemble, même si le but de l'étude est d'identifier comment les foyers de subsistance perçoivent les avantages et les inconvénients des différentes variétés qu'ils cultivent, les méthodes ci-dessus sont généralement suffisantes. Dans cette situation, il est toujours important d'interroger à la fois les hommes et les femmes, les personnes âgées et les jeunes et, dans la mesure du possible, des groupes de revenus différents, car ils ont souvent des perceptions différentes de la valeur relative des différentes variétés. Une autre variable à prendre en

compte est de savoir si les coûts de production tels que les épandages d'engrais ou les densités de semis varient considérablement entre les différentes variétés. Si c'est le cas, ces différences doivent être notées.

Les économistes utilisent un certain nombre d'outils d'analyse pour estimer les changements dans les valeurs non marchandes des biens et des services résultant de décisions ou d'actions humaines. Certaines de ces approches exigent une collecte intensive de données suivant des protocoles stricts, et peuvent être coûteuses. Il est également possible d'appliquer des combinaisons d'approches pour tester la validité. En général, les outils basés sur le comportement observé (techniques de préférences révélées, telles que les analyses de choix de variétés basées sur des données d'enquête [par exemple, Pham *et al.*, (1999)], et l'analyse hédoniste décrite ci-dessus) sont préférés à ceux basés sur un comportement hypothétique (approches de préférences déclarées).

Les outils de préférences déclarées sont utilisés pour évaluer les valeurs de non-usage. Il existe deux approches populaires qui sont l'évaluation contingente et la méthode d'expérience de choix. L'approche d'évaluation contingente consiste à demander aux répondants s'ils sont prêts à payer pour un bien ou un service qui n'a pas de prix de marché. L'évaluation contingente a été largement appliquée dans l'économie de l'environnement et des ressources naturelles (par exemple, pour estimer la valeur que les gens accordent à la nature sauvage ou pour déterminer la valeur des services écosystémiques [Hanemann, 1994]). Parmi les problèmes courants liés à l'évaluation contingente figurent la connaissance limitée des répondants sur le bien ou le service, et le biais potentiel associé aux mesures.

La méthode d'expérience de choix minimise certains de ces biais, elle est particulièrement bien adaptée à l'analyse des traits des variétés de cultures parce qu'elle est basée sur les attributs. Le répondant dispose d'un menu prédéfini d'options parmi lesquelles il peut choisir (exemple, voir le tableau 9.2). La mise en œuvre est relativement simple, bien que la connaissance des répondants puisse également poser des problèmes. L'analyse nécessite des méthodes statistiques avancées, qui peuvent être complexes.

La méthode d'expérience de choix peut également être utilisée pour estimer la valeur de non-usage des variétés traditionnelles. Dans une étude sur les jardins familiaux en Hongrie (Encadré 9.2), des expériences de choix menées auprès d'agriculteurs de trois régions différentes ont montré que les personnes interrogées vivant dans des endroits isolés et économiquement marginalisés étaient celles qui valorisaient plus l'agrobiodiversité dans leurs jardins

Encadré 9.2. Méthode d'Expérience de Choix: Un Exemple en Hongrie

Ensemble de choix d'échantillon posé à un répondant dans une enquête auprès de foyers hongrois qui entretiennent des jardins familiaux. Cet ensemble de choix a été élaboré comme une combinaison de caractéristiques (ou d'attributs) des jardins familiaux sélectionnés de manière aléatoire et identifiés sur la base des recherches précédentes. Dans cette étude, les principaux attributs étaient les suivants: nombre total de variétés cultivées, présence ou absence de variétés du pays, présence ou absence de bétail, utilisation de méthodes biologiques et autosuffisance du foyer agricole. Chaque répondant s'est vu présenter un ensemble de choix comme celui présenté ci-dessous, et a été interrogé sur la question:

En supposant que les jardins familiaux suivants étaient les seuls choix qui s'offraient à vous, lequel préféreriez-vous cultiver?

<i>Caractéristiques du jardin familial</i>	<i>Jardin familial Profil A</i>	<i>Jardin familial Profil B</i>	
Nombre total de variétés cultivées dans le jardin familial	25	20	
Le jardin familial possède une variété de pays	Non	Oui	Ni le jardin familial A ni le jardin familial B. Je ne cultiverais pas un jardin familial.
La production du jardin familial est intégrée à la production animale	Oui	Oui	
Jardin familial produisant entièrement selon des méthodes biologiques	Non	Non	
Proportion attendue (en %) de la consommation alimentaire annuelle du foyer satisfaite par la production alimentaire dans le jardin familial	45	75	

Le répondant devait alors cocher une option pour «Je préfère cultiver»: (1) Jardin familial A, (2) Jardin familial B, (3) Ni l'un ni l'autre».

Chaque agriculteur participant à l'expérimentation du choix s'est vu présenter cinq ou six ensembles de choix différents, chaque ensemble contenant une permutation différente des caractéristiques décrites pour les deux jardins familiaux hypothétiques (A et B). Dans le cadre de l'étude, 1.487 choix au total ont été enregistrés parmi les 277 agriculteurs participants dans trois régions différentes en Hongrie, ce qui constitue le principal ensemble de données ayant fait l'objet d'une analyse statistique.

(Source: Birol et al., 2006).

familiaux, notamment les variétés traditionnelles et la richesse des variétés de cultures (Birol *et al.*, 2006). Une étude similaire réalisée au Mexique a utilisé la méthode d'expérience de choix pour estimer l'évaluation par les agriculteurs de la richesse des espèces cultivées et des variétés de maïs dans le système milpa, et pour explorer l'intérêt des agriculteurs pour la culture du maïs génétiquement modifié (GM) (Birol *et al.*, 2009).

Dans le cadre théorique du foyer agricole, le prix fictif fait référence à la valeur non observée d'un bien ou d'un service pour les décideurs du foyer. Le prix fictif, qui est une valeur distincte du prix du marché, varie d'un foyer à l'autre, et est déterminé par les caractéristiques des foyers, telles que leur origine ethnique, leur langue, leur richesse et leur cycle de vie ainsi que leur accès aux marchés où les biens et les services peuvent être obtenus. Le prix fictif est censé s'écarter plus du prix du marché quand le foyer est éloigné des marchés et orienté vers la subsistance.

Une étude récente a développé une méthode d'estimation du prix fictif des variétés traditionnelles de maïs au Mexique à l'aide d'une régression multivariée, basée sur des données d'enquête représentatives au niveau national (Arslan et Taylor, 2009). Les chercheurs ont constaté que les prix fictifs sont beaucoup plus élevés que les prix du marché pour les variétés traditionnelles de maïs, mais proches des prix du marché pour les variétés améliorées de maïs, en particulier dans les zones indigènes du sud et du sud-est du Mexique. Ce résultat confirme qu'il existe des incitations économiques pour certains agriculteurs à poursuivre la culture de variétés traditionnelles.

Bennett et Birol (2010) est une source qui présente une introduction à l'approche d'expérience de choix avec des exemples d'applications dans des contextes de pays en développement.

Utilisation de l'Information sur la Façon dont les Agriculteurs Valorisent la Diversité dans les Décisions de Gestion et Recommandations

Les gouvernements et d'autres institutions conçoivent et mettent généralement en œuvre des subventions à la production, des allégements fiscaux, des contrôles des prix et d'autres politiques agricoles qui influencent —directement ou indirectement— les décisions des agriculteurs sur la diversité. De nombreuses politiques ont biaisé les décisions prises au niveau de la ferme en matière de choix des variétés et de maintien de la diversité, et ont finalement

joué contre la conservation de la biodiversité agricole (Pascual et Perrings, 2007). Comprendre comment les agriculteurs valorisent la diversité est une première étape dans la conception des politiques agricoles qui fournissent des incitations au maintien de la diversité à la ferme. Les valeurs marchandes et non marchandes de la diversité constituent des points de départ importants pour l'élaboration de politiques visant à soutenir la diversité à la ferme, c'est l'objet du chapitre 10.

Lectures complémentaires

- Bennett, J. W., and E. Birol, Eds. 2010. *Choice Experiments in Developing Countries: Implementation, Challenges and Policy Implications*. Edward-Elgar Publishing, Cheltenham, UK.
- Kontoleon, A., A. Pascual, and M. Smale, Eds. 2009. *Agrobiodiversity, Conservation and Economic Development*. Routledge, London and New York.
- Lipper, L., C. L. Anderson, and T. J. Dalton. 2010. *Seed Trade in Rural Markets: Implications for Crop Diversity and Agricultural Development*. Earthscan, London.
- Nicholson, W., and C. Snyder. 2011. *Microeconomic Theory: Basic Principles and Extensions*, 10th ed. Thomson/South-Western.
- Smale, M., Ed. 2006. *Valuing Crop Biodiversity: On-Farm Genetic Resources and Economic Change*. CABI Publishing, Wallingford, UK.
- Wooldridge, J. 2009. *Introductory Econometrics*, 4th ed. South-Western, Cengage Learning.



Planche 10. La valeur totale de la diversité variétale des cultures et de ses services peut ne pas être saisie par les marchés en raison d'une incapacité à internaliser les coûts externes. De nombreux agriculteurs sont situés à de longues distances des marchés urbains et régionaux et n'ont pas accès à des moyens de transport efficaces ou fiables. En haut à gauche: un agriculteur au Pérou, le long de la rivière Ucayali, un affluent de l'Amazone, apportant son maïs pour le vendre dans d'autres villages; le voyage en canoë jusqu'à la ville la plus proche, Pucallpa, peut prendre jusqu'à trois jours. En bas à gauche: une femme apportant sa récolte d'orge au marché de Jumla, au Népal. En haut à droite: sélection de variétés locales de pommes dans un marché de fruits en Ouzbékistan. Les jardins familiaux constituent une pratique d'utilisation de la terre autour d'une propriété familiale où de nombreuses variétés d'espèces de plantes annuelles et pérennes sont plantées et entretenues par les membres du foyer, et peuvent fournir un revenu au foyer. En bas à droite: un jardin familial géré par une femme à Yaxcabá au Yucatán au Mexique; elle cultive des variétés de maïs qui peuvent ne pas se trouver dans les champs principaux et les intercale avec plusieurs variétés de piments et de plantes vivaces. Crédits photos: L. Collado (en haut à gauche), A. H. D. Brown (en haut à droite), D. Jarvis (en bas à gauche), J. Tuxill (en bas à droite).

CHAPITRE 10

Politique et Diversité Génétique à la Ferme

À la fin de ce chapitre, le lecteur devrait avoir une bonne compréhension de:

- Comment les politiques et les cadres juridiques influencent les capacités des agriculteurs à accéder à la diversité génétique des cultures, à l'utiliser, à l'échanger et à la maintenir à la ferme.
- Possibles mécanismes politiques pour inciter les agriculteurs à conserver et à utiliser la diversité à la ferme, conformément au concept des droits des agriculteurs reconnu au niveau international.

Introduction

Ce chapitre explique comment les politiques et les cadres juridiques découragent ou empêchent les agriculteurs de maintenir et de gérer la diversité végétale. Il présente également un aperçu des concepts et des méthodes d'analyse et d'élaboration des mesures politiques visant à inciter les agriculteurs à continuer d'utiliser les ressources phytogénétiques à la ferme, conformément au concept de droits des agriculteurs tel que reconnu par le Traité International sur les Ressources Phytogénétiques pour l'Alimentation et l'Agriculture.

La plupart des exemples cités dans ce chapitre se réfèrent aux politiques et aux lois des gouvernements nationaux, étant donné que les mesures publiques prises au niveau national sont censées avoir la plus grande influence sur un ensemble d'acteurs différents impliqués dans la gestion de la diversité des cultures. Toutefois, le terme «politique» peut et doit être compris dans un sens plus large, comprenant les politiques et les règles internes adoptées par les organisations publiques et privées impliquées dans la recherche et le développement agricoles (par exemple, les centres internationaux de recherche agricole, les institutions nationales de recherche, les donateurs internationaux qui soutiennent des projets de développement et l'industrie privée).

Politiques et Cadres Juridiques ayant un Impact Négatif sur la Capacité des Agriculteurs à Utiliser la Diversité à la Ferme

La modernisation de l'agriculture est généralement l'une des principales composantes des stratégies de développement adoptées par les gouvernements. Elle repose souvent sur la mécanisation des processus de production, l'irrigation des terres cultivables et l'adoption de «paquets technologiques», qui comprennent des variétés végétales modernes et les produits agrochimiques (pesticides, engrais, herbicides) nécessaires pour assurer une productivité accrue. La création et la diffusion de ces paquets technologiques sont souvent basées sur un modèle assez simple et linéaire selon lequel les scientifiques des instituts de recherche et des entreprises agrochimiques développent la technologie et la présentent aux agriculteurs, qui sont considérés comme des utilisateurs passifs des technologies (Biggs, 1990).

Bien que des exemples d'approches beaucoup plus collaboratives en matière de génération et de diffusion de la technologie se multiplient dans le monde entier, les politiques gouvernementales prédominantes s'inspirent encore du modèle linéaire classique et simple de transfert de la technologie. En conséquence, ces politiques sont conçues pour (1) garantir que les technologies serviront l'objectif final de modernisation de l'agriculture pour une productivité accrue, et (2) soutenir les acteurs sur ce qu'ils sont censés faire selon une compréhension aussi simple de la génération que du transfert de la technologie.

Cette section décrit comment les politiques publiques servent ces deux objectifs et présente les conséquences sur la disponibilité et l'utilisation de la diversité génétique à la ferme. Des exemples de différentes régions du monde sont présentés ici et illustrent la manière dont différentes initiatives peuvent être adoptées afin de minimiser ou éviter les conséquences négatives des politiques.

Instruments Politiques Garantissant que les Technologies Répondent au But de la Modernisation de l'Agriculture: Lois sur les Semences

Nous utilisons le terme «lois sur les semences» pour désigner l'ensemble des lois et des règlements édictés par l'État afin de garantir que les variétés de plantes cultivées mises à la disposition des agriculteurs ont une valeur agronomique en termes d'augmentation de la productivité, et sont uniformes et stables sur le long terme. Le terme «système semencier formel» est souvent utilisé pour désigner les lois sur les semences et les acteurs qui répondent à leurs exigences en matière de développement de nouvelles variétés et de production

et de diffusion de leurs semences, c'est-à-dire les institutions de recherche formelles et les organisations de production de semences.

Les lois sur les semences ont été mises en place, pour la première fois, suite au développement de produits spécialisés pour la sélection végétale en Europe au milieu du XIX^{ème} siècle, afin de créer une transparence dans un marché de semences où les noms de la variété ont rapidement proliféré (Bishaw et Van Gastel, 2009). Selon les réglementations actuelles, les variétés doivent être inscrites avant que leurs semences ne soient disponibles sur le marché. L'inscription exige que la nouvelle variété soit distincte de toutes les variétés connues, uniforme dans ses caractéristiques essentielles et très stable après multiplication répétée (Distinction, Homogénéité et Stabilité (DHS ou DUS selon l'acronyme anglais). Ces critères garantissent que lorsqu'un agriculteur achète des semences d'une variété inscrite, elles seront effectivement de cette variété et que toutes les plantes auront les mêmes performances au fil du temps. De plus, l'examen de la Valeur Culturelle et d'Utilisation (VCU) a été introduit comme condition pour la commercialisation, afin que les agriculteurs puissent disposer d'une évaluation indépendante du rendement, de la qualité et de la valeur du grain. Comme les pays en développement ont mis en place des systèmes de commercialisation des semences largement inspirés de ceux de l'Europe, ils ont adopté des systèmes de certification des semences et d'inscription des variétés qui sont similaires au modèle européen (Grain, 2005).

Les variétés traditionnelles sélectionnées par les agriculteurs et les variétés améliorées issues de la sélection végétale participative ne répondent souvent pas aux critères rigides d'uniformité et de stabilité exigés par les lois sur les semences. De plus, les agriculteurs ne peuvent généralement pas supporter les coûts liés à l'inscription des variétés végétales. Dans certains pays, ils ne peuvent même pas déposer de demande pour l'inscription, car ils ne sont pas considérés comme des scientifiques. La conséquence de tout ceci est que leurs variétés sont laissées en dehors du marché légal des semences (Leskien et Flitner, 1997; Louwaars, 2002). Par conséquent, la plupart des types de semences disponibles sur le marché légal ou formel sont ceux des variétés modernes, qui ne répondent pas toujours aux besoins des agriculteurs traditionnels, notamment dans l'agriculture à faible niveau d'intrants et dans des conditions environnementales extrêmes. Dans l'agriculture industrielle, les produits agrochimiques assurent la fertilisation, contrôlent les ravageurs et les maladies, et inhibent les mauvaises herbes; l'approvisionnement en eau est garanti par des systèmes d'irrigation mécanisés ou par des précipitations relativement prévisibles et suffisantes.

Dans ce scénario, les stratégies d'amélioration des cultures peuvent ne pas se concentrer sur les traits qui permettent à la plante d'obtenir et de mieux utiliser des ressources telles que l'eau et les nutriments du sol sans avoir recours aux intrants agricoles. Généralement, ces traits sont très pertinents dans les systèmes agricoles traditionnels qui utilisent peu d'intrants externes et où les variétés de cultures doivent faire face à des conditions climatiques extrêmes et variables. En outre, les variétés modernes certifiées sont uniformes et stables par définition. L'uniformité de toutes les plantes d'une même variété n'est pas toujours appréciée dans les systèmes agricoles traditionnels. Au contraire, comme expliqué au chapitre 7, la variabilité peut assurer la stabilité du rendement dans des conditions défavorables. De même, la capacité des variétés végétales à reproduire les mêmes caractéristiques au fil des années (stabilité) n'est pas nécessairement bénéfique pour les agriculteurs traditionnels, car la capacité des cultivars à changer et à s'adapter aux conditions changeantes (voir le chapitre 11) les rend plus adaptables aux changements environnementaux.

Dans les pays en développement, les lois sur les semences sont rarement appliquées au niveau local, et les variétés traditionnelles et modernes sont échangées librement entre les agriculteurs et vendues sur les marchés locaux (Louwaars et Burgaud, sous presse). Cependant, le remplacement des variétés traditionnelles par des variétés modernes distinctes, homogènes et stables acquises auprès de sources formelles est soutenu par l'action des services de vulgarisation, qui lient l'utilisation de ces variétés à des facilités de crédit et à des subventions, et par l'industrie agroalimentaire, qui impose l'utilisation de variétés uniformes à ses fournisseurs (Tripp, 1997).

Les systèmes semenciers formels existants ne peuvent pas répondre à la totalité de la demande de semences. Les organismes publics de semences n'ont pas la capacité de fournir des semences de bonne qualité en temps opportun. Les entreprises semencières privées, surtout si elles sont moyennes ou grandes, n'atteignent pas la totalité des régions des pays où il ne semble pas y avoir de marché pour les semences améliorées. En outre, le secteur privé estime qu'il est avantageux d'investir dans la multiplication et la dissémination des hybrides (qui doivent être achetés chaque année par les utilisateurs afin de maintenir leurs caractéristiques uniques) et dans les espèces dont la demande est relativement importante et bien structurée. Ceci conduit à négliger les cultures principalement pratiquées par des agriculteurs marginaux ayant peu d'accès à du cash ou les espèces qui ne sont pas soutenues par des programmes nationaux de subventions. C'est le cas des légumineuses, qui nécessitent de grandes quantités de semences

par hectare et sont plus difficiles à stocker, ainsi que de nombreuses autres espèces locales «mineures». Pour ces cultures, et pour les petits agriculteurs des régions éloignées, la propre récolte des agriculteurs, les autres agriculteurs et les marchés locaux constituent les principales sources de semences.

La principale limite de ces sources informelles est que la qualité des semences non certifiées n'est pas garantie, y compris la pureté variétale. Ce problème est accentué lorsque la migration et d'autres facteurs conduisent à la désintégration des réseaux sociaux qui soutiennent l'échange informel de semences et les mécanismes informels de contrôle de la qualité qui accompagnent les réseaux d'échanges informels (voir chapitre 11). En outre, l'illégalité de la vente de semences non certifiées décourage le développement et la reconnaissance formelle de modèles alternatifs d'approvisionnement en semences (Lipper *et al.*, 2010). En tant que producteurs de semences, les agriculteurs ne peuvent pas bénéficier de la reconnaissance officielle de leurs variétés et, en tant que consommateurs de semences, ils ne peuvent pas obtenir de semences certifiées de qualité des variétés qu'ils préfèrent.

Comme ces limites ont été reconnues dans un certain nombre de pays, différents modèles ont été proposés et testés pour réglementer la commercialisation des variétés traditionnelles et modernes de manière à mieux s'adapter aux besoins des agriculteurs traditionnels. Certains de ces modèles sont présentés au chapitre 12, en tant que composante des instruments visant à améliorer la disponibilité d'un portefeuille de matériel végétal de plantation génétiquement diversifié suffisant pour que les agriculteurs puissent l'utiliser dans leurs systèmes de production.

Un exemple peut être trouvé au Vietnam: la Décision 35/2008, approuvée par le Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural du Vietnam, vise à soutenir les efforts des agriculteurs pour produire des semences de bonne qualité et pas chères. Elle décrit le processus permettant aux agriculteurs d'obtenir un soutien financier (jusqu'à 100 %) pour la collecte, la conservation, la sélection, l'évaluation, l'inscription et la production de semences de variétés locales. Elle définit aussi les conditions de qualité et les processus de contrôle de la qualité pour que les semences de ces variétés locales soient distribuées comme celles des variétés inscrites dans le catalogue officiel des variétés végétales commercialisées au Vietnam. En 2010, deux variétés paysannes de riz ont été inscrites au catalogue officiel et les agriculteurs ont reçu une aide financière pour produire et commercialiser les semences de ces variétés avec la qualité requise. La valeur de cette décision réside également dans le processus qui

a conduit à son adoption en 2011: cette mesure juridique est le résultat d'un processus hautement participatif dans un pays où les décisions politiques sont généralement prises de manière très centralisée.

Instruments Politiques Soutenant l'Amélioration des Cultures pour le Développement de Variétés Modernes: Droits de Propriété Intellectuelle

Les lois sur la propriété intellectuelle accordent aux obtenteurs le droit exclusif d'exploiter, pendant un certain nombre d'années, les variétés végétales qu'ils développent. Sans un certain type de contrôle sur l'utilisation des variétés des sélectionneurs, tout producteur de semences pourrait les commercialiser, et les agriculteurs pourraient les reproduire librement sans avoir à acheter des semences pour les campagnes suivantes, empêchant ainsi les sélectionneurs de profiter de leurs créations. Le premier système sui generis permettant d'appliquer la protection de la propriété intellectuelle aux variétés végétales a été adopté aux États-Unis en 1930, par le biais de la loi sur les brevets sur les végétaux (Plant Patents Act). En Europe, la France a été la première à mettre en place une protection des cultivars et un certain nombre d'États l'ont adoptée par le biais de la Convention internationale pour la protection des obtentions végétales, élaborée en 1961 par l'Union internationale pour la Protection des Obtentions Végétales (UPOV). Ce cadre juridique vise à protéger les nouvelles variétés végétales qui ont été produites selon des méthodes et des techniques considérées comme «scientifiques» et qui aboutissent généralement à des cultivars homogènes et stables, adaptés au modèle agricole industriel.

Partant du principe qu'une protection standardisée de la propriété intellectuelle à l'échelle mondiale faciliterait la circulation des biens et des services dans le cadre du commerce international, l'accord sur les aspects des droits de propriété intellectuelle qui touchent au Commerce (ADPIC ou TRIPS selon l'acronyme anglais), adopté en 1992, a imposé un niveau minimum de protection des droits de propriété intellectuelle à tous les pays membres de l'Organisation Mondiale du Commerce. En ce qui concerne les plantes et les variétés végétales, l'accord sur les aspects des droits de propriété intellectuelle a stipulé que les pays (1) peuvent autoriser la brevetabilité des plantes et (2) doivent autoriser la protection des nouvelles variétés de plantes. La mise en œuvre de ces dispositions par les pays en développement a été favorisée par des accords bilatéraux avec les États-Unis, les pays européens et le Japon, puisque ces accords prévoient régulièrement l'adoption de mesures efficaces pour la protection de la propriété intellectuelle.

Comme les cadres juridiques internationaux ont étendu la portée géographique et le sujet de la protection des droits de propriété intellectuelle, ceux-ci sont devenus un élément récurrent dans les discussions sur le rôle des agriculteurs en tant que conservateurs et initiateurs de la diversité des cultures. Les points suivants constituent les principaux éléments de ces discussions (The Crucible Group, 1994):

1. Les droits de propriété intellectuelle imposent des limites quant à l'utilisation, la sauvegarde, la reproduction ou l'échange de germoplasme végétal. Historiquement, les régimes de protection des variétés végétales s'inspirant de l'UPOV ont permis aux agriculteurs de conserver des semences de variétés protégées pour les réutiliser dans leurs exploitations. Une révision de la Convention UPOV en 1991 a rendu cette exemption facultative pour les membres de l'Union internationale pour la Protection des Obtentions Végétales. Certains États ont choisi d'accorder aux agriculteurs un droit inconditionnel de réutiliser les semences de leur précédente récolte, tandis que d'autres ont limité ce droit à certaines cultures ou aux petits agriculteurs.

Plusieurs décisions prises par les offices des brevets des États-Unis et d'Europe ont ouvert la voie à la brevetabilité des formes de vie. Selon la législation européenne, les variétés végétales ne peuvent pas faire l'objet d'une protection par brevet. Toutefois, dans la pratique, la protection par brevet s'applique aux processus de sélection et à la plante qui en résulte, ainsi qu'à ses parties et ses semences (Office Européen des Brevets, 2009). Dans ce scénario, l'exclusion légale des variétés végétales de la brevetabilité est superflue. Aux États-Unis et dans d'autres pays, la brevetabilité des variétés végétales est explicitement autorisée par la loi. Les régimes de brevets ne prévoient aucune exemption en faveur des agriculteurs similaire à celle de l'Union internationale pour la Protection des Obtentions Végétales.

Dans le domaine de la science et de la technologie agricoles, le nombre de demandes de brevets et de droits d'obtenteur visant à contrôler l'exploitation des plantes, des variétés végétales et de leurs semences, en particulier dans les pays développés et les économies émergentes, est en nette augmentation. Ceci a suscité des préoccupations croissantes quant à l'impact possible de la protection de la propriété intellectuelle sur (1) les obtenteurs et autres chercheurs en plantes qui doivent avoir accès à du germoplasme avancé pour le développement de variétés, et (2) les

agriculteurs qui peuvent avoir besoin de variétés modernes/protégées pour combattre les stress biotiques et abiotiques. Toutefois, cet impact n'a pas encore été démontré par des preuves empiriques. En outre, bien que le cadre de la protection et son extension géographique s'étendent, la prépondérance de la protection concerne surtout les pays à revenu élevé et moyennement élevé, laissant ainsi les pays pauvres libres d'exploiter ces technologies. De plus, une part importante des variétés protégées sont des plantes ornementales, et non des cultures vivrières, et la plupart des variétés végétales bénéficient d'une protection qui permet aux titulaires de droits de limiter ou d'exclure d'autres personnes de la commercialisation, mais pas de procéder à une sélection avec le matériel protégé ou de conserver leur semence pour une culture future, ce qui laisse aux chercheurs et aux agriculteurs des pays développés et en développement le choix de les utiliser dans leurs activités (Koo et *al.*, 2004).

2. Les régimes de propriété intellectuelle ne sont pas en mesure de protéger les innovations des agriculteurs et de leurs communautés. Les régimes de propriété intellectuelle considèrent de facto les obtenteurs professionnels comme les seuls capables d'apporter des innovations à l'agriculture. Tout comme les lois sur les semences, la protection des variétés végétales exige que les nouvelles variétés soient distinctes, uniformes et stables. Les variétés traditionnelles et paysannes répondent rarement à ces critères et ne peuvent donc pas être protégées. Certaines lois nationales ont mis en place des systèmes sui generis de droits de propriété intellectuelle pour protéger les variétés de pays et les nouvelles variétés développées par les agriculteurs. La loi thaïlandaise de 1999 sur la protection des obtentions végétales, la loi indienne de 2001 sur la protection des obtentions végétales et les droits des agriculteurs et la loi malaisienne de 2004 sur la protection des nouvelles obtentions végétales sont des exemples de ces systèmes. Toutefois, le succès de ces lois en matière de conservation de la diversité des cultures et de protection des droits des agriculteurs est discutable. Il existe également une forte opposition à la croyance selon laquelle l'octroi de droits privés aux variétés paysannes serait bénéfique aux agriculteurs et aux communautés paysannes (Eyzaguirre et Dennis, 2007). Jaffé et Van Wijk (1995:76) affirment que l'introduction de la protection des obtentions végétales entraîne un changement de principe: «Lorsque les agriculteurs commencent à utiliser des variétés protégées, leur droit naturel à la conservation des semences devient un droit légal,

ou encore moins un «privilège» Un tel droit légal est soumis à la prise de décision politique et peut être sujet à des restrictions à l'avenir».

3. Les régimes actuels de propriété intellectuelle ne fournissent pas d'outils pour reconnaître et/ou indemniser les agriculteurs dont les variétés traditionnelles et/ou les connaissances ancestrales deviennent la source de variétés modernes développées par d'autres.
4. Les défaillances du système de propriété intellectuelle ont conduit à l'octroi de brevets et à la protection des obtentions végétales sur des variétés végétales qui sont effectivement dans le domaine public et qui ont été traditionnellement cultivées par les agriculteurs. Un cas récent et célèbre est celui du haricot Enola. En 1999, le Bureau américain des brevets et des marques de commerce (USPTO) et l'Office américain de protection des obtentions végétales (USPVPO) ont respectivement délivré à Larry M. Proctor un brevet et un certificat de protection des obtentions végétales, pour un haricot de plein champ appelé Enola. Dans la demande de brevet, Proctor a expliqué qu'il avait acheté des haricots sur un marché mexicain et qu'après quelques années de culture, il avait développé «une nouvelle variété de haricot de plein champ qui produit des graines de couleur jaune distincte, qui restent relativement inchangées d'une saison à l'autre». Plusieurs organisations ont dénoncé le brevet d'Enola, dont le Centre International d'Agriculture Tropicale (CIAT), l'Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture (FAO) et l'organisation non gouvernementale ETC Group, aux Pays-Bas. Le Centre International d'Agriculture Tropicale a pu contester les revendications de Proctor en fournissant la preuve de 260 haricots jaunes parmi les échantillons de haricots conservés dans sa banque de gènes, et il a également présenté plusieurs articles scientifiques sur les haricots jaunes qui ont montré l'existence d'une littérature antérieure. Au cours de la révision du brevet, plusieurs études ont montré que l'identité d'Enola était quasiment identique à celle des cultivars préexistants de type péruvien mexicains, couramment cultivés par les agriculteurs d'Amérique latine, ainsi que l'identité du génotype des graines jaunes avec celle des cultivars de haricots jaunes existants documentés dans la littérature scientifique avant la demande du brevet (Pallottini et *al.*, 2004). Azufrado Peruano 87, qui a été lancé pour la première fois par le ministère mexicain de l'Agriculture en 1987, s'est avéré avoir une empreinte génétique identique à celle de la semence Enola revendiquée.

Le Bureau américain des brevets et des marques de commerce a pris une décision préliminaire en 2003, rejetant toutes les revendications de brevet et a prononcé un rejet définitif en décembre 2005. Proctor a déposé un recours auprès du Bureau américain des brevets et des marques de commerce, et le brevet est resté en vigueur pendant l'examen de l'appel par la Commission des recours et des interférences en matière de brevets. La commission a finalement rejeté toutes les revendications de brevet en avril 2008, neuf ans après que Proctor ait commencé à exploiter le brevet en réclamant 0,6 dollar américain pour chaque livre de haricots jaunes vendue aux États-Unis. Cette décision a été confirmée par la Cour d'appel américaine pour le circuit fédéral en juillet 2009.

Instruments Politiques Aidant les Agriculteurs à Adopter des Variétés Modernes de Cultures Valorisées sur les Marchés Nationaux et Internationaux: Subventions

Les subventions représentent une forme d'incitation fournie par le gouvernement ou d'autres institutions. Elles sont destinées à encourager les individus à s'engager dans des activités qu'ils ne pourraient pas entreprendre autrement. Les subventions constituent un instrument couramment utilisé pour promouvoir l'adoption et la diffusion de nouvelles technologies agricoles en réduisant les risques initiaux et le coût de l'apprentissage de l'utilisation d'une nouvelle technologie. En palliant les défaillances temporaires du marché, en compensant les coûts fixes de l'infrastructure et en réduisant les risques, les subventions favorisent l'utilisation d'intrants (semences de variétés améliorées, engrais, pesticides, crédits) pour accroître la production agricole, ce qui peut éventuellement contribuer à la réduction de la pauvreté (Banque mondiale, 2008). De nombreux exemples du succès des subventions dans la diffusion de cultures et de variétés particulières peuvent être trouvés dans la littérature; par exemple, sans le soutien public sous forme d'incitations, d'informations et d'infrastructures, la Révolution Verte en Asie n'aurait pas été un succès. La diffusion de variétés de blé et de riz à haut rendement, en particulier en Inde et en Chine, a été possible grâce à un soutien politique important et à des investissements dans la recherche et le développement agricoles. De même, les incitations économiques, notamment les prix subventionnés des semences et des denrées alimentaires à base de maïs, ont joué un rôle clé dans l'adoption et la diffusion du maïs en Afrique. Plus récemment, le programme subventionné de minikit, mis en œuvre par les gouvernements locaux du Bengale occidental, en Inde, a contribué à la diffusion de germoplasme amélioré du riz et d'autres cultures.

Il est de plus en plus reconnu que les subventions sont susceptibles d'entraver la demande et l'utilisation de la diversité des cultures dans la production agricole. Les subventions sont généralement accordées aux variétés améliorées des principales céréales (riz, blé, maïs) par le biais des systèmes de distribution publique, ce qui dissuade les agriculteurs de cultiver d'autres cultures—notamment celles dont ils dépendent pour leur subsistance, comme les petites céréales, les légumineuses et les tubercules—et d'utiliser des variétés traditionnelles de ces cultures ou bien des variétés non inscrites développées par des approches de sélection alternatives telles que l'amélioration participative des plantes et la sélection variétale participative (discutées au chapitre 12).

Certaines études montrent comment, aux Philippines, les subventions gouvernementales massives accordées au riz hybride ont faussé la capacité des agriculteurs à faire un choix raisonné entre les variétés de riz hybride et les variétés de riz consanguin (Cororaton et Corong, 2000; David, 2007). En Inde, les cultures traditionnelles comme le millet, le sorgho et les légumineuses, qui sont essentielles pour la sécurité alimentaire des agriculteurs, ne sont pas couvertes par les subventions agricoles qui, pour des semences comme le riz hybride, peuvent atteindre 50 à 60 % du prix. Parfois, les semences distribuées sont gratuites, mais ne sont pas toujours de bonne qualité. Des subventions sont également disponibles pour les engrais, les machines, l'irrigation et d'autres intrants agricoles.

Dans certaines des ex-républiques soviétiques d'Asie centrale, la production des cultures prioritaires est réglementée par les gouvernements. Au Tadjikistan, au Turkménistan et en Ouzbékistan, il existe encore une structure institutionnelle de commandement et de contrôle qui, dans certains cas, enferme les agriculteurs dans un schéma rigide de culture du coton ou du blé (normalement sur les meilleures terres irriguées), les privant de la liberté de décider quoi cultiver dans leurs fermes. L'intervention de l'État est omniprésente et se traduit par des plans détaillés concernant les livraisons et les superficies cultivées de coton, le calendrier de semis et de récolte ainsi que les prix à la production. En retour, ces plans s'accompagnent de programmes soutenus par les pouvoirs publics qui garantissent l'accès des producteurs de coton à l'eau et aux subventions économiques pour l'énergie et les engrais. La pratique gouvernementale consistant à réserver l'accès à l'eau et aux autres intrants de production pour le blé ou le coton pousse les agriculteurs à abandonner les cultures non prioritaires pour l'expansion des systèmes de monoculture (Lapeña et al., 2013). Au Kazakhstan, les régimes de subventions sont appliqués à une

liste de cultures prioritaires et répondent principalement aux besoins des grands producteurs agricoles de céréales, ce qui les rend inaccessibles aux petites exploitations. En 2009, un mécanisme de soutien financier a également été mis en place pour les plantations pérennes d'arbres fruitiers et à baies et de vignes, mais uniquement pour les variétés inscrites au Registre National des Variétés Végétales et pour les systèmes de production modernes d'une superficie minimale de cinq hectares. Cela laisse en dehors du mécanisme de soutien les petites exploitations agricoles où les variétés ancestrales sont cultivées en appliquant des pratiques traditionnelles à faibles intrants (Lapeña et *al.*, 2013).

La gestion de la diversité des cultures à la ferme par les agriculteurs peut être affectée par des régimes complexes de subventions publiques, qui ne visent pas exclusivement l'agriculture. Par exemple, au Mexique, les programmes gouvernementaux agricoles ont joué un rôle important dans la promotion de l'adoption du maïs hybride, tandis qu'un programme de réduction de la pauvreté, avec une forte composante sur l'autonomisation de la femme (programme «Opportunities»), semble avoir encouragé la conservation des variétés traditionnelles (Bellon et Hellin, 2010).

En Inde, les systèmes de distribution des aliments subventionnés pour les pauvres (Fair Price Shops) soutiennent la consommation d'aliments à base de blé, riz, maïs et sucre. D'autres programmes de sécurité alimentaire comme ceux qui soutiennent les repas de midi à l'école sont également basés exclusivement sur les grandes cultures, ce qui a un impact négatif sur la demande de nourriture basée sur les cultures traditionnelles indiennes et donc aussi sur l'intérêt des agriculteurs à continuer à cultiver ces cultures (López Noriega et *al.*, 2012).

Processus Politiques: Un Aperçu des Concepts et des Méthodes

Le terme «processus politique» désigne généralement un processus complexe et dynamique par lequel des questions sont inscrites à l'ordre du jour en tant que questions d'intérêt public et sont soumises à la prise de décisions par les gouvernements. Au cours de ce processus, de nombreux mécanismes intangibles définissent la façon dont ces questions sont pensées et discutées (Keeley, 2001). Les processus politiques englobent (Karl, 2002):

- La formulation (qui implique la collecte d'informations, l'analyse et la prise de décision).
- La mise en œuvre (qui implique l'établissement de règles, de règlements, et la création d'institutions).
- Le suivi et l'évaluation.

Selon une conception classique et encore largement répandue de l'élaboration des politiques, les processus politiques suivent un modèle linéaire descendant où les décideurs sont supposés avoir l'expertise nécessaire pour s'assurer que leurs décisions mèneront à des actions rationnelles et prévisibles au niveau de la mise en œuvre, à travers les étapes successives suivantes (Hogwood et Gunn, 1984; Fischer, 1990):

- Reconnaître et définir la nature des problèmes.
- Identifier des pistes d'action possibles.
- Peser les avantages et les inconvénients des alternatives.
- Choisir l'option qui offre la meilleure solution.
- Mettre en œuvre la politique.
- Évaluer les résultats.

Le modèle linéaire peut expliquer les processus politiques jusqu'à un certain point, mais les faits montrent que les choses ne fonctionnent pas de manière aussi simple. L'élaboration et la mise en œuvre des politiques constituent des processus plus complexes où la négociation entre les parties prenantes, la combinaison de différents types de connaissances et les jeux de pouvoir entre les acteurs définissent à la fois le processus et ses résultats (Dobuzinskis, 1992). De plus, la mise en œuvre exige une série de mesures à entreprendre pour que la politique ait des résultats pratiques: renforcement des capacités, participation des principales parties prenantes, résolution des conflits, compromis, planification d'urgence, mobilisation des ressources et adaptation (Sutton, 1999).

La grande diversité des manières dont les politiques peuvent être élaborées montre qu'il n'existe pas de modèle unique d'élaboration des politiques qui soit universellement valable et applicable. La manière dont la politique est élaborée dépend du contexte. Sur la base de la littérature existante et de nos expériences passées, nous proposons que les travaux liés aux politiques dans le cadre des projets de recherche et développement sur la conservation et l'utilisation de la diversité des cultures à la ferme reposent sur les piliers suivants.

Identifier les Domaines de Réforme Politique

La nécessité d'interventions politiques doit être évaluée selon une analyse combinée des besoins et des limites des agriculteurs en ce qui concerne l'accès à la diversité des cultures et à sa gestion, et selon les politiques et les cadres juridiques existants, notamment leur niveau de mise en œuvre et leurs lacunes.

Des questions comme celles qui suivent peuvent guider une telle analyse:

- Quelles sont les politiques qui influencent les décisions des agriculteurs quant à ce qu'ils doivent cultiver?
- A quels niveaux ces politiques sont-elles actives? International, régional, national, sous-national, local?
- Les politiques sont-elles réellement mises en œuvre? Quelles sont les institutions chargées de leur mise en œuvre?
- Dans quelle mesure les processus politiques sont-ils nécessaires pour répondre aux besoins des agriculteurs? Existe-t-il des approches/solutions plus efficaces?
- Quelle partie du processus politique nécessite le plus d'attention: la collecte d'informations, l'analyse, la prise de décision, la formulation de lois et de règlements, la création d'institutions, l'évaluation, etc.?
- Quelles contraintes sont à prévoir pour la réforme des politiques?

Comprendre le Contexte dans Lequel se Déroule le Processus Politique

Il est essentiel de comprendre le contexte politique pour déterminer les points d'entrée possibles pour l'influence politique, évaluer la faisabilité des interventions politiques possibles et choisir les approches et les méthodologies appropriées pour la formulation et la mise en œuvre des politiques. Le contexte politique est défini par un certain nombre d'éléments. Parmi les plus pertinents figurent les points suivants:

- le type de régime en place dans le pays (démocratique ou qui le sont moins),
- la structure du gouvernement (centralisée ou décentralisée),
- la transparence de sa bureaucratie ou son absence,
- la culture du pays en ce qui concerne la participation des citoyens à l'élaboration de la loi et des politiques,
- les canaux existants pour l'influence et le développement des politiques,
- les priorités du gouvernement en matière de développement socio-économique et d'agriculture,
- la volonté de la structure gouvernementale et sa capacité à engager des réformes politiques et institutionnelles en matière d'agriculture, et
- les changements soudains ou progressifs qui ont de fortes implications dans le domaine de l'agriculture, comme la transition vers une économie de marché, un accord commercial international, l'introduction de

nouvelles technologies de production, une situation de conflit ou un accord de paix.

Mise en Place d'Outils Participatifs pour la Recherche et le Développement des Politiques

La participation des parties prenantes, considérée comme un processus dans lequel les individus, les groupes et les organisations choisissent de jouer un rôle actif dans la prise de décisions qui les concernent ou qu'ils peuvent affecter, a été progressivement intégrée dans les politiques environnementales et agricoles nationales et internationales. L'introduction d'outils participatifs dans la prise de décision politique répond à une compréhension des processus politiques, qui s'éloigne du processus linéaire classique et reconnaît les complexités impliquées dans la génération et la mise en œuvre des politiques.

L'argument avancé est que la participation des parties prenantes réduit la probabilité de marginalisation de ceux qui se trouvent à la périphérie du contexte décisionnel (Martin et Sherington, 1997). La participation des parties prenantes peut les responsabiliser en offrant un espace aux différents types de connaissances (locales, traditionnelles, scientifiques) pour qu'elles puissent se rencontrer et générer ensemble une meilleure compréhension des questions complexes (Greenwood et *al.*, 1993; Stringer et Reed, 2007). De cette façon, la participation des parties prenantes peut accroître la probabilité que les décisions soient perçues comme étant holistiques et équitables, tenant compte de la diversité des valeurs et des besoins et reconnaissant la complexité des interactions entre les humains et l'environnement. Il est dit que la participation des parties prenantes permet de développer de nouvelles relations et d'éviter les relations conflictuelles, en aidant les individus à apprécier la légitimité des opinions de chacun (Stringer et *al.*, 2006). En conséquence de tout cela, il est perçu que la participation des parties prenantes améliore la qualité des politiques et donc leur taux d'acceptabilité, de durabilité et de diffusion parmi les groupes cibles (Fischer, 2000; Beierle, 2002).

Les avantages potentiels des approches participatives dans le processus de développement des politiques deviennent particulièrement importants lorsqu'il s'agit de l'utilisation de la diversité génétique des plantes cultivées (voir chapitres 5 et 8). Les questions politiques nécessitent l'implication de différentes parties prenantes (des agriculteurs aux scientifiques des plantes, en passant par les représentants du secteur privé et les décideurs politiques) et

l'utilisation combinée d'une large gamme de disciplines (biologie, agronomie, ethnographie, sociologie, économie et politique). Cette complexité a un certain nombre d'implications pour les processus d'élaboration des politiques.

En premier lieu, la structure traditionnelle compartimentée des gouvernements actuels peut constituer un obstacle à la mise en œuvre complète des politiques de conservation de la diversité génétique des cultures, car ces politiques peuvent devoir être reconnues, soutenues et mises en œuvre par des ministères autres que ceux qui sont traditionnellement responsables de l'agriculture et de la gestion des ressources naturelles (c'est-à-dire les ministères ou départements de l'agriculture et de l'environnement). Deuxièmement, une participation insuffisante de toutes les parties prenantes aux processus décisionnels peut conduire à l'établissement de politiques et d'instruments juridiques qui ne répondent pas aux besoins des parties prenantes ou qui peuvent être en conflit avec leurs intérêts ou leurs conditions socioéconomiques et culturelles. C'est souvent le cas des petits agriculteurs qui vivent dans des zones rurales éloignées.

Enfin, la communication entre la communauté scientifique et les décideurs politiques est essentielle pour s'assurer que les politiques de conservation et de gestion reposent sur des preuves scientifiques, que les dispositions légales sont abordables sur le plan technique et que les impacts économiques et sociaux des politiques sont pris en compte dès le stade de leur développement.

Pour définir les outils participatifs à appliquer aux activités liées aux politiques et, par conséquent, le degré d'implication des parties prenantes dans un projet donné, il faut prendre en considération un certain nombre de facteurs, notamment: (1) les objectifs du projet; (2) les ressources nécessaires et disponibles; (3) le contexte politique dans lequel s'inscrit le projet (comme décrit ci-dessus); et (4) la personne qui dirige les processus politiques dans le cadre du projet (une agence gouvernementale, un organisme de recherche, une organisation de la société civile). Si le projet comporte une forte composante d'intervention et que l'évaluation et la réforme des politiques figurent parmi ses principaux objectifs, il est alors recommandé que le projet adopte les outils participatifs qui non seulement incluent la collecte d'informations et d'opinions auprès des différentes parties prenantes, mais qui facilitent également les échanges de vues et la compréhension entre elles. Étant donné le rôle central des

agriculteurs en tant que conservateurs et initiateurs de la diversité des cultures à la ferme, les activités visant à faire connaître les intérêts des agriculteurs sont cruciales. Idéalement, la recherche sur les politiques elle-même serait entreprise par les agriculteurs, en coopération avec d'autres acteurs, afin de porter les voix des communautés locales à l'attention des décideurs politiques.

De nombreuses typologies d'outils participatifs ont été conçues, testées et évaluées dans le but d'accroître l'implication des acteurs dans l'élaboration des politiques agricoles (Reed, 2008). Le tableau 10.1 présente ces outils classés en différentes catégories, allant d'une participation minimale à une participation intense.

Identification des Parties Prenantes à Impliquer dans l'Évaluation et la Formulation des Politiques

La cartographie des acteurs et des relations entre eux facilite l'identification des organisations et des individus qui ont un intérêt dans la conservation et l'utilisation de la diversité génétique des cultures dans les champs des agriculteurs. Voici quelques questions qui peuvent guider un tel exercice:

- Quels groupes et organisations existent au niveau local?
- Qui représentent-ils (agriculteurs, services de vulgarisation, entreprises privées, consommateurs, etc.) ?
- Certains secteurs sont-ils sous-représentés (par exemple, les femmes, les peuples autochtones)?
- Quelles sont les relations et les dynamiques de pouvoir entre les groupes et les organisations?
- Quelle est leur expérience en matière de recherche participative sur les politiques et d'élaboration des politiques?
- Quelles ressources humaines, sociales et financières peuvent-ils apporter aux processus politiques?
- Quelles compétences possèdent-ils ou manquent-ils pour l'élaboration de politiques participatives?
- De quel type de renforcement des capacités auraient-ils besoin pour se sentir habilités?

TABLEAU 10.1. OUTILS PARTICIPATIFS POUR LES PROCESSUS POLITIQUES.

<i>Outils participatifs</i>	<i>Niveau d'implication des parties prenantes</i>	<i>Activités et instruments</i>
Partage de l'information	Les parties prenantes sont informées de leurs droits, responsabilités et options	Rédaction de documents politiques, de rapports sur l'état d'avancement des politiques existantes, à partager via des médias traditionnels (radio, télévision, bulletins d'information) et par voie électronique sur des sites Web et par courrier électronique, ou en installant un stand d'information dans un espace public.
Consultation	Les parties prenantes ont la possibilité d'interagir et de donner leur rétroaction, et ils peuvent exprimer leurs suggestions et leurs préoccupations. Les analyses et les décisions sont généralement prises par des personnes de l'extérieur, et les parties prenantes n'ont aucune garantie que leur contribution sera utilisée.	Forums de discussion tels que tables rondes, audiences publiques, discussions de groupes, conférences électroniques. Enquêtes (en personne ou par voie électronique). Les outils de consultation des gouvernements tels que les sondages d'opinion publique, les périodes de commentaires sur un projet de politique. Les institutions permanentes de consultation telles que les panels de citoyens, les comités consultatifs des représentants des groupes d'intérêt.
Coopération et établissement de consensus	Les parties prenantes négocient les positions et aident à déterminer les priorités, mais le processus est dirigé par des intervenants de l'extérieur	Plateformes multipartites Conférences de consensus
Prise de décision	Les parties prenantes ont un rôle à jouer dans la conception et la mise en œuvre des projets et des politiques	Jurys de citoyens Forum de citoyens
Partenariats	Les intervenants travaillent ensemble, sur un pied d'égalité, en vue d'atteindre des objectifs communs	Campagnes publiques
Autonomisation	Transfert du contrôle de la prise de décision et des ressources aux parties prenantes	Partenariats Alliances

Sources: D'après Rietbergen-McCracken (1996) et OECD (2001).

Certaines méthodologies appliquées par les sciences sociales, telles que l'analyse des réseaux sociaux, sont utiles pour cartographier les acteurs à impliquer dans les processus politiques et les relations entre eux.

La représentation adéquate des agriculteurs dans les activités liées aux politiques d'un projet donné repose sur la participation de groupes et d'organisations efficaces de la société civile qui défendent les intérêts des agriculteurs. Il peut s'agir d'organisations non gouvernementales internationales ou nationales, de syndicats d'agriculteurs, d'organisations religieuses, d'instituts de recherche et autres. Le partenariat avec des organisations particulières doit être basé sur une analyse comparative de leur rôle potentiel en fonction de leurs forces et de leurs faiblesses, ainsi que des avantages et inconvénients de travailler avec elles. Les critères suivants, appliqués par le Fonds International de Développement Agricole (IFAD, 2001), pour la sélection des partenaires travaillant au niveau local, peuvent être pris en considération:

- Connaissance de la situation locale.
- Engagement à renforcer les capacités organisationnelles locales dans le cadre d'approches participatives.
- Volonté de placer sa propre activité dans le contexte des plans communautaires.
- Volonté démontrée de coopérer et de partager les connaissances avec les autres.
- Engagement à la fois pour la mobilisation des ressources locales et pour la réactivité face à l'évolution des besoins changeants des communautés locales.
- Structure organisationnelle bien définie et transparente.
- Capacité technique, expérience, gestion adéquate et installations adaptées aux tâches à accomplir.

En ce qui concerne la formulation des politiques, les critères suivants pourraient être ajoutés (Karl, 2002):

- Une relation de confiance entre l'organisation et la communauté locale.
- Capacité et engagement à transmettre l'information vers et depuis la communauté locale et les décideurs politiques.
- Capacité et engagement à faciliter l'accès direct et la communication.

Élaboration de politiques qui soutiennent le rôle des agriculteurs en tant que producteurs, gestionnaires et conservateurs de la diversité des cultures

Garantir l'accès des agriculteurs aux avantages découlant de l'utilisation de la diversité à la ferme

L'idée, selon laquelle ceux qui conservent les ressources génétiques devraient recevoir une partie des avantages découlant de l'utilisation de ces ressources, a été adoptée par la communauté internationale par le biais de l'adoption en 1993 de la Convention sur la Diversité Biologique (CDB ou CBD selon l'acronyme anglais). La Convention sur la Diversité Biologique a traduit les droits souverains des pays sur les ressources génétiques en trois principes concrets: (1) la responsabilité des pays de conserver les ressources génétiques se trouvant sur leur territoire, (2) leur capacité à réglementer l'accès à ces ressources, et (3) leur droit de recevoir une partie des avantages découlant de l'utilisation de ces ressources, notamment des avantages monétaires. L'approche de l'Accès et du Partage des Avantages (APA ou ABS selon l'acronyme anglais) proposée par la Convention sur la Diversité Biologique et réaffirmée par le Protocole de Nagoya sur l'Accès et le Partage des Avantages (2010) devait créer des cycles vertueux d'utilisation et de réinvestissement dans la conservation, de sorte qu'une grande partie des fonds nécessaires aux pays en développement pour conserver les ressources génétiques proviendrait de l'utilisation commerciale de ces ressources (Stannard, 2012).

Les négociateurs du Traité International sur les Ressources Phytogénétiques pour l'Alimentation et l'Agriculture (RPGAA ou PGRFA selon l'acronyme anglais) ont adopté la même approche pour créer le système multilatéral d'accès et de partage des avantages (système multilatéral), par lequel les parties contractantes conviennent de faciliter l'accès aux ressources génétiques de 64 cultures et fourrages qui sont essentiels à la sécurité alimentaire mondiale. Une partie des avantages monétaires découlant de l'utilisation commerciale de ces ressources doit être déposée dans un fonds multilatéral destiné à soutenir des projets de conservation et d'utilisation durable des Ressources Phytogénétiques pour l'Alimentation et l'Agriculture dans les pays en développement (Halewood et Nnadozie, 2008; Manzella, 2012). Jusqu'à présent, la Convention sur la Diversité Biologique et le Traité n'ont toutefois pas encore atteint l'objectif consistant à canaliser une partie des bénéfices commerciaux vers les agriculteurs qui conservent la diversité

végétale à la ferme. Les montants disponibles dans le fonds multilatéral du Traité et qui sont actuellement utilisés pour soutenir des projets de conservation et de développement dans les pays en développement, sont des dons des pays membres et des organisations internationales. Dans le cadre de la Convention sur la Diversité Biologique, les agriculteurs n'ont pas reçu de soutien direct pour la conservation à la ferme de la part des entreprises commerciales qui produisent des produits agricoles et alimentaires. Ces entreprises comptent sur leurs propres collections de travail et sur du matériel de sélection provenant d'autres organismes publics et privés. L'existence d'importantes collections publiques qui fournissent gratuitement du matériel génétique et des informations rend inutile pour les entreprises commerciales la collecte des ressources phytogénétiques dans les champs des agriculteurs.

Pour que les agriculteurs aient accès aux avantages que d'autres obtiennent en utilisant la diversité génétique qu'ils génèrent, conservent et gèrent, les gouvernements et les organisations dont l'activité repose sur l'utilisation de la diversité génétique ont la responsabilité d'institutionnaliser des modalités de partage des avantages. Ces avantages garantissent aux agriculteurs une participation aux résultats monétaires et non monétaires des activités de recherche et commerciales basées sur l'utilisation des ressources phytogénétiques, indépendamment du fait que ces ressources aient été acquises de collections *ex situ* ou des champs des agriculteurs. Le système multilatéral du Traité va dans ce sens, mais son potentiel est entravé par la lenteur de la mise en œuvre par les pays et la portée limitée du système: toutes les cultures ne sont pas incluses, et seuls les gains commerciaux tirés de ressources génétiques végétales brevetées sont soumis aux obligations de partage des avantages.

Les initiatives en matière d'accès et du partage des avantages menées par des institutions publiques et privées devraient être guidées par les résultats d'une analyse complète du succès et de l'échec des lois internationales et nationales qui mettent en place des mécanismes d'accès et du partage des avantages visant à inciter les agriculteurs à maintenir la diversité génétique à la ferme au profit des différents utilisateurs. Parmi ces lois, les exemples indien et thaïlandais méritent une attention particulière. La loi indienne de 2001 sur la protection des variétés végétales et les droits des agriculteurs traite des questions de partage des avantages, en créant un fonds national pour les gènes dont l'objectif est de collecter des fonds provenant de la commercialisation réussie des connaissances locales ou du transfert de variétés locales à des fins de sélection, et de mettre ces fonds à la disposition des détenteurs originaux des ressources génétiques. La loi

Encadré 10.1. Article 9 du Traité International sur les Ressources Phytogénétiques pour l'Alimentation et l'Agriculture

Droits des Agriculteurs

9.1 Les Parties contractantes reconnaissent l'énorme contribution que les communautés locales et autochtones ainsi que les agriculteurs de toutes les régions du monde, et spécialement ceux des centres d'origine et de diversité des plantes cultivées, ont apportée et continueront d'apporter à la conservation et à la mise en valeur des ressources phytogénétiques qui constituent la base de la production alimentaire et agricole dans le monde entier.

9.2 Les Parties contractantes conviennent que la responsabilité de la réalisation des droits des agriculteurs, pour ce qui est des ressources phytogénétiques pour l'alimentation et l'agriculture, est du ressort des gouvernements nationaux. En fonction de ses besoins et priorités, chaque Partie contractante devrait, selon qu'il convient, et sous réserve de sa législation nationale, prendre des mesures pour protéger et promouvoir les droits des agriculteurs, y compris:

- a) la protection des connaissances traditionnelles présentant un intérêt pour les ressources phytogénétiques pour l'alimentation et l'agriculture;
- b) le droit de participer équitablement au partage des avantages découlant de l'utilisation des ressources phytogénétiques pour l'alimentation et l'agriculture ;
- c) le droit de participer à la prise de décisions, au niveau national, sur les questions relatives à la conservation et à l'utilisation durable des ressources phytogénétiques pour l'alimentation et l'agriculture.

9.3 Aucune disposition de cet article ne doit être interprétée comme limitant les droits que peuvent avoir les agriculteurs de conserver, d'utiliser, d'échanger et de vendre des semences de ferme ou du matériel de multiplication de ferme, sous réserve de la législation nationale et selon ce qui est approprié.

thaïlandaise de 1999 sur la protection des variétés végétales prévoit également la création d'un fonds de partage des avantages, mais ce fonds n'est pas associé aux avantages réels découlant de l'utilisation des connaissances ou des ressources génétiques identifiées: il est constitué de contributions imposées à toute demande de variété végétale en Thaïlande.

Promouvoir la Mise en Œuvre des Droits des Agriculteurs

L'article 9 du Traité international sur les ressources phytogénétiques pour l'alimentation et l'agriculture (adopté par la Conférence de la FAO en 2001) est consacré aux droits des agriculteurs (voir encadré 10.1). Selon cet article, les gouvernements doivent adopter des mesures pour promouvoir et protéger les droits des agriculteurs. Certaines de ces mesures, selon le texte du Traité, peuvent inclure la protection des connaissances traditionnelles des agriculteurs, l'accès aux avantages découlant de l'utilisation des ressources phytogénétiques pour l'alimentation et l'agriculture, la participation à la prise de décision et le droit de conserver, d'utiliser, d'échanger et de vendre des semences et du matériel de multiplication de la ferme.

Toutefois, la compréhension des droits des agriculteurs et les modalités de leur mise en œuvre restent encore vagues. L'Organe directeur du Traité International a pris des mesures pour guider les pays dans la reconnaissance effective et pratique des droits des agriculteurs. En définitive, les mesures relevant du concept général des «droits des agriculteurs» devraient viser à faciliter le rôle des agriculteurs en tant que gardiens et générateurs de la diversité génétique à la ferme. De nombreuses expériences à travers le monde fournissent des exemples de bonnes pratiques sur la manière de créer des incitations et d'éliminer les facteurs qui dissuadent les agriculteurs de jouer un tel rôle. Ces exemples sont présentés au chapitre 13.

Lectures Complémentaires

- Aoki, K. 2004. "Malthus, Mendel and Monsanto: intellectual property and the law and politics of global food supply: an introduction". *Journal of Environmental Law and Litigation* 19:397–454.
- Bishaw, Z., and A. J. G. Van Gastel. 2009. "Variety release and policy options". Pp. 565–87 in *Plant Breeding and Farmer Participation* (S. Ceccarelli, E. P. Guimaraes, and E. Welzien, Eds.) FAO, Rome.
- Bragdon, S., D. I. Jarvis, D. Gaucham, I. Mar, N. N. Hue, D. Balma, L. Collado, L. Latournerie, B. R. Sthapit, M. Sadiki, C. Fadda, and J. Ndungu-Skilton. 2009. "The agricultural biodiversity policy development process: exploring means of policy development to support the on-farm management of crop genetic diversity". *International Journal of Biodiversity Science and Management* 5:10–20.
- Brush, S. B. 2013. "Agrobiodiversity and the law: regulating genetic resources, food security and cultural diversity". *Journal of Peasant Studies* 40:447–49.
- Correa, Carlos. 2000. "Options for the Implementation of Farmers' Rights at the National Level". South Centre Working Paper 8, December 2000.
- Gepts, P. 2004. "Who Owns Biodiversity, and How Should the Owners Be Compensated?" *Plant Physiology* 134:1295–1307.
- Louwaars, N. 2002. *Seed Policy, Legislation and Law: Widening a Narrow Focus*. Food Products Press and Haworth Press, Binghampton.
- Reed, M. S., A. Graves, N. Dandy, H. Posthumus, K. Hubacek, J. Morris, C. Prell, C. H. Quinn, and L. C. Stringer. 2009. "Who's in and why? A typology of stakeholder analysis methods for natural resource management". *Journal of Environmental Management* 90:1933–49.
- Santilli, J. 2012. *Agrobiodiversity and the Law: Regulating Genetic Resources*, Food Security and Cultural Diversity. Earthscan.
- Tripp, R. 1997. *New Seed and Old Laws*. Intermediate Technology Publications on behalf of the Overseas Development Institute. Retrieved from http://books.google.ch/books/about/New_seed_and_old_laws.html?id=c5_vAAAAMAAJ&redir_esc=y.
- Vernooy, R., and M. Ruiz, Eds. 2012. *The Custodians of Biodiversity. Sharing Access to and Benefits of Genetic Resources*. Routledge and IDRC, London and Ottawa.
- Visser, B. 2002. "An Agrobiodiversity Perspective on Seed Policies". *Journal of New Seeds* 4: 231–45.
- Wale, E., N. Chishakwe, and R. Lewis-Lettington. 2008. "Cultivating participatory policy processes for genetic resource policy: lessons from the Genetic Resources Policy Initiative (GRPI) project". *Biodiversity Conservation* 18:1–18.



Planche 11. Les cadres politiques et juridiques créent des facteurs dissuasifs ou des obstacles pour les agriculteurs qui veulent maintenir et gérer la diversité végétale. Pour que les agriculteurs aient accès aux avantages que d'autres obtiennent en utilisant la diversité génétique qu'ils génèrent, conservent et gèrent, les gouvernements et les organisations ont la responsabilité d'institutionnaliser les modalités de partage des avantages qui garantissent la participation des agriculteurs aux résultats monétaires et non monétaires des activités commerciales et de recherche basées sur l'utilisation des ressources phylogénétiques. Les processus politiques qui conduisent à l'adoption de lois et de réglementations sur la conservation et l'utilisation de la diversité des cultures et à la reconnaissance et la mise en œuvre des droits des agriculteurs doivent garantir la participation d'un certain nombre de parties prenantes qui ont des intérêts et des responsabilités dans ces domaines. En haut à gauche: le ministre de l'Agriculture du Népal en conversation avec un agriculteur primé lors d'une foire de la diversité. En haut à droite: Saraswati Adhikari, une agricultrice sélectionnant des variétés de riz dans sa ferme au Népal. En bas à gauche: session de formation sur l'analyse des réseaux sociaux pour l'identification des acteurs à impliquer dans la mise en œuvre du Traité International sur les Ressources Phylogénétiques pour l'Alimentation et l'Agriculture au Rwanda, en mai 2013. En bas à droite: des participants de 30 pays discutent de la collaboration Sud-Sud dans le cadre d'une consultation mondiale sur l'utilisation et la gestion de l'agrobiodiversité pour une sécurité alimentaire durable, tenue à New Delhi, en Inde, en février 2013. Crédits photos: B. Sthapit (en haut à gauche et en haut à droite), G. Otieno (en bas à gauche), C. Zananiani (en bas à droite).

CHAPITRE 11

Ferme, Communauté et Paysage

Diversité Génétique et Pressions de Sélection à Différentes Echelles Sociales, Spatiales et Temporelles

A la fin de ce chapitre, le lecteur devrait avoir une bonne compréhension de ce qui suit:

- Les relations entre la gestion des agriculteurs et les forces évolutives qui déterminent la diversité génétique présente dans les variétés traditionnelles.
- Le rôle central de la sélection.
- Le fonctionnement des systèmes semenciers dans les communautés agricoles traditionnelles.
- L'importance des dimensions sociales, spatiales et temporelles en ce qui concerne les modèles de diversité.

Introduction

Les chapitres précédents ont décrit les différentes méthodes qui peuvent être utilisées pour comprendre la manière dont les forces au sein des dimensions environnementales, sociales, économiques et politiques influencent la gestion et l'utilisation des variétés traditionnelles. Ces forces, combinées aux caractéristiques biologiques et de production des cultures, déterminent les pratiques de gestion que les agriculteurs et les communautés utilisent pour maintenir les variétés traditionnelles dans leurs systèmes de production. Ces forces biologiques, génétiques, environnementales, sociales, économiques et culturelles ne fonctionnent pas de manière isolée, mais elles opèrent ensemble et interagissent de manière complexe. Associées aux pratiques de gestion des agriculteurs, elles influencent la sélection, le flux de gènes, la mutation, la migration et la recombinaison de manière à aboutir aux modèles observés de diversité génétique au sein et entre les variétés dans les systèmes de production.

Ce chapitre explore comment différents aspects du processus de production et du système de production affectent la diversité génétique. Il décrit également les approches d'investigation qui peuvent être utilisées pour comprendre comment différentes forces influencent la diversité génétique à différentes échelles sociales, spatiales et temporelles. L'étude de cette situation complexe nécessite des approches multi-, inter- et trans-disciplinaires (Vandermeulen et Huylenbroeck, 2008), où des chercheurs ayant des compétences différentes travaillent ensemble pour développer une compréhension commune. Les données collectées par les différents chercheurs doivent être intégrées pour que la combinaison des données ait un sens.

L'approche adoptée dans ce chapitre consiste à examiner d'abord les différentes phases de la production agricole: la gestion des semences et le semis, la croissance de la culture et la récolte des semences ou du matériel végétal de plantation à semer lors de la génération suivante. La sélection est une force évolutive majeure qui influence la diversité génétique des variétés traditionnelles, et une section de ce chapitre est consacrée à l'étude des conséquences de la sélection effectuée par les agriculteurs. L'échange de semences constitue un aspect important du maintien des variétés traditionnelles. Il a une forte influence sur les modèles de diversité observés. Les façons dont les modèles et l'étendue de l'échange de semences peuvent être analysés sont décrites. La dernière section du chapitre traite des dimensions plus larges—sociales, spatiales et temporelles—qui influencent la diversité observée dans tout système de production.

Cycle de Culture

Les opérations de semis, de plantation et d'entretien d'une culture pendant sa croissance ont toutes une incidence sur la diversité génétique présente au sein et entre les variétés traditionnelles. De nombreux facteurs spécifiques qui affectent les activités de gestion des cultures comme le semis, la transplantation, ainsi que le moment et la fréquence du désherbage ont été décrits dans les chapitres précédents. Ils comprennent l'utilisation optimale de la main-d'œuvre disponible (Chapitre 9) ou des pratiques de gestion spécifiques pour réduire les problèmes dus au gelé ou aux ravageurs et aux maladies (Chapitre 7). Par exemple, les champs gorgés d'eau ou particulièrement caillouteux, ou qui se situent dans des poches de gel, peuvent nécessiter des cultures spécifiques ou ne convenir qu'à certaines variétés de cultures connues pour leur tolérance à ces conditions. Ces variétés peuvent apparaître comme rares et cultivées sur de petites superficies et doivent être gérées de manière à conserver leur capacité d'adaptation aux conditions spécifiques du champ.

Une première étape pour essayer de comprendre le maintien des variétés traditionnelles et identifier certains des facteurs les plus impliqués sur le plan environnemental, agronomique, socioculturel et économique peut consister à élaborer un calendrier culturel pour les cultures étudiées (voir chapitre 6). Un aspect important de cette analyse consiste à combiner les informations sur la répartition des différentes variétés et cultures avec les pratiques culturelles au cours de la saison de production (les dimensions spatiales et temporelles locales). Les différences en matière de périodes de semis et de récolte entre les variétés peuvent être importantes pour optimiser l'utilisation de la main-d'œuvre disponible ou pour échelonner les périodes de floraison afin d'éviter la pollinisation croisée, tandis qu'un mélange de variétés ou de cultures qui ont des exigences et des calendriers différents en matière de gestion et d'intrants peut optimiser l'utilisation des ressources. Cela peut être observé tant à l'échelle de la ferme que de la communauté et peut prendre différentes formes qui reflètent l'utilisation coopérative de la main-d'œuvre disponible ou le partage de l'équipement pour la récolte ou le labour.

Un échantillonnage approprié qui intègre les facteurs humains, génétiques et environnementaux est important pour garantir que l'information recueillie reflète une représentation adéquate de la situation ou du site. La taille de l'échantillon dépendra de la quantité de variation entre les échantillons d'un groupe donné. Plus la taille de l'échantillon est grande, plus les informations sur la variation entre les échantillons seront importantes. De nombreuses études sur la diversité ont indiqué qu'il est plus instructif d'échantillonner moins d'individus sur un plus grand nombre de sites que d'échantillonner plus d'individus sur moins de sites lorsqu'un choix est disponible (Frankel et *al.*, 1995).

Une décision clé est de déterminer si les échantillons doivent être prélevés de manière aléatoire ou systématique. Le but principal de l'échantillonnage aléatoire est de détecter et d'évaluer la corrélation entre les distributions d'un facteur par rapport à un autre facteur. Les procédures d'échantillonnage doivent être conçues de manière à explorer comment la distribution de la diversité génétique est liée à certains facteurs sociaux, économiques, biologiques, environnementaux et des facteurs de gestion des cultures dans la communauté. Les agriculteurs dont les terres sont plus fragmentées détiennent-ils une plus grande diversité? Est-ce que certaines pratiques de sélection des semences sont liées à un niveau quelconque de diversité génétique dans la communauté? La meilleure façon d'analyser ces questions est d'utiliser un échantillon aléatoire de foyers dans l'ensemble du paysage.

Des échantillons aléatoires de champs d'agriculteurs répartis sur l'ensemble du site peuvent également être utiles pour avoir une idée de l'étendue et de la diversité des principaux facteurs abiotiques et biotiques affectant la diversité des cultures (Chapitre 7). Bien qu'il s'agisse de la méthode la plus robuste sur le plan statistique, l'utilisation des échantillons aléatoires exige particulièrement un temps considérable. Le placement régulier ou systématique des échantillons est simple à effectuer, mais peut être moins approprié pour l'analyse statistique. Une méthode de compromis consiste en un échantillonnage aléatoire stratifié, où des critères sont utilisés pour diviser le site d'étude ou la population en différentes strates, à partir desquelles un certain nombre d'échantillons sont tirés au hasard.

La stratification peut aider à réduire la taille de l'échantillon pour les données collectées dans plus d'une discipline. Ceci est important pour éviter un nombre irraisonnable d'échantillons totaux compte tenu des contraintes de temps et de ressources—par exemple, le nombre de foyers échantillonnés pour des facteurs socioéconomiques, multiplié par le nombre de cultures par foyer, multiplié par le nombre de variétés par culture, multiplié par le nombre de plantes échantillonnées par variété en vue d'une analyse génétique. Pour réduire la taille de l'échantillon, il faut structurer la collecte de données de manière à répondre à des hypothèses vérifiables spécifiques pour des échelles spatiales et temporelles précises. Certains exemples sont présentés plus loin dans ce chapitre. Quelle que soit la méthode d'échantillonnage choisie, une partie de la diversité des facteurs humains, environnementaux et génétiques ne sera pas échantillonnée.

Lorsque les données sont collectées à différents moments, des méthodes d'analyse de séries temporelles peuvent être utilisées pour examiner les relations entre les variables dans le temps (Kendall et Ord, 1990). L'analyse des séries temporelles repose sur l'idée que les variables mesurables qui sont observées en continu peuvent être considérées comme des signaux d'information. L'échantillonnage de ce signal à différents intervalles produit un signal discret, ou une série temporelle. Un coefficient d'autocorrélation est déterminé pour évaluer les similarités entre les mesures qui sont séparées par un intervalle de temps particulier, tandis qu'un coefficient de corrélation croisée est utilisé pour détecter les tendances de variation entre les variables dans le temps. Pour comparer les fréquences des événements dans le temps, l'analyse spectrale de puissance constitue un outil statistique courant. L'analyse spectrale de puissance est utilisée pour déterminer les périodicités au sein des données en donnant une indication sur les différentes fréquences de variation dans le temps, qui

expliquent la majeure partie de la variabilité des données. En général, tous ces outils nécessitent de nombreux points de données ou de nombreuses occasions d'échantillonnage. Dans certains cas, il peut être intéressant de calculer les probabilités de transition entre les classes (par exemple, identifier différentes variétés végétales cultivées sur différents types d'utilisation des terres (Chapitre 6) ou pour différentes valeurs d'utilisation (Chapitre 8) dans la zone d'étude, puis utiliser la modélisation de Markov pour simuler les changements dans le temps en fonction de l'évolution prévue des types de terres ou de leur utilisation).

Utilisation du Matériel Récolté et Diversité des Variétés Traditionnelles

Il existe une riche documentation décrivant les nombreuses pratiques de récolte des différentes variétés de cultures et l'importance de s'assurer que les variétés sont disponibles pour répondre à différents ou multiples usages (Balick, 1997; Chapitres 7, 8 et 9). Dans le cas de cultures productrices de graines, un premier aspect à explorer est la mesure dans laquelle les agriculteurs font la différence entre les graines récoltées pour la consommation et les graines destinées à la production future. Les agriculteurs d'une même localité peuvent bien différer dans leur niveau de différenciation et dans les pratiques qu'ils utilisent. Cette différenciation aura également un effet sur leurs méthodes de stockage, décrites plus loin dans le présent chapitre.

Les modes d'utilisation des produits récoltés affectent à la fois la diversité au sein des variétés et le choix des variétés. Le modèle d'utilisation—que le matériel soit produit pour un marché spécifique, un environnement particulier ou une activité culturelle déterminée ou qu'il soit destiné à des fins plus générales—aura une incidence sur les pratiques de sélection des agriculteurs et, par conséquent, sur la diversité génétique du matériel (Rana *et al.*, 2007). Le type d'utilisation peut également influencer la manière dont les pratiques de gestion affectent la diversité génétique des variétés. Les variétés sélectionnées pour leurs qualités culinaires ou nutritionnelles et les variétés sélectionnées spécifiquement pour le fourrage ou comme matériaux de toiture différeront par la nature et la diversité des différents traits présents dans les différentes variétés. La destination finale des produits peut influencer le niveau d'attention que les agriculteurs peuvent accorder à la pureté variétale ou au matériel végétal de plantation conforme au type. Le tableau 11.1 présente certains des principaux aspects qui doivent être pris en compte dans l'étude des effets de l'utilisation sur la diversité génétique.

Différents aspects ou types d'utilisation sont souvent combinés. Ainsi, en Afrique de l'Ouest, la production de paille et la production totale de semences sont toutes les deux importantes dans une variété de sorgho qui servira à la fois comme fourrage pour les animaux et pour l'alimentation humaine (Nordblom, 1987). La sélection réalisée par les agriculteurs aura tendance à favoriser les plantes vigoureuses sur le plan végétatif et qui produisent encore un rendement en grains acceptable. Certains types particuliers, comme le riz basmati, peuvent être cultivés pour répondre à des opportunités connues du marché, et les décisions relatives aux semences et à l'entretien des cultures viseront à garantir que la valeur de ces variétés soit maintenue, en évitant, par exemple, la contamination par d'autres lots de semences ou en procédant soigneusement à un arrachage des plantes indésirables ou à l'entretien des cultures durant leur croissance. Un lot de semences peut être considéré comme l'unité de gestion de l'agriculteur, c'est-à-dire la population de semences gérée comme une seule unité par un agriculteur. Les modes d'utilisation des variétés agissent donc comme des forces sélectives importantes.

Dans la plupart des communautés qui cultivent encore des variétés traditionnelles, la sécurité alimentaire constitue un objectif majeur, et le rendement et la possibilité de stockage sont toujours susceptibles d'être des préoccupations prédominantes des familles d'agriculteurs, ce qui fait du rendement un critère de sélection important. Le rendement et les autres caractéristiques d'utilisation sont souvent soumis à un contrôle génétique complexe et, comme indiqué au chapitre 4 (et ci-dessous), les objectifs de sélection peuvent impliquer un grand nombre de traits complexes différents, de sorte que l'efficacité globale de la sélection peut être très faible. C'est notamment le cas lorsque la sélection pour des objectifs d'utilisation spécifiques doit être combinée avec la sélection pour d'autres caractéristiques agronomiques telles que la résistance aux maladies ou aux ravageurs.

Le maintien d'un grand nombre de variétés différentes adaptées à différentes utilisations est un moyen de répondre à ces objectifs multiples et complexes et semble être particulièrement caractéristique des cultures de base autogames ou à multiplication clonale comme le riz, la pomme de terre et la banane (voir le chapitre 9 pour plus de détails sur le choix variétal). Chez d'autres cultures, la diversité intravariétale peut offrir un moyen de répondre à des objectifs multiples ou fournir le compromis le plus acceptable pour l'agriculteur. La notation des différentes utilisations faites des différentes variétés, et de l'importance relative des différentes utilisations ainsi que des

TABLEAU 11.1 DIFFÉRENTS ASPECTS D'UTILISATION DES PRODUITS DE LA RÉCOLTE QUI AURONT UNE INCIDENCE SUR LES CARACTÉRISTIQUES DES VARIÉTÉS TRADITIONNELLES.

<i>Caractéristiques d'utilisation</i>	<i>Caractéristiques de la variété</i>
Mode d'utilisation	<ul style="list-style-type: none"> • Spécifique (cultivée pour un usage spécifique unique, par exemple céréales destinées au marché, riz basmati de qualité supérieure) • Multiple (cultivée intentionnellement pour répondre à différentes utilisations, par exemple, pour l'alimentation et le fourrage) • Généraliste (peut être utilisée de nombreuses façons différentes selon les besoins)
Type d'utilisation	<ul style="list-style-type: none"> • Aliments (par exemple, stockage, cuisson, nutrition, caractéristiques de cuisson, saveur) • Fourrage (par exemple, qualité, quantité, adéquation aux différents animaux) • Matériaux de construction (par exemple, chaume, clôtures) • Boissons alcoolisées (bière, eau-de-vie) • Médicaments (par exemple, convenant pour les mères allaitantes ou pour différentes maladies)
Forme de distribution	<ul style="list-style-type: none"> • Consommation domestique • Vente aux particuliers • Vente aux marchés locaux • Vente aux magasins spécialisés en tant que produits de grande valeur

caractéristiques associées (nécessaires, souhaitables ou facultatives) constitue donc un élément essentiel du processus d'analyse des variétés décrit au chapitre 5.

De nombreuses publications suggèrent que les agriculteurs ont un intérêt naturel à identifier et à maintenir différentes variantes de leurs cultures. Par exemple, les agriculteurs d'Afrique de l'Ouest ont identifié des types de riz provenant de différentes localités et ont conservé ceux qui semblaient posséder des caractéristiques intéressantes (Richards, 1986). Ces types de riz peuvent être le produit d'une pollinisation croisée, d'une recombinaison ou d'une mutation chez les cultures à multiplication clonale. Les agriculteurs qui pratiquent ce genre d'activités, possèdent probablement plus de connaissances et portent un intérêt particulier pour la variation et les possibilités qu'elle offre pour générer de nouveaux types. Cette pratique semble plus courante chez les cultures autogames ou à multiplication clonale, où les possibilités de maintien d'un type nouvellement identifié sont plus importantes que chez les cultures à pollinisation croisée.

Gestion des Semences

Trois aspects de gestion de la semence peuvent être distingués, ils ont une incidence importante sur la diversité des variétés traditionnelles: (1) la taille et la nature du «lot de semences», y compris le lieu, le moment et la proportion des semences sélectionnées pour le semis, (2) la gestion ou le stockage des semences par les agriculteurs entre la récolte et le semis, et (3) les moyens utilisés par les agriculteurs pour le maintien et l'échange des semences de différentes variétés de différentes cultures (appelés «système de semences» et abordés ci-après). Il convient de noter que, comme dans les chapitres précédents, le terme «semence» est utilisé pour désigner le matériel de multiplication d'une culture et comprend les racines, les bulbes, les tubercules et autre matériel de multiplication. Les paragraphes qui suivent portent essentiellement sur le maintien des vraies semences, bien qu'ils soient largement applicables aux racines, aux tubercules ou aux bulbes. De nombreuses plantations d'arbres fruitiers et de noix sont propagées par des boutures qui sont souvent greffées sur des porte-greffes spécifiques (souvent une espèce sauvage apparentée), et la variété est un clone génétiquement uniforme, tout comme la plupart des variétés de fruits rouges (fraise et framboise). Chez ces cultures, le système dit de semences fonctionne de manière très différente; la sélection et les autres forces évolutives, à l'exception de la mutation, n'ont aucun effet sur la constitution génétique du matériel de propagation.

Taille du lot de semences et nature de la semence

Chez la plupart des cultures semencières annuelles (céréales, légumineuses, oléagineux), la quantité des semences récoltées dépasse largement celle qui sera semée la saison suivante. Ainsi, la taille de la population source est, en principe, importante et ses caractéristiques sont généralement celles de la variété récoltée. Il en est de même pour les produits issus de tout croisement. Cependant, chez de nombreuses cultures, les agriculteurs sélectionnent certaines plantes ou récoltent des têtes de semences de différentes cultures afin de disposer des semences pour l'année suivante. Ils peuvent également sélectionner à partir d'une partie particulière de leurs champs où ils ont identifié de meilleures conditions en termes de sol, d'eau ou d'autres conditions de croissance. Cette sélection peut avoir lieu dans le champ avant la récolte ou sur l'aire de battage après la récolte. Lorsque cela se produit, il peut constituer une forte force sélective ainsi que créer une population d'une taille beaucoup plus petite que la totalité du matériel récolté. A Cuzalapa au Mexique, Louette (1999) a noté que les agriculteurs utilisaient des semences d'un équivalent

d'environ 40 épis de maïs pour fournir les semences de la culture suivante. Elle a estimé que, chez cette culture à pollinisation croisée, la faible population conservée entraînerait une perte de diversité et probablement une dépression de consanguinité, en particulier dans les variétés cultivées en quantités relativement faibles. Cependant, la pollinisation croisée et le flux de gènes entre les variétés ont permis de maintenir la diversité dans la région.

Bien qu'il existe de nombreux exemples de sélection délibérée pour fournir la semence nécessaire aux futures cultures, il existe également des cas où aucune sélection ne semble être pratiquée. Cela peut être une caractéristique de l'agriculteur, de la communauté ou de la culture, ou encore peut être le résultat de circonstances particulières (mauvaise gestion, manque de main-d'œuvre à la récolte, difficultés familiales); ces différents facteurs doivent être distingués dans toute enquête.

Le nombre de plantes cultivées dans le cas des cultures maraîchères est généralement beaucoup plus faible que dans le cas des grandes cultures semencières. Une ou deux plantes suffisent souvent à fournir les semences de la culture suivante et sont souvent intentionnellement sélectionnées et laissées pour produire des fruits et des graines à maturité. La pression de sélection peut donc être forte dans ces cultures, et la taille effective de la population peut être réduite. Dans le cas de cultures allogames, telles que les légumes brassicacées, il faut laisser suffisamment de plantes pour assurer la pollinisation croisée et éviter la dépression de la consanguinité.

Stockage des semences

Le stockage des semences est une étape cruciale, tant pour le maintien des variétés traditionnelles que pour assurer à la famille une alimentation suffisante jusqu'à la récolte suivante. Les agriculteurs et les communautés rurales du monde entier ont développé un large éventail de méthodes différentes pour stocker la semence, notamment des conteneurs spécialement conçus, l'ajout de substances telles que la bouse de vache, les cendres ou d'autres composés afin de réduire le risque de ravageurs et de maladies, et le maintien dans des environnements spécifiques tels que les chevrons enfumés dans les bâtiments de la ferme (Lewis et Mulvany, 1997; Latournerie Moreno et *al.*, 2006).

Par ailleurs, il existe une distinction importante entre le maintien des semences destinées à être utilisées l'année suivante séparées de celles destinées pour la consommation, et le maintien des deux types de semences ensemble. Même lorsque le maintien séparé est la pratique normale, cela peut ne pas être

possible certaines années où la récolte est mauvaise. Cependant, les agriculteurs parviennent souvent à conserver certaines semences de variétés traditionnelles même dans des conditions de conflit civil ou de famine à la suite d'une catastrophe (Sperling et McGuire, 2010).

Les facteurs sociaux et culturels jouent évidemment un rôle majeur dans la détermination des pratiques de stockage des semences, et se reflètent dans des caractéristiques telles que la connaissance des méthodes de stockage des semences et de celles qui sont utilisées, ainsi que l'identité du membre du foyer responsable du stockage des semences (Latournerie Moreno et *al.*, 2006). Les facteurs environnementaux sont également importants. Le stockage des semences dans des environnements secs est généralement beaucoup plus facile et plus efficace que celui effectué dans des climats tropicaux humides. En fin de compte, la situation économique du foyer peut très bien déterminer si les semences seront disponibles pour la culture de l'année suivante ou si elles doivent être utilisées pendant l'année en cours.

La réduction de la taille de la population suite à une prédation ou à une maladie est susceptible d'être un facteur important affectant la constitution génétique du matériel stocké. La sélection aura également lieu et favorisera, par exemple, la résistance à des maladies ou à des ravageurs spécifiques, ou la survie dans des conditions de stockage spécifiques lorsque celles-ci sont contrôlées génétiquement. Dans toute enquête, il convient d'entreprendre des études sur la qualité des semences après le stockage, en utilisant des échantillons prélevés auprès de différents agriculteurs et sur différentes variétés. Cela fournit une mesure des semences disponibles pour la production et l'existence ou la nature de toute sélection susceptible d'affecter la diversité génétique durant le stockage.

Sélection Pendant la Production de la Culture et la Gestion des Semences

La sélection est la principale force évolutive qui intervient pendant la croissance de la culture et se produit tout au long de la période où la culture est dans le champ, du semis jusqu'à la récolte. Une partie des semences semées ne germeront pas ou n'émergeront pas, ou ne pourront pas survivre jusqu'à la récolte. Certaines des principales caractéristiques de la sélection ont été décrites au chapitre 4. Allard (1999) a défini la sélection comme «tout processus non aléatoire qui fait que des individus ayant des génotypes différents sont représentés de façon inégale dans les générations suivantes». Nous avons constaté que de

nombreux processus et décisions des agriculteurs dans les systèmes agricoles traditionnels ont ou peuvent avoir un impact sur la diversité génétique présente dans la communauté agricole. Lorsque ces processus entraînent un changement dans la composition de la variation héritée, nous parlons de sélection entraînant un changement évolutif. Tous les processus de sélection n'entraînent pas un changement évolutif (par exemple, lorsqu'une population est en équilibre de fréquences d'allèles dans le cadre d'une sélection d'équilibre).

Les individus au sein d'une population et même de différentes populations au sein d'une espèce diffèrent inévitablement dans leur probabilité de survie et dans leur taux de reproduction. Cependant, cette variation au niveau de la reproduction n'a pas nécessairement de conséquence sur l'évolution. Pour provoquer un changement dans la composition génétique de l'espèce, les individus favorisés doivent posséder une différence génétique constante par rapport au reste de la population. Ces individus peuvent être favorisés parce qu'ils sont porteurs d'un certain gène ou d'une combinaison spécifique de gènes, et fournissent, dans le cas des variétés traditionnelles, une utilisation appréciée par l'agriculteur.

La nature du changement évolutif est fortement influencée par le système de reproduction. Chez les espèces allogames, les combinaisons de gènes seront brisées par recombinaison, à moins qu'elles ne soient maintenues ensemble par une liaison chromosomique étroite. Chez les espèces diploïdes autofécondées, la consanguinité ralentit la recombinaison et maintient les combinaisons alléliques bénéfiques ensemble plus longtemps. Cependant, à chaque génération, la consanguinité réduit de moitié toute hétérozygotie qui était présente dans les génotypes favorisés. Lorsque les plantes se reproduisent de façon asexuée à partir de tubercules, de morceaux de tiges ou de graines issues de l'apomixie, l'ensemble du génotype est préservé et la sélection s'opère sur des génotypes entiers parmi différents clones.

Les agriculteurs effectuent une sélection à la fois inconsciente et délibérée à travers leurs diverses pratiques culturales (par exemple, éclaircissage des plantules émergées, le repiquage, l'arrachage des plantes hors-type; Rana *et al.*, 2011; Figure 11.1). Le moment et l'emplacement de ces opérations peuvent favoriser certains génotypes au détriment d'autres. Les agriculteurs peuvent sélectionner des semences dans une partie particulière de leur champ, qu'ils gèrent spécifiquement pour les semences, ou dans laquelle les conditions du sol sont améliorées, ou encore dans laquelle un désherbage extensif est effectué pour une meilleure production de semences.

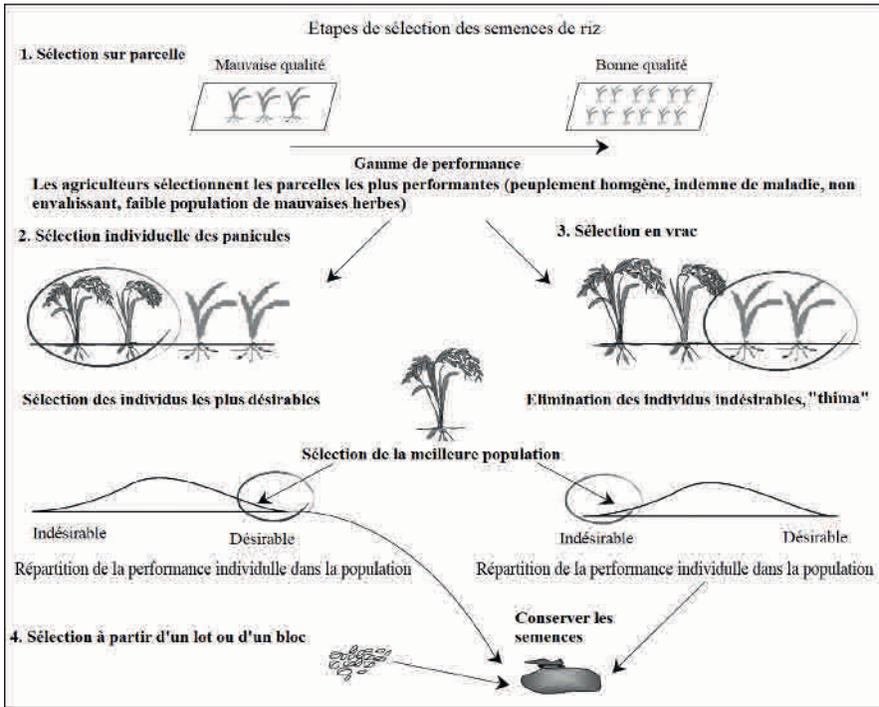


Figure 11.1. Différents moments pour la sélection des semences de riz au Népal (d'après Rana, 2004 dans Hodgkin et al., 2007, avec l'aimable autorisation de Bioversity International)

Dans le cas du maïs, au Mexique, la sélection est souvent effectuée après la récolte, avant le battage, lorsque les épis entiers sont mis de côté pour les cultures futures. Cette approche est également utilisée dans le cas du sorgho ou du millet perlé dans différentes communautés agricoles en Afrique. Gautam et al. (2009) ont signalé que la sélection au champ du matériel végétal de plantation de la génération suivante était une pratique courante au Népal, que ce soit au stade de la culture sur pied ou au stade de la première fructification, quand les agriculteurs sélectionnaient les meilleures plantes ou les meilleurs fruits chez la moutarde brune (*Brassica juncea*), la courge éponge (*Luffa cylindrical* L.) et le concombre (*Cucumis sativus*) pour les semences. Pour d'autres cultures, comme le taro et le haricot, les agriculteurs utilisaient tout le matériel de multiplication qui restait après la consommation. Gautam et ses collègues ont suggéré que les pratiques des agriculteurs étaient en grande partie liées à la biologie reproductive des espèces clés et que les agriculteurs semblaient être plus prudents dans la sélection des semences pour les cultures à pollinisation libre.

La détermination de l'efficacité ou de l'importance de la sélection au cours du processus de récolte implique des expérimentations spécifiquement conçues, qui relient les différentes pratiques agricoles impliquées à la variation agromorphologique et moléculaire sur un certain nombre de saisons et au système de reproduction concerné.

Dans le cas des cultures semencières à pollinisation croisée comme le maïs ou le millet perlé, le flux de gènes peut être important pendant la floraison. La sélection des agriculteurs pendant les phases de production et de récolte peut avoir pour but de contrer le flux et la recombinaison des gènes afin de s'assurer que les caractéristiques préférées de la variété soient conservées. Au Cameroun, Barnaud *et al.*, (2009) ont constaté que la sélection au cours de la production et de la récolte maintenait les caractéristiques variétales malgré que la culture soit à pollinisation croisée et en dépit de la présence de types sauvages et intermédiaires dans et aux alentours des champs des agriculteurs.

Niveaux et Modes de Sélection

La sélection peut intervenir à plusieurs niveaux. Nous venons de souligner qu'elle opère en favorisant des gènes spécifiques. Le processus de sélection intervient également lorsque des états particuliers du caractère sont favorisés (par exemple, la teneur et la qualité du grain, la hauteur de la plante, la maturité de la plante, déterminisme, etc.). Dans ce cas, la question clé est la base génétique des différences entre les individus pour ces caractères. Si le caractère préféré est fortement héritable, les gènes qui codent pour ce caractère augmenteront en fréquence. De la même manière, la sélection peut avoir lieu entre différentes populations d'une espèce ou d'une variété. La sélection effectuée à ce niveau, consistant à préférer une population par rapport à d'autres, signifie que toute différence dans sa composition génétique par rapport à d'autres populations aura une prévalence accrue au sein de l'espèce. Il est possible d'anticiper de telles tendances lorsqu'il existe des sources de semences fortement privilégiées ou des agriculteurs occupant une position centrale dans le réseau de distribution de semences «agriculteurs nodaux» (voir ci-dessous). Un troisième niveau de préoccupation potentielle concerne la sélection parmi les variétés. A ce niveau, une variété entière peut être défavorisée par les agriculteurs, et tous les gènes qui lui sont exclusifs seront perdus.

La théorie de la sélection reconnaît de nombreux modes, notamment la sélection directionnelle, la sélection stabilisatrice, la sélection perturbatrice, la sélection délibérée ou inconsciente, la sélection temporelle et spatiale,

et d'autres décrites au chapitre 4. Typiquement, la sélection agissant sur une population ne se déroule pas comme un mode unique pour un seul caractère; au contraire, plusieurs modes fonctionnent ensemble. Le plus important sera la façon dont la sélection effectuée par les agriculteurs (dite sélection artificielle) interagit avec celle effectuée par l'environnement de la ferme (sélection écologique ou «sélection naturelle»). Les agriculteurs choisissent des plantes à partir de populations ou de différentes sources de semences d'une population, et choisissent en fait différentes variétés sur la base de la capacité perçue ou connue de ces variétés à faire face aux défis environnementaux et à être productives—leur adaptation à l'environnement de la ferme.

Dans la mesure où (1) le choix de l'agriculteur se reflète bien dans les variantes génétiques de cette situation, et (2) les caractéristiques environnementales de cette ferme sont relativement stables, de sorte que la productivité se maintient, la fréquence des gènes des plantes sélectionnées augmentera également. De cette façon, la sélection «artificielle» et la sélection naturelle se renforcent mutuellement. Une variété qui est choisie pour une tolérance connue ou un but précis, et qui donne effectivement les résultats escomptés, sera bénéfique pour l'agriculteur et pour l'avenir de l'évolution des gènes qu'elle porte. Un exemple classique est les gènes de domestication (comme l'absence d'égrenage chez les céréales) qui confèrent un avantage à l'agriculteur en termes de rétention des semences pour la récolte, et donc une fréquence accrue dans les semences sélectionnées pour le semis, qu'il s'agisse d'une sélection délibérée ou bien inconsciente par les agriculteurs.

L'agriculture traditionnelle est pratiquée dans des communautés qui sont structurées à des degrés divers selon le lien de parenté, le lieu ou les circonstances. Les membres de la communauté partagent la semence, la connaissance et la diversité écologique, également à divers degrés. Il en résulte une mosaïque de prises de décision—une situation «multi-niches». Nous nous attendons à ce qu'un tel modèle préserve la diversité dans une plus large mesure que si les coutumes, les réglementations, les marchés, les utilisations et les environnements étaient uniformes et appliqués. Il est donc d'autant plus important de documenter la diversité des critères de sélection des agriculteurs et d'accepter que, dans la plupart des systèmes agricoles traditionnels, un seul génotype ne convienne pas à tous les agriculteurs, à toutes les situations de production ou à toutes les utilisations.

Etude de la Sélection dans les Systèmes Agricole

Bien que les différentes méthodes participatives et une description de l'importance des facteurs environnementaux, sociaux et économiques puissent fournir des indications sur l'importance relative des différentes forces sélectives dans le maintien ou la modification de la diversité des variétés traditionnelles, des recherches spécifiquement planifiées seront probablement nécessaires pour évaluer l'importance des différents types de sélection ou d'autres processus évolutifs qui déterminent la diversité observée, l'importance relative des différentes forces sélectives qui agissent, ainsi que les stades de la production agricole auxquels la sélection est la plus importante. Ces recherches devront inclure une description adéquate des processus de maintien de la variété pour un ensemble sélectionné de variétés ainsi que des données agromorphologiques et moléculaires collectées de manière à permettre de distinguer et d'étudier les effets des différentes forces évolutives. L'encadré 11.1 présente deux exemples de recherches dans lesquelles les effets de la sélection sur la diversité ont été étudiés de manière assez détaillée.

Modèles d'Approvisionnement en Semences: «Système de Semences»

L'analyse des systèmes de semences et des réseaux d'échange de semences apporte une contribution essentielle à la compréhension des facteurs qui contribuent ou limitent le maintien de la diversité. Idéalement, l'analyse implique la compréhension (1) des identités et des quantités des différentes variétés de différentes cultures maintenues par les agriculteurs individuels et des proportions de semences conservées par rapport aux semences échangées, et (2) de la nature et de l'étendue des relations d'échange entre les agriculteurs ou les communautés et de la manière dont ces relations fonctionnent pour les différentes cultures ou variétés.

Hodgkin et *al.* (2007) ont analysé en détail les systèmes de semences de plantes cultivées et, plus récemment, Pautasso et *al.* (2013) ont analysé les réseaux d'échange de semences. Les chapitres précédents, notamment le chapitre 8, ont décrit certaines des caractéristiques des systèmes d'approvisionnement en semences qui sont importantes pour les variétés traditionnelles. Hodgkin et *al.* ont discuté la manière dont différentes caractéristiques des systèmes de semences ont contribué au flux de gènes, à la migration, à la sélection et à la recombinaison et ont souligné l'importance de maintenir des niveaux élevés de diversité dans les

Encadré 11.1. Analyses de la Sélection de l'Orge en Sardaigne et du Millet Perlé au Niger

A. Structure génétique des variétés traditionnelles d'orge en Sardaigne

Les déséquilibres de liaison (LD) digénique multilocus et leur structure de population ont été étudiés chez 11 populations de pays d'orge (*Hordeum vulgare*) en Sardaigne, en utilisant 134 marqueurs dominants du polymorphisme d'amplification de séquence simple. L'analyse moléculaire de la variance pour ces marqueurs a indiqué que les populations ont été partiellement différenciées ($G_{ST} = 0,18$) et regroupées en trois zones géographiques. La séparation des associations multilocus en diverses composantes a indiqué que la dérive génétique et les effets fondateurs ont joué un rôle majeur dans la détermination de la composition génétique globale de la diversité de ces populations de pays, mais que l'homogénéisation ou la diversification épistatique de la sélection était également présente. Les analyses de la structure multilocus de ces populations de pays d'orge ont montré que leur structure génétique différait de celle issue de croisements composites et de celle des populations naturelles d'orge sauvage (Rodriguez et al., 2012).

A. Sélection du millet perlé pour la floraison précoce au Niger

Des échantillons de millet perlé ont été collectés en 2003 dans 79 villages de différentes zones de production du pays et comparés avec les échantillons collectés en 1976 en ce qui concerne les noms de variétés, les traits morphologiques et les marqueurs moléculaires. Malgré les importantes pressions socio-économiques et climatiques qui se sont exercées pendant une période de plus de 25 ans, aucune preuve de perte de diversité n'a été observée dans le pays. En fait, le nombre de noms de variétés a considérablement augmenté et des quantités similaires de diversité agromorphologique et génétique ont été détectées. Un changement majeur a eu lieu dans la fréquence des gènes associés à une floraison plus précoce. Il a été suggéré que cela reflétait un stress climatique croissant dans la région. En comparaison avec les échantillons de 1976, ceux collectés en 2003 ont montré un cycle de vie plus court et une réduction dans la taille des plantes et des épis. Un allèle associé à la floraison précoce du locus PHYC a augmenté en fréquence entre 1976 et 2003. Cette augmentation a dépassé l'effet de la dérive et de l'échantillonnage, suggérant ainsi un effet direct de la sélection pour la précocité sur ce gène. Les auteurs ont conclu que la sécheresse récurrente a conduit à une sélection pour une floraison plus précoce dans cette importante culture sahélienne (Bezançon et al., 2009; Vigouroux et al., 2011b).

systemes de semences tout en assurant l'existence de variétés spécifiques pour répondre aux besoins des agriculteurs. Dans leur étude, Thomas et al. (2011) ont souligné les liens entre les facteurs sociaux et culturels et les caractéristiques génétiques des systemes de semences, et l'influence que ces liens ont eue sur le maintien des variétés traditionnelles des cultures. Pautasso et al. (2013) ont préconisé l'utilisation d'une série d'approches différentes pour l'analyse des systemes de semences. Celles-ci comprennent des études ethnographiques et descriptives, un travail participatif avec les agriculteurs, des analyses biogéographiques, des études expérimentales (libération des semences), l'étude des corrélations et des méta-analyses. Toutes ces approches, combinées à des études génétiques appropriées et à des informations provenant de sources

environnementales, écologiques, sociales, économiques et culturelles, peuvent permettre de révéler la manière dont le système de semences contribue aux modèles observés de diversité des cultures, des variétés et des gènes.

Alors que les variétés modernes sont généralement achetées auprès de sources spécialisées (entreprises semencières, fournisseurs gouvernementaux ou fournisseurs privés locaux), les variétés traditionnelles sont généralement maintenues d'année en année par les agriculteurs qui les cultivent, ou sont obtenues sur les marchés locaux. Les fournisseurs commerciaux de semences et les sources gouvernementales sont souvent désignés «système formel de semences», tandis que le maintien des semences par les agriculteurs et les échanges qui ont lieu entre les agriculteurs individuels ou qui impliquent les marchés locaux sont décrits comme le «système informel de semences». Comme l'illustre la figure 11.2, les deux systèmes ne sont pas entièrement séparés. De nombreux agriculteurs conservent et échangent des semences de variétés issues du système formel en tant que nouvelles variétés améliorées qui, avec le temps, se créolisent (sensu Bellon et Risopoulos, 2001). De même, les variétés traditionnelles populaires sont souvent vendues par les fournisseurs commerciaux de semences sur les marchés locaux ou de district.

Les réseaux d'échange de semences jouent un rôle central dans le maintien des variétés traditionnelles. Ils permettent aux agriculteurs d'atteindre leur objectif consistant à disposer de suffisamment de semences de leurs variétés préférées au bon moment (Weltzien et vom Brocke, 2001), leur permettent d'accéder aux semences de variétés qu'ils auraient perdues et leur permettent également d'obtenir de nouvelles variétés adaptées à l'évolution des conditions ou des besoins. Les réseaux d'échange de semences contribuent également au flux et à la migration des gènes, exposent les variétés à de nouveaux environnements de production et s'opposent, au moins dans une certaine mesure, au développement de sous-populations propres aux agriculteurs individuels.

L'analyse de réseau permet d'explorer la nature et la dynamique du maintien des variétés par les agriculteurs et les communautés. Un réseau de semences peut être considéré comme l'ensemble des opérations qui assurent le maintien et la disponibilité continue des variétés traditionnelles dans une région. Il comprend à la fois le maintien de variétés par les agriculteurs qui conservent leurs propres semences, ainsi que les transferts de semences par l'échange, la vente et l'achat, et les cadeaux ou le troc. Si l'échange ou le troc se fait normalement entre agriculteurs, la vente et l'achat peuvent également se faire sur les marchés locaux. Dans de nombreuses communautés, les dons de semences constituent une part importante de la culture locale et font souvent partie de mariages ou d'autres événements importants.

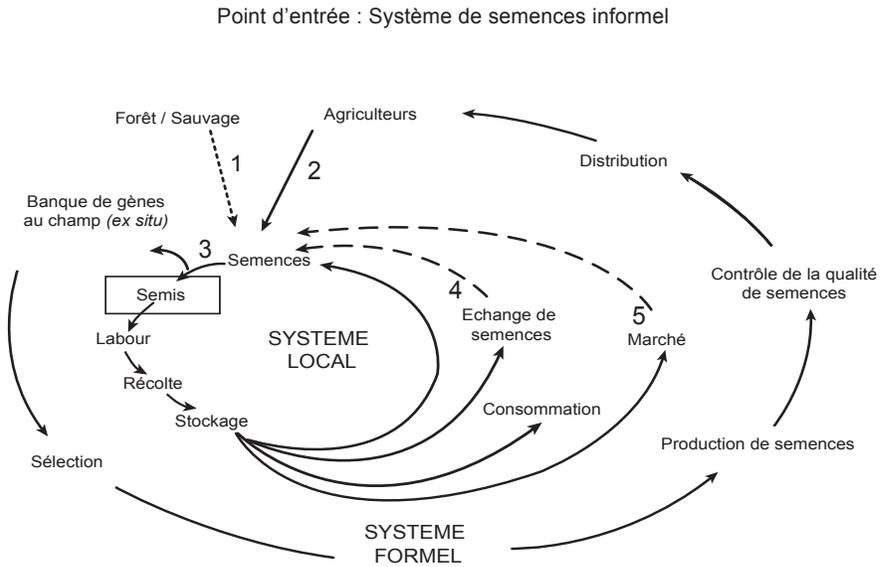


Figure 11.2. Systèmes local et formel d'approvisionnement des agriculteurs en semences: deux systèmes fonctionnant en parallèle avec relativement peu d'interaction (modifié par Almekinders et de Boef 2000, Encourager la diversité: La Conservation et le Développement des Ressources Phytogénétiques, avec l'autorisation de Practical Action Publishing)

L'étendue géographique des réseaux d'échange de semences peut être grande, dépendant de facteurs tels que l'hétérogénéité de l'environnement, l'adaptabilité des différentes variétés et le degré de communication entre les communautés. Sur de vastes zones, les facteurs biogéographiques ou environnementaux peuvent être plus importants, tandis qu'au niveau local, les aspects sociaux et culturels peuvent jouer le rôle le plus important. Dans la pratique, la plupart de l'échange de semences se fait au sein des communautés ou entre communautés voisines sur des distances inférieures à 10 km (Chambers et Brush, 2010). Toutefois, l'échange peut se faire sur des zones beaucoup plus vastes. Au Pérou, les variétés de pommes de terre sont transférées entre différentes altitudes dans le cadre des pratiques traditionnelles de production et de gestion (Zimmerer, 1996). Valdivia (2005) a rapporté que des tubercules de semence de la variété Oca Isleño ont été transférés entre des micro-centres de diversité au Pérou et en Bolivie et que la variété a été vendue sur des marchés distants de plus de 800 km.

Étant donné que la quantité d'informations qui doit être obtenue dans une analyse des systèmes de semences peut être importante, il est probable que ces

informations ne soient collectées que sur un sous-ensemble de la diversité totale des cultures dans une communauté donnée. Ainsi, il sera nécessaire d'adopter une stratégie d'échantillonnage appropriée axée sur le lieu où le système de semences semble être un facteur clé dans la détermination des modèles de variation observés. La stratégie d'échantillonnage doit être conçue pour tester ou confirmer les résultats des entretiens et des discussions de groupe décrits dans les chapitres précédents. Des analyses génétiques de différents échantillons de semences seront nécessaires pour étudier l'importance relative des différentes forces évolutives. Les paragraphes suivants résument certaines des principales considérations.

Les pratiques de maintien et d'échange des semences diffèrent nettement d'une culture à l'autre. L'importance de la culture au regard des moyens de subsistance et de la sécurité alimentaire de l'agriculteur constitue une considération essentielle. Des systèmes de semences plus développés et plus complexes semblent être associés, dans une plus large mesure, aux cultures de base qu'aux cultures mineures, que l'agriculteur peut se permettre d'exclure de ses plans de production pendant une saison si les semences ne sont pas disponibles. Le système de reproduction et le mode de propagation constituent également des considérations importantes, étant donné que les cultures à pollinisation croisée nécessitent une sélection continue beaucoup plus délibérée pour maintenir leurs caractéristiques que les cultures autopollinisées ou clonées. Il convient donc de se demander si les réseaux de semences des cultures à pollinisation croisée sont associés à des sources d'approvisionnement moins nombreuses mais plus fiables (par exemple, les agriculteurs nodaux), tandis que ceux des cultures autopollinisées sont associés à un plus grand nombre d'échanges individuels. La quantité de semences nécessaire constituera également une variable importante, reflétant à la fois les caractéristiques de production des semences des cultures (nombre de semences par fruit) et la superficie qui sera consacrée à la culture. Les caractéristiques socioculturelles seront également déterminantes. Chez certaines cultures, des variétés spécifiques sont offertes comme cadeaux lors d'occasions importantes (telles que les fêtes de mariage) et ne peuvent pas être obtenues de manière régulière auprès d'une source appropriée.

Les caractéristiques de tout réseau sont généralement établies par l'analyse des quantités d'échange au sein d'une communauté, la fréquence relative de l'échange en comparaison avec l'utilisation de la semence conservée et les sources de semences utilisées par les agriculteurs quand ces semences doivent être obtenues. Dans de nombreuses situations, les membres de la famille

constituent les sources préférées, suivis des voisins, des autres membres de la famille et des marchés locaux. Les données sur les quantités échangées pour différentes variétés peuvent être complétées en suivant les schémas d'échange retraçant les sources de semences utilisées par un échantillon d'agriculteurs d'une communauté. Une telle analyse permet d'avoir une vue d'ensemble du réseau et de déterminer l'importance relative des différents fournisseurs et de savoir dans quelle mesure le système est constitué d'un seul réseau complexe ou d'un ensemble fragmenté de différents réseaux (Subedi et *al.*, 2003). Il est évident que toute enquête devra tenir compte des problèmes liés à l'identification et à la dénomination des variétés, comme abordé au chapitre 5, en particulier lorsque les agriculteurs ont tendance à renommer des variétés qu'ils ont obtenues d'ailleurs.

Si au cours d'une année donnée, la proportion de semences échangées peut être assez faible et ne concerner qu'un petit groupe d'agriculteurs, au fil du temps, un nombre important d'agriculteurs se retrouveront tôt ou tard impliqués dans des échanges de certaines de leurs variétés. Ainsi, Baniya et *al.* (2003) ont constaté que même si 90 % des agriculteurs conservaient leurs propres semences d'éleusine au cours d'une année donnée, environ 80 % d'entre eux changeaient leurs semences à un moment donné, le plus souvent après une moyenne d'environ trois ans. Au fil du temps et même avec un échange assez limité, il a été constaté que les variétés se répandaient largement par le biais du réseau informel. Quinze ans après son introduction auprès d'un seul agriculteur, une nouvelle variété de riz a été trouvée cultivée par environ 73 % des agriculteurs dans l'ouest du Ghana (Marfo et *al.*, 2008).

Dans certains cas, les techniques statistiques classiques telles que la régression multiple (voir chapitre 9) ou l'ordination (voir chapitre 6) peuvent être utiles pour élucider les corrélations entre les systèmes de semences et d'autres facteurs. Cependant, les données des systèmes de semences peuvent souvent être imprécises, ou les familles peuvent n'avoir que partiellement la propriété d'un type particulier de source de semences ou de système d'échange de semences. La «logique floue» est une méthode d'analyse organisée pour traiter des ensembles de données imprécis (comme le pourcentage de la source de semences) qui permet une propriété partielle et dans laquelle les groupes partiels ou imprécis sont appelés «ensembles flous» (Baldwin, 1981). Cette méthode traite des données qui peuvent ne pas appartenir entièrement à un groupe ou à un autre. Les pourcentages d'appartenance peuvent varier entre les groupes, allant de l'appartenance totale (par exemple, utiliser toujours sa propre semence) en passant par l'appartenance partielle (par exemple, n'utiliser

sa propre semence que dans 30 % des cas), jusqu'à l'absence d'appartenance (par exemple, ne jamais utiliser sa propre semence).

L'analyse des systèmes de semences dans une communauté, doit être effectuée sur un certain nombre d'années dans la mesure du possible. Au cours d'une bonne année, les agriculteurs sont moins susceptibles d'échanger des semences, alors que lors des mauvaises années, lorsque les rendements sont faibles, les agriculteurs peuvent devoir dépendre considérablement de nouvelles sources d'approvisionnement. Si l'ensemble de la communauté a connu une année difficile, elle devra avoir recours aux marchés locaux ou chercher des semences auprès d'autres communautés (Figure 11.3). Il ressort du travail effectué au Maroc que les agriculteurs ont tendance à utiliser les mêmes variétés dans les bonnes ou les mauvaises années; seule la source des variétés change pour passer de l'utilisation de sa propre variété à l'utilisation de semences issues du marché (Sadiki *et al.*, 2007). Dans certaines communautés, certains agriculteurs peuvent constituer une source commune de semences de différentes variétés (Subedi *et al.*, 2003). Ces agriculteurs ont été identifiés en tant qu'agriculteurs nodaux (voir également le chapitre 8), et ils peuvent eux aussi changer d'une année à l'autre. Ces deux phénomènes auront un effet sur les modèles de diversité génétique observés.

Le fonctionnement du réseau de semences, l'équilibre entre le maintien de semences par les agriculteurs individuels et l'échange, les schémas d'échange et les variations observées d'une année à l'autre constituent clairement des facteurs déterminants des caractéristiques observées en matière de maintien des variétés ainsi que de l'étendue et de la distribution de la diversité génétique. Ils affectent de différentes manières la migration, le flux de gènes, la sélection et la taille de la population.

Lorsque les agriculteurs conservent leurs propres semences d'une année à l'autre, des sous-populations d'une variété auront tendance à s'établir, avec des caractéristiques qui dépendent de la façon dont chaque agriculteur gère son matériel, des caractéristiques spécifiques qu'il privilégie et de la nature de sa terre. L'échange de semences est une forme de migration d'une population vers un autre site. Lorsque les agriculteurs nodaux constituent des sources importantes, une même population aura tendance à se développer dans une gamme de sites différents, de sorte que la migration s'accompagnera d'un processus d'homogénéisation. Si le remplacement n'est pas complet—c'est-à-dire si les agriculteurs obtiennent de nouvelles semences et les mélangent avec leurs propres semences—un flux de gènes pourrait

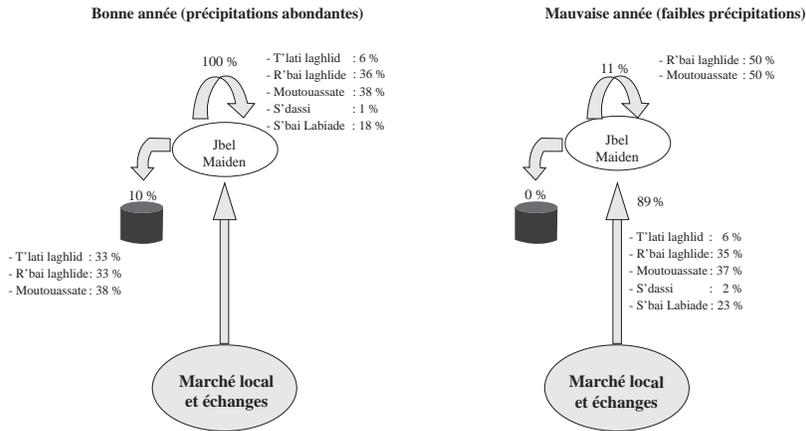


Figure 11.3. Modèles contrastés de flux de semences de différentes variétés de fève dans un village marocain au cours d'une bonne et d'une mauvaise année (adapté de Sadiki et *al.*, 2005, avec la permission de l'IPGRI)

bien se produire à la suite d'un intercroisement au cours de l'année suivante. Cela s'accompagnera d'une recombinaison, de la création de nouvelles combinaisons de gènes et de nouveaux génotypes à partir desquels les agriculteurs pourront sélectionner leurs types préférés. De même, lors des années difficiles, au cours desquelles la majorité des agriculteurs d'une communauté doivent se procurer la semence sur les marchés locaux, une population variétale uniforme sera créée, à partir de laquelle, après plusieurs années, de nouvelles sous-populations pourront s'établir grâce à la sélection effectuée par l'agriculteur.

La discussion ci-dessus concerne surtout les variétés de cultures qui sont largement distribuées dans une région donnée. Comme indiqué dans les chapitres précédents, de nombreuses variétés (souvent plus de 50 %) sont maintenues par un ou deux agriculteurs seulement sur de petites surfaces. L'importance de l'échange de semences pour ces variétés reste probablement faible, mais les études sur l'échange de variétés n'ont généralement pas fait beaucoup de distinction entre les variétés largement cultivées et celles qui sont rares.

Les variétés maintenues comme sous-populations et occasionnellement échangées entre agriculteurs peuvent être considérées comme des métapopulations, c'est-à-dire un groupe de populations de la même variété séparées dans l'espace et qui interagissent à un certain niveau (voir, par exemple, Slatkin, 1977). Il existe un intérêt croissant pour l'utilisation des approches de métapopulation pour analyser les modèles de distribution de la diversité

génétique chez les variétés de plantes cultivées. Les tendances continues d'extinction locale suivie par de nouvelles introductions semblent indiquer que les approches de métapopulation peuvent être particulièrement pertinentes. Cependant, comme le notent van Heerwarden *et al.* (2010), peu de données sont disponibles pour adapter les approches de métapopulation aux réalités de la gestion de la diversité des cultures par les agriculteurs. Ils suggèrent que les études devraient faire la distinction entre le remplacement, la quantité et la fréquence de migration. Les cultures à pollinisation croisée, devraient inclure des études explicites sur le flux de pollen et ses effets.

Dimensions Sociales, Spatiales et Temporelles des Variétés Traditionnelles et de l'Agroécosystème

La diversité trouvée au sein et entre les variétés d'une culture est influencée par les dimensions spatiales et temporelles ainsi que par les décisions prises par la communauté et par les agriculteurs individuellement. Dans cette section, certains aspects de ces larges perspectives élargies sont examinés et certaines approches de leur analyse sont proposées.

Dimensions Sociales

Un certain nombre de décisions qui affectent le maintien de la diversité ne sont pas prises seulement par des agriculteurs individuellement, mais par la communauté dans son ensemble. Ces décisions comprennent celles qui affectent la gestion d'une ressource à laquelle l'ensemble de la communauté doit avoir accès et où une action collective peut être impliquée (voir chapitre 8). Dans les zones de riziculture, il s'agit souvent de décisions qui concernent ou reflètent la gestion des ressources en eau. Ainsi, dans les régions du Sri Lanka où l'eau provient de lacs artificiels (appelés petits réservoirs), la superficie de terre utilisée pour la production de riz est déterminée par des processus sociaux établis, qui tiennent compte de la disponibilité prévue de l'eau pour la prochaine saison de culture (Shah *et al.*, 2013). Cela peut alors, à son tour, affecter l'attribution des terres pour les cultures. D'autres exemples d'activités collectives pouvant influencer sur les décisions individuelles des agriculteurs, comprennent l'attribution des terres dans le cadre de régimes de culture itinérante, l'accès aux forêts pour les produits forestiers naturels qui peuvent compléter les moyens de subsistance, et la gestion de l'eau (par exemple, Swallow *et al.*, 2001). Ces activités peuvent à leur tour influencer la disponibilité de la terre et de la main-d'œuvre et, de ce fait, affecter les cultures et les variétés cultivées.

Dimensions Spatiales

Une appréciation et une compréhension complètes des schémas de distribution de la diversité génétique des cultures impliquent souvent une appréciation des dimensions du paysage—c'est-à-dire, d'une zone plus large que celle délimitée par une communauté ou un village spécifique (McNeely et Scherr, 2002). Les paysages peuvent être considérés comme des zones qui partagent un certain nombre de caractéristiques communes et qui sont plus vastes que des villages ou des communautés uniques. Ils peuvent être associés à des bassins versants ou à d'autres caractéristiques géographiques à grande échelle. La caractéristique importante d'une approche paysagère consiste en la reconnaissance de l'intérêt d'explorer des échelles spatiales plus vastes que la ferme ou le village.

Les paysages sont généralement des mosaïques de différentes caractéristiques et pratiques d'utilisation des terres. Ils peuvent comprendre différents types de production à différentes altitudes ou dans différentes zones. Les paysages sont susceptibles de présenter une plus grande variation que celle trouvée dans un village ou une communauté unique en ce qui concerne la disponibilité en l'eau, les types de sol et d'autres aspects physiques tels que la pente et l'altitude. Ainsi, ils peuvent contenir une plus grande diversité de variétés adaptées aux différentes conditions. Ils comprennent également des zones de production spécialisées telles que les jardins familiaux (bien qu'ils soient également importants à l'échelle du village et de la ferme) et des zones de forêts, de terres non productives, de corridors riverains, de routes et de sentiers. Ces zones constituent des environnements dans lesquels une biodiversité différente peut coexister avec des variétés traditionnelles et où des services écosystémiques importants sont fournis tels que la pollinisation, les hôtes alternatifs pour les ravageurs et les maladies, les mauvaises herbes et les plantes sauvages apparentées aux cultures, etc.

La variabilité accrue des caractéristiques environnementales qui caractérise un paysage par rapport à une ferme ou à une communauté peut très bien être accompagnée d'une variation plus importante d'une série de variables socioéconomiques telles que l'ethnicité et le niveau de revenu ainsi que des cultures et des variétés cultivées. Un bon exemple se trouve chez les différentes cultures et des variétés qui sont associées à l'altitude dans les paysages des Andes (Brush, 2000). Ce ne sont pas seulement des cultures spécifiques qui sont cultivées à différentes altitudes, mais les variétés changent également. Ceci est en contraste avec la situation décrite pour le maïs au Yucatán, où la diversité

observée dans un même village était caractéristique de l'ensemble de la région (Chapitre 5). Par nécessité, les analyses à l'échelle du paysage sont susceptibles d'impliquer un niveau de détail différent de celui des analyses effectuées à l'échelle de communautés ou de fermes spécifiques. Il est donc nécessaire de réfléchir attentivement aux informations qui pourraient être pertinentes et à la manière de les collecter. Cependant, avec des techniques d'échantillonnage stratifié appropriées, les études au niveau du paysage peuvent mettre en évidence des modèles et des tendances qui peuvent ne pas être visibles à des niveaux plus locaux, comme l'illustrent Zimmerer (2003a) pour la pomme de terre et l'ulluco dans les Andes, Bezançon et *al.* (2009) pour le sorgho et le millet perlé au Niger et le maïs au Chiapas, au Mexique (Brush et Perales, 2007).

À l'échelle du paysage, les processus évolutifs les plus importants sont probablement la sélection, le flux de gènes et la migration. La détection de la sélection peut devenir plus complexe car les différents agriculteurs des différentes communautés visent des objectifs différents et font face à des conditions très variables. Le flux et la migration des gènes peuvent se refléter dans les processus de mélange lorsque les communautés partagent le matériel sur les marchés ou dans d'autres parties des systèmes de semences. Un flux de gènes résultant de la pollinisation croisée peut également se produire, mais il s'agira probablement d'une caractéristique plus locale que paysagère.

Les perspectives d'échelle sont également importantes pour explorer les modèles de diversité dans différents types de systèmes de production. Les jardins familiaux qui entourent la propriété familiale et la culture itinérante constituent deux exemples contrastés d'échelle. Les jardins familiaux sont une caractéristique importante de nombreux systèmes de production dans lesquels une grande diversité (en termes d'espèces et de variétés) est souvent maintenue (Eyzaguirre et Linares, 2004). Ce sont des agroécosystèmes complexes à plusieurs niveaux qui combinent des espèces d'arbres, d'arbustes et de sous-bois comme les légumes, les herbes et les plantes médicinales dans une seule petite zone. Dans de nombreuses sociétés, les femmes jouent un rôle important dans la gestion du jardin familial. Les cultures pratiquées dans les jardins familiaux sont souvent caractérisées par des populations de petites tailles en comparaison avec celles des champs arables. Seules quelques plantes peuvent être cultivées pour une culture particulière. La succession est également importante, et la terre disponible est toujours utilisée pour une culture ou une autre. Les jardins familiaux sont souvent caractérisés par un nombre assez restreint de variétés pour une culture donnée dans un jardin familial spécifique, mais ils présentent

une richesse en espèces extrêmement élevée (Galluzzi et *al.*, 2010) Bien que les tailles des populations puissent être très réduites et que les variétés soient probablement sujettes à une dérive génétique, la diversité globale d'une culture dans un groupe de jardins familiaux peut être élevée.

À une échelle contrastée, la culture itinérante fournit un autre système de production riche en diversité végétale et en diversité génétique, avec des pratiques de gestion complexes comme celles présentées au chapitre 6. Bien que parfois considérée comme «historiquement obsolète», il est estimé que des millions d'agriculteurs dans le monde utilisent une sorte de culture itinérante pour satisfaire au moins une partie de leurs besoins de production (Cairns et Garrity, 1999). Les pratiques de culture itinérante peuvent impliquer simplement l'utilisation occasionnelle de terres adjacentes aux zones de production (souvent en bordure des forêts) pour des cultures spécifiques. Au Sri Lanka, il s'agit souvent de cultures à croissance rapide qui peuvent être facilement commercialisées pour fournir une source de revenus à la famille. À l'autre extrême, en particulier dans certaines régions d'Asie, comme le nord-est de l'Inde ou le nord de la Thaïlande, les systèmes sont très développés et soigneusement gérés. Il est probable que la culture itinérante réduit la probabilité de sélection pour des environnements de production spécifiques, car les terres utilisées changent constamment. D'autre part, elle favorise les variétés qui réussissent avec un minimum d'intrants et qui concurrencent bien les autres espèces dans les terres récemment défrichées. La répartition des terres est souvent faite plus ou moins collectivement ou sous la direction du chef local, ce qui pourrait également favoriser des variétés largement adaptées et réduire la probabilité que certaines sous-populations spécifiques ayant des caractéristiques bien définies émergent.

Dimensions Temporelles

Tout comme la composition génétique des populations végétales qui change et évolue constamment, l'environnement agricole est également en constante évolution. De nombreux aspects de l'environnement diffèrent d'une saison à l'autre. La population de l'agent pathogène de l'année suivante sera composée de différents pathotypes à des fréquences modifiées, ou il y aura un changement marqué dans la prévalence des organismes nuisibles. Le niveau de fertilité, de salinité ou d'acidité du sol peut varier, tout comme les variables climatiques telles que les précipitations et la température. Cette variation combine les effets des changements directs (par exemple, le réchauffement climatique) et des changements cycliques (tels que les saisons el niño et la

niña) avec des fluctuations aléatoires. Les populations végétales s'adaptent aux conditions changeantes soit grâce à la diversité génétique (certains génotypes ayant une adaptation spéciale), soit grâce à la flexibilité génotypique (certains génotypes ou variétés ayant la capacité de persister et de produire malgré le changement d'environnement).

Les facteurs sociaux et économiques contribuent également à créer des situations changeantes pour les agriculteurs. Certains de ces facteurs entraîneront des fluctuations annuelles ou cycliques qui auront tendance à favoriser la flexibilité génotypique. Labeyrie et *al.* (2014) ont récemment analysé l'interaction entre les caractéristiques sociales, environnementales et génétiques, illustrant qu'il est important de combiner les analyses socioéconomiques et culturelles avec les études environnementales et génétiques. D'autres changements, tels que la réduction de la disponibilité de la main-d'œuvre ou le déclin des connaissances associées à la gestion des variétés traditionnelles, auront un effet de nature plus permanente et pourraient bien être associés à un changement de caractéristiques des variétés, comme l'adaptation à un nombre réduit d'interventions des agriculteurs.

Les variétés traditionnelles sont dynamiques et changent avec le temps en raison des effets de la sélection, du flux génétique et d'autres forces évolutives. La compréhension de la nature dynamique de ces variétés implique des études conçues pour être menées sur des périodes plus ou moins longues. Le changement peut se produire à la fois au sein des variétés et par le remplacement d'une variété par une autre. Ces changements comportent à la fois des aspects à court et à long terme. À court terme, les variations annuelles, par exemple en ce qui concerne les conditions météorologiques, la disponibilité de la main-d'œuvre ou du matériel végétal et/ou la demande du marché, modifieront les cultures et les variétés cultivées ainsi que l'étendue et la distribution de la diversité génétique au sein et entre les variétés dans une région donnée.

Les changements à court terme dans les systèmes de semences ont été décrits ci-dessus pour la fève au Maroc et ont clairement influencé les variétés disponibles pour l'année suivante et leur constitution génétique. Pendant certaines années, les agriculteurs pouvaient utiliser leurs propres semences, tandis que pendant d'autres années, ils dépendaient des marchés locaux pour les obtenir. L'utilisation continue des semences conservées par les agriculteurs à titre individuel pendant un certain nombre d'années est susceptible de conduire à la création de sous-populations, chacune ayant ses propres caractéristiques. En revanche, l'utilisation de semences provenant des marchés locaux est susceptible

d'entraîner une large distribution d'une seule population. Ceci est, à certains égards, analogue au phénomène d'extinction et de remplacement qui est important pour la compréhension des métapopulations. Le processus de domestication continue de l'igname en Afrique de l'Ouest, du manioc en Amérique du Sud et de la patate douce en Indonésie, illustre d'autres exemples de changement rapide dans la diversité disponible ou utilisée dans tout système agricole (par exemple, Scarcelli *et al.*, 2006a).

Comme les conditions de production changent, les exigences des agriculteurs changent aussi. Par exemple, l'évolution de la demande du marché amènera les agriculteurs à réagir en choisissant des variétés ou en sélectionnant au sein des variétés les traits requis par le marché. De nouvelles opportunités de marché peuvent conduire au développement de variétés qui répondent à ces opportunités. La diminution de la disponibilité de la main-d'œuvre rurale favorise une utilisation croissante de variétés moins exigeantes en termes de main-d'œuvre. Le changement climatique entraîne également un changement dans la diversité au sein et entre les variétés de toute culture. L'augmentation des températures et la baisse des précipitations au Sahel sont considérées comme responsables de la popularité croissante des variétés à maturation précoce et de l'augmentation des gènes associés à une floraison plus précoce, des épis plus courts et des plantes plus petites (Vigouroux *et al.*, 2011b).

De nouvelles variétés développées dans le cadre de programmes formels de sélection continuent d'être introduites et adoptées dans les systèmes agricoles traditionnels. Il est généralement considéré que ces variétés entraînent une érosion génétique importante avec une perte de variétés traditionnelles. Toutefois, cela ne semble pas toujours être le cas.

Bien que les études sur les changements à long terme des modèles de diversité génétique soient limitées, elles ont été menées pour le millet perlé et le sorgho. Comme pour le millet perlé au Niger (voir encadré 11.1), aucune perte de diversité à long terme n'a été détectée pour le sorgho au Niger (Deu *et al.*, 2010), en Ethiopie (Mekbib, 2008) et en Guinée maritime (Barry *et al.*, 2008). Deu *et al.* (2010) ont utilisé 28 marqueurs microsatellites et ont appliqué des méthodes de regroupement spatial et génétique aux collections de 1976 et de 2003. La richesse allélique a augmenté à la fois dans les régions et dans les zones climatiques au cours de cette période. Les auteurs ont supposé qu'une diminution de l'hétérozygotie au cours de cette période résultait d'un meilleur contrôle de la pureté des variétés et d'une plus grande attention portée à la production de semences par les agriculteurs au cours de cette période.

Les résultats montrent l'intérêt de telles études et suggèrent qu'elles devraient être étendues à un ensemble beaucoup plus large de cultures dans différentes situations. Évidemment, cela peut être difficile à prévoir, mais cela montre l'intérêt de planifier toute étude spécifique de manière à ce que les analyses futures puissent fournir des informations supplémentaires sur le changement. Le stockage à long terme des échantillons de semences ainsi que des procédures d'échantillonnage robustes et bien documentées de même que l'utilisation du GPS constituent tous des aspects importants dans tout programme de recherche, qui permettront aux études futures de fournir des informations sur les tendances temporelles. Grâce à l'augmentation des possibilités d'utilisation du séquençage de l'ADN, de nombreuses informations seront disponibles sur les changements qui se produisent entre et au sein des variétés, et il sera peut-être possible de retracer les origines des variétés et les relations entre elles. Une récente étude de simulation (De Mita *et al.*, 2013) comparant différentes approches de détection des signatures de sélection fournit les lignes directrices suivantes:

- Les méthodes basées sur la différenciation (celles basées sur l'analyse de G_{ST}) ont des taux de faux positifs plus faibles que les méthodes basées sur la corrélation.
- Il est préférable d'échantillonner quelques individus dans de nombreuses populations plutôt que de nombreux individus dans quelques populations.
- Les modèles et les méthodes les plus appropriés utilisés dépendent des hypothèses formulées et diffèrent selon qu'il s'agisse d'autogamie ou d'allogamie et selon qu'il s'agisse d'un modèle insulaire ou en gradins.

Conclusions

Ce chapitre a mis l'accent sur la façon dont les caractéristiques environnementales, sociales et économiques d'un système agricole, ainsi que de la communauté et des agriculteurs qui le gèrent, influencent les forces évolutives qui déterminent la diversité présente dans le système. L'importance relative de ces différentes forces et leurs caractéristiques indiqueront quel type d'activités pourrait utilement soutenir le maintien de la diversité variétale traditionnelle. Cela est particulièrement vrai en ce qui concerne le mode de fonctionnement de la sélection et la nature du système de semences.

La complexité des systèmes agricoles traditionnels et les façons dont les différents facteurs interagissent pour influencer la diversité disponible rendent toute analyse difficile mais enrichissante. L'approche suggérée ici, et tout au long de cet ouvrage, consiste à élaborer des hypothèses spécifiques vérifiables

qui reflètent les préoccupations et les intérêts des agriculteurs et qui sont fondées sur les approches analytiques participatives décrites dans les chapitres précédents. Ces hypothèses peuvent porter sur des questions spécifiques telles que la disponibilité de la diversité pour faire face aux changements climatiques, la réponse à l'évolution des problèmes liés aux ravageurs et aux maladies, ou l'ouverture de nouveaux marchés. Elles peuvent également s'intéresser aux questions relatives à l'existence des institutions nécessaires pouvant soutenir la migration continue, la sélection, ainsi que les autres forces nécessaires au maintien de la diversité globale ou de variétés spécifiques. En outre, l'effet qu'une politique spécifique aura sur les différentes forces évolutives doit être clair si l'on veut que la diversité trouvée dans les variétés végétales traditionnelles soit maintenue.

L'importance d'une analyse approfondie est fondamentale pour explorer les actions de soutien à la gestion et à l'utilisation des variétés traditionnelles abordées dans le chapitre suivant. De toute évidence, si le diagnostic est incomplet ou erroné, les interventions suggérées peuvent causer plus de problèmes que de solutions.

Lectures Complémentaires

- Balick, M. J. 1997. *Plants, People and Culture: The Science of Ethnobotany*. W. H. Freeman and Co.
- De Boef, W. S., H. Dempewolf, J. M. Byakweli, and J. M. M. Engels. 2010. "Integrating genetic resource conservation and sustainable development into strategies to increase the robustness of seed systems". *Journal of Sustainable Agriculture* 34:504–31.
- Hodgkin, T., 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, and D. I. Jarvis. 2007. "Seeds systems and crop genetic diversity in agroecosystems". Pp. 77–116 in *Managing Biodiversity in Agricultural Ecosystems* (D. I. Jarvis, C. Padoch, and H. D. Cooper, Eds.) Columbia University Press, NY.
- Pautasso, M., G. Aistara, A. Barnaud, S. Caillon, P. Clouvel, O. T. Coomes, M. Delêtre, E. Demeulenaere, P. De Santis, T. Doring, L. Eloy, L. Emperaire, E. Garine, I. Goldringer, D. Jarvis, H. I. Joly, C. Leclerc, S. Louafi, P. Martin, F. Masso, S. McGuire, D. McKey, C. Padoch, C. Soler, M. Thomas, and S. Tramontini. 2013. "Seed exchange networks in agrobiodiversity conservation: concepts, methods and challenges". *Agronomy for Sustainable Development* 33:151–75.



Planche 12. Chez de nombreuses cultures, les agriculteurs sélectionnent certaines plantes ou récoltent les têtes de semences de différentes cultures pour fournir les semences de l'année suivante. Ils peuvent aussi sélectionner à partir d'une partie particulière de leurs champs où ils ont identifié de meilleures conditions de sol, d'eau ou d'autres conditions de croissance. Cette sélection peut avoir lieu dans le champ avant la récolte ou sur l'aire de battage après la récolte. Le lieu où se produit la sélection peut constituer une forte force de sélection (voir ci-dessous) ainsi que créer une population de taille beaucoup plus réduite que la totalité du matériel récolté. En haut à gauche: une femme Vietnamiennne sélectionnant des graines de haricot mungo de sa récolte pour la saison suivante. En bas à droite: Des femmes vietnamiennes sélectionnent des plants de riz qu'elles stockeront séparément en tant que semences. En bas à gauche: stockage traditionnel du maïs au Yucatán, au Mexique - un petit échantillon de graines de maïs est stocké sous forme d'épis entiers dans l'enveloppe et placé dans les chevrons d'une cuisine, où la fumée du feu de cuisson permet d'éloigner les insectes des épis. En haut à droite: bâtiments de stockage traditionnels au Burkina Faso. Crédits photos: D. Jarvis (en haut à gauche et en haut à droite), J. Tuxill (en bas à gauche), B. Sthapit (en bas à droite).

CHAPITRE 12

Stratégies de Collaboration et d'Intervention

A la fin de ce chapitre, le lecteur devrait avoir une bonne compréhension de:

- Comment des liens efficaces peuvent être établis et maintenus entre les partenaires à différents niveaux pour la gestion de la diversité génétique des cultures à la ferme.
- L'ensemble des options disponibles pour améliorer l'accès, la gestion et les avantages pour les agriculteurs de la conservation et de l'utilisation de la diversité génétique des cultures à la ferme.

L'élaboration et la mise en œuvre d'un programme qui soutient l'utilisation et la conservation de la diversité génétique des cultures dans le système de production agricole nécessitent plus que des ressources et des compétences pour collecter et assimiler les données de recherche. Cela nécessite également l'établissement de partenariats entre de nombreuses personnes et institutions, et la mobilisation des organisations communautaires pour mener des actions concrètes. Bien que ces aspects de collaboration puissent être facilement négligés, ils constituent un élément fondamental d'une initiative réussie au niveau de la ferme. Ce chapitre présente d'abord les divers partenaires impliqués, les types de relations nécessaires et les modalités de partage des responsabilités et des avantages. Ensuite, le chapitre introduit une approche par portefeuille en utilisant les types d'informations traitées dans les chapitres précédents pour identifier une série d'actions visant à soutenir la conservation et l'utilisation des variétés de cultures traditionnelles.

Diversité des Institutions et des Partenaires

Différents types d'institutions et de partenaires seront impliqués dans le soutien à la conservation et à l'utilisation de la diversité génétique des cultures traditionnelles à la ferme, à différents niveaux. Cette diversité institutionnelle

est en partie nécessaire parce que chaque type d'organisation possède un ensemble unique de capacités, et ce n'est qu'en combinant ces capacités qu'il est possible de faire face aux complexités évoquées dans les chapitres précédents concernant le maintien de la diversité dans le système de production. Cela s'explique en partie par le fait que toute description ou analyse de la quantité, de la distribution et de la gestion de la diversité génétique des plantes cultivées dans les écosystèmes agricoles peut conduire, et conduira très probablement, à un certain nombre de mesures différentes.

Nous pouvons examiner séparément les perceptions et les objectifs de six grands groupes: (1) les agriculteurs et les communautés locales; (2) les écologistes ou les agents de la santé des écosystèmes; (3) les conservateurs et les sélectionneurs; (4) les gouvernements nationaux; (5) le secteur privé; et (6) les consommateurs. Les agriculteurs et les communautés locales peuvent maintenir et utiliser la diversité variétale des cultures traditionnelles afin de fournir des aliments diversifiés qui soutiendront leur souveraineté alimentaire et assureront la sécurité alimentaire locale dans la communauté. L'utilisation de ces variétés peut leur permettre de s'adapter aux contraintes liées à la main-d'œuvre et au budget des foyers; d'atténuer les effets causés par les ravageurs, les maladies et autres stress environnementaux; de fournir une garantie du nouveau matériel génétique face aux changements environnementaux ou économiques futurs; d'augmenter les revenus; de préserver l'identité culturelle; et de développer et d'améliorer les organisations sociales pour donner aux agriculteurs et aux communautés locales les moyens de conduire des activités de conservation de manière autonome (Chapitres 7, 8, 9 et 10).

Les écologistes ou les agents de santé des écosystèmes peuvent envisager la gestion de la diversité génétique des cultures à la ferme comme un moyen important pour préserver les systèmes de gestion des cultures locales. Ceci est en vue d'assurer la durabilité des services écosystémiques et la santé de l'agroécosystème en termes de garantie de la formation du sol et des processus de cycle des éléments nutritifs en améliorant la biodiversité du sol, en réduisant la pollution des eaux souterraines et en limitant la propagation des maladies des plantes (Chapitres 6 et 7).

Les conservationnistes et les sélectionneurs peuvent se concentrer sur le maintien ou l'amélioration de la valeur génétique du matériel afin d'assurer une diversité adéquate pour les futurs efforts de sélection visant le maintien de rendements optimaux, la résilience dans les environnements stressants et les changements dans l'adaptation à de nouveaux ravageurs et maladies (Chapitres 4 et 5).

Les gouvernements nationaux peuvent mettre en œuvre des politiques et des programmes de gestion à la ferme et d'utilisation durable des ressources génétiques pour l'alimentation et l'agriculture comme moyen de garantir l'approvisionnement alimentaire local. Ils peuvent aussi préserver un patrimoine national ayant une valeur économique réelle ou potentielle en tant que filet de sécurité pour les petits exploitants agricoles dans les zones vulnérables et en tant que moyen de contribution à la stabilité sociale (Chapitre 10).

Le secteur privé peut soutenir la conservation et l'utilisation des variétés de cultures traditionnelles afin de faciliter l'accès à un choix de matériel végétal et de produits destinés à la consommation, à la sélection et à la commercialisation pour en tirer des bénéfices, tandis que les consommateurs peuvent considérer les initiatives de conservation comme un moyen d'améliorer leur accès à diverses variétés de cultures afin de satisfaire des régimes alimentaires variés et d'autres produits agricoles (fourrage, paille) (voir chapitre 9).

En équilibrant les objectifs et les perspectives des différents partenaires, les besoins divergents des conservationnistes, des environnementalistes, des agriculteurs qui soutiennent et génèrent la biodiversité agricole, et aussi des travailleurs dans le domaine du développement agricole et des travailleurs sociaux peuvent être abordés simultanément par de multiples actions décrites plus loin dans ce chapitre.

Toutes les institutions ne sont pas habituées au travail multi-institutionnel, multidisciplinaire et intégré, et souvent le cadre de ce type de collaboration est inexistant. Dans ces cas, il faut consacrer du temps et de l'énergie à l'élaboration de cadres de projets collaboratifs. La hiérarchie et la bureaucratie administrative impliquées dans ce processus peuvent être lourdes et consommatrices en temps. Au départ, il faut consacrer autant de temps aux activités liées à l'obtention de ce soutien que celui accordé aux autres activités du projet, afin que le résultat réponde aux besoins de tous les instituts formels et informels en termes de responsabilités et d'avantages scientifiques, administratifs et financiers. Un exemple d'outil de collaboration est un protocole d'entente (MoU), qui est un accord élaboré par les institutions concernées et signé à des niveaux administratifs élevés, en précisant le cadre dans lequel la collaboration se déroulera. Bien que les protocoles d'entente puissent prendre beaucoup de temps pour leur élaboration et requièrent une large approbation, ils sont plus fiables qu'un accord d'un administrateur particulier pour assurer la continuité et l'engagement d'un institut, en particulier dans les pays où les administrateurs de haut niveau sont fréquemment mutés d'un poste à un autre.

Une discussion précoce avec les ministères ou départements de l'agriculture et de l'environnement chargés des services gouvernementaux de vulgarisation technique est essentielle pour éviter toute confusion et tout conflit dans les messages fournis par les agents de vulgarisation du gouvernement par rapport à ceux transmis par les agents de développement non gouvernementaux au niveau local. La formation qui est intégrée au programme d'études des vulgarisateurs au niveau national ou proposée en tant que formation continue aux agents de vulgarisation expérimentés constitue une étape importante dans la création de programmes de vulgarisation qui soutiennent, au lieu d'entraver, le maintien des ressources agricoles diversifiées à la ferme. Pour établir un climat de confiance et de compréhension mutuelle, il est important de créer des réseaux d'agriculteurs détenteurs de connaissances, d'assurer des formations si nécessaire et de créer des liens entre ces vulgarisateurs des communautés (Action pratique, 2011) et les services gouvernementaux de vulgarisation (ainsi que les fournisseurs d'intrants si nécessaire).

Instauration de la Confiance et d'une Collaboration Équitable

L'établissement de partenariats représentatifs signifie que les agriculteurs et les autres parties prenantes ont la capacité—tant financière que théorique—de participer sur un pied d'égalité avec les autres partenaires. La garantie du «consentement libre, préalable et éclairé» (évoqué au chapitre 5) peut constituer une étape importante dans l'établissement d'un climat de confiance entre les agriculteurs et les chercheurs en divulguant pleinement l'intention et la portée de la recherche, en utilisant un langage et un processus compréhensibles par les agriculteurs, et ce avant qu'une activité ou une utilisation des connaissances traditionnelles ne soit entreprise.

Une collaboration équitable en matière de gestion et d'utilisation des ressources génétiques des plantes cultivées et, plus largement, de la biodiversité agricole associée est également essentielle à la réalisation de la souveraineté alimentaire (Action pratique, 2011). La souveraineté alimentaire est un cadre proposé par la Via Campesina (la Voie Paysanne), lancée en 1996 et ensuite développée par les mouvements sociaux. Via Campesina est le mouvement paysan international qui représente les organisations paysannes de petits et moyens producteurs, de travailleurs agricoles, de femmes rurales et de communautés autochtones d'Asie, d'Afrique, d'Amérique et d'Europe (<http://viacampesina.org/en/>).

La souveraineté alimentaire est le droit des peuples à avoir accès à une alimentation saine et culturellement appropriée, produite selon des méthodes écologiques et durables, et à définir leurs propres systèmes alimentaires et agricoles. Elle place les aspirations et les besoins de ceux qui produisent, distribuent et consomment les aliments—plutôt que les exigences des marchés et des entreprises—au cœur des systèmes et des politiques alimentaires.

Une confiance et une compréhension mutuelle améliorées entre les différents acteurs et institutions constituent les premières étapes pour garantir que les décisions prises répondent aux besoins de tous les participants. La confiance découle de la transparence, de la réciprocité, des obligations, de la confiance mutuelle et des règles convenues d'un commun accord, qui sont structurées et reliées par le biais de groupes et de réseaux.

Au cours de la dernière décennie en Europe, des réseaux d'acteurs de la société civile, concernés par la gestion et l'utilisation de la diversité génétique des cultures, se sont développés en Espagne (Red de Semillas, RdS), en Italie (Rete Semi Rurali), et en France (Réseau Semences Paysannes, RSP). Ces réseaux de partenaires se distinguent des organisations professionnelles d'agriculteurs par le fait qu'ils recrutent des personnes autres que les petits agriculteurs eux-mêmes, rassemblant tous les citoyens qui se préoccupent des semences dans la sélection de leur alimentation et la sauvegarde de leurs écosystèmes agricoles. Parmi ces personnes se trouvent des techniciens, des consommateurs, des groupes d'action locale et d'autres acteurs associés aux universités et à la recherche. Les partenaires collaborent pour utiliser et promouvoir des semences qui ont été façonnées par le sol et le climat locaux, et qui ont coévolué avec l'histoire d'une région donnée et de ses agriculteurs «paysans». Ils mènent des projets de recherche collaboratifs, des foires sur la biodiversité et des activités de formation, et ont une capacité de communiquer avec le grand public pour partager leurs préoccupations; au niveau national. Ils ont élaboré des textes de loi sur les variétés de conservation (Bocci et Chablé, 2009).

Les institutions culturelles—telles que les mariages, les clubs sportifs et les bains publics—sont des lieux de confiance où l'échange d'informations peut être lié à des réseaux de soutien plus larges. Les réseaux culturels eux-mêmes ont un rôle à jouer dans le renforcement des connaissances, notamment en démystifiant les technologies issues des laboratoires, ce qui peut constituer un obstacle à la confiance d'un agriculteur et l'empêcher de participer aux discussions (Meinzen-Dick et Eyzaguirre, 2009). L'analyse sociale du pouvoir,

de l'intérêt et de la légitimité des principales parties prenantes est essentielle pour atténuer tout conflit potentiel et le traduire en actions de collaboration. L'alphabétisation, avec l'appui des nouvelles technologies de l'information et de la communication, est un outil permettant aux agriculteurs d'avoir un meilleur contrôle sur leurs ressources. Les jurys de citoyens constituent un exemple de partenariats formés par des dirigeants agricoles, des chercheurs progressistes et des techniciens des ONG pour évaluer, délibérer et aborder publiquement l'équité et la durabilité des systèmes et initier des recherches conventionnelles (Pimbert et *al.*, 2010).

Les différentes connaissances détenues par les femmes et les hommes, ainsi que l'importance d'assurer des avantages équitables, exigent non seulement que l'information soit ventilée par genre, mais aussi que les possibilités de formation et de gestion soient équitablement réparties (Howard, 2003). Cela se traduit par la garantie d'une participation et d'une embauche équitables des femmes et des hommes aux postes de décision et de gestion, ainsi que par la promotion de l'égalité des genres et de l'équité sociale dans les possibilités de formation technique et de haut niveau.

La mise en place d'un cadre formel de collaboration peut aider à assurer des liens équitables entre les agriculteurs et ceux qui détiennent ou fournissent des ressources génétiques des cultures, telles que les banques nationales de gènes et autres collections de germoplasme (voir chapitre 3). Il s'agit d'une connexion à double sens, dans laquelle chaque partie (banques de gènes et agriculteurs locaux) peut fournir de précieuses ressources à l'autre. Souvent, les agriculteurs rencontrent des difficultés à accéder aux mêmes variétés traditionnelles auprès des banques de gènes et des sélectionneurs qui les détiennent *ex situ*, même pour les variétés qui ont déjà été collectées dans leurs propres communautés. En revanche, les institutions formelles de sélection peuvent être réticentes à utiliser davantage le matériel sélectionné par les agriculteurs et les variétés traditionnelles dans leurs programmes de sélection. Ces cadres peuvent aider à intégrer les pratiques de sélection des agriculteurs, le matériel local et les pratiques participatives de sélection végétale afin d'améliorer d'autres caractéristiques de production et de qualité des variétés locales résistantes, ainsi que la résistance des variétés non résistantes adaptées localement (voir la section sur la sélection végétale participative plus loin dans ce chapitre).

L'appui aux coopératives agricoles pour la formation des agriculteurs en matière de production et de commercialisation, l'aide aux négociations des prix, la perception des taxes foncières et le partage de l'information par le biais d'une

action collective constituent des outils permettant de renforcer l'autonomie des agriculteurs. De tels partenariats permettent aux services de vulgarisation et de conseil agricoles de répondre aux besoins de tous les agriculteurs, en particulier les femmes ainsi que les communautés et les foyers pauvres et marginalisés. Les systèmes de micro-financement et de micro-assurance sont des outils qui ont été utilisés pour construire un capital social et financier permettant aux agriculteurs, en particulier aux femmes, de s'engager dans des activités économiques et de rejoindre des réseaux sociaux grâce auxquels la pauvreté et la dépendance sociale peuvent être surmontées. Les cadres de collaboration visant à renforcer le potentiel du marché et le partage équitable des bénéfices commencent par l'organisation de réunions qui relient tous les acteurs possibles de la chaîne du marché, notamment les producteurs et les traders, les experts en culture, les ONG, les représentants des ministères concernés et les membres de la communauté afin de développer des idées visant à renforcer le potentiel commercial des variétés traditionnelles (voir chapitre 9).

Deux approches ont été largement adoptées dans différentes régions du monde, afin de renforcer des liens équitables et établir des partenariats représentatifs entre les partenaires aussi bien au niveau local que national, dans le domaine de gestion des ressources génétiques des plantes cultivées: les forums du champ sur la diversité et la gestion communautaire de la biodiversité.

Forums du Champ sur la Diversité

L'approche des forums du champ sur la diversité (DFF) s'appuie sur le concept des Champs-Écoles des Producteurs (FFS), où les agriculteurs sont formés pour devenir les formateurs de leurs collègues agriculteurs (voir van der Berg et Jiggins, 2007 pour une synthèse et Doing, 2011 pour une description détaillée des Champs-Écoles des Producteurs). L'approche des forums du champ sur la diversité a été développée dans des environnements à faible héritabilité en Afrique de l'Ouest pour renforcer la capacité des agriculteurs à analyser et à gérer leurs propres ressources phytogénétiques, dans le cadre d'un programme régional visant à promouvoir la conservation et l'utilisation de la diversité génétique des cultures locales pour les cultures de sécurité alimentaire (Bioversity International, 2008). Les environnements à faible héritabilité sont des environnements où l'établissement des semis et la sélection de variétés adaptées sont difficiles en raison de l'hétérogénéité des milieux de culture et des conditions environnementales, telles que l'imprévisibilité ou l'incertitude relative à la quantité et à la distribution saisonnière des précipitations au Sahel. L'approche participative génère des options que les agriculteurs peuvent utiliser

au lieu de transférer des technologies provenant de sources extérieures. Les forums du champ sur la diversité sont composés d'hommes et de femmes organisés en équipes (généralement 25 à 30 personnes) par genre pour évaluer la diversité génétique des cultures. Les groupes d'agriculteurs testent à la fois des cultivars améliorés et des cultivars locaux. Les agriculteurs sont formés à la multiplication des semences, et les semences des cultivars sélectionnés sont multipliées et diffusées au sein et en dehors des groupes. L'approche prend en considération le fait que les critères de sélection privilégiés par les agriculteurs, femmes et hommes, sont différents. Lors de réunions hebdomadaires, les agriculteurs sont informés des conventions/législations internationales et nationales relatives à l'échange de ressources phylogénétiques (par exemple, la Convention sur la diversité biologique [CBD] et le Traité international sur les ressources phylogénétiques pour l'alimentation et l'agriculture [ITPGRFA]), ainsi que des réglementations nationales sur les semences. Le système informel de semences est utilisé pour fournir un pool génétique diversifié et évolutif par l'échange et la sélection des agriculteurs afin de permettre une adaptation continue aux conditions changeantes. L'approche des forums du champ sur la diversité offre aux agriculteurs un forum d'échange d'informations et de connaissances sur l'utilisation, la gestion, la sélection et la conservation de la diversité génétique des cultures, et offre des possibilités de formation qui produisent un nouveau paradigme pour les partenariats entre agriculteurs, chercheurs et services de vulgarisation (Smale et *al.*, 2009).

Gestion Communautaire de la Biodiversité

L'approche de la gestion communautaire de la biodiversité (CBM) est un processus participatif en plusieurs étapes qui se concentre spécifiquement sur le renforcement de la capacité locale des communautés et des institutions rurales en matière de prise de décision et de gouvernance relatives à l'utilisation de la biodiversité agricole. Une personne, une communauté ou une institution est considérée comme habilitée si elle possède les connaissances et les compétences nécessaires pour comprendre les facteurs qui l'affectent et ceux qu'elle peut influencer (moteurs), et si elle utilise ces connaissances et compétences pour prendre des décisions de manière autonome sur la façon de manipuler ces facteurs afin d'atteindre un résultat auquel elle accorde de la valeur. La capacité d'accéder aux ressources naturelles et de les utiliser dépend des connaissances, des compétences et des relations sociales au sein de la communauté. La méthode de la gestion communautaire de la biodiversité repose sur quatre principes clés: (1) laisser les parties prenantes locales diriger en donnant des moyens d'action

aux agriculteurs et à leurs institutions locales; (2) s'appuyer sur les innovations, les pratiques et les ressources locales; (3) diversifier les options de subsistance basées sur la biodiversité, et (4) fournir une plateforme d'apprentissage social et d'action collective. Le processus comprend l'évaluation participative de la diversité génétique à la ferme et la création d'un fonds pour la gestion communautaire de la biodiversité. Il fonctionne comme un microcrédit mais dont les utilisateurs de services sont responsables du maintien de la diversité des cultures locales, du suivi et de l'évaluation communautaires, de l'apprentissage social et de l'intensification de l'action collective communautaire (Sthapit et *al.*, 2006; Shrestha et *al.*, 2012). Le développement et l'évolution de la méthodologie de la gestion communautaire de la biodiversité ont été documentés par Subedi et *al.* (2013), et De Boef et *al.* (2013) ont récemment terminé une étude générale sur les initiatives de gestion communautaire de la biodiversité et sur leur impact (voir lectures complémentaires).

Actions Intégrant les Préoccupations d'Ordre Génétique, Écologique, Social et Économique à l'Appui de la Gestion de la Diversité Génétique des Cultures à la Ferme

Bien que les actions pouvant soutenir le maintien et l'utilisation des variétés traditionnelles soient souvent variées et apparemment spécifiques à un site, une culture ou une plante cultivée; un cadre heuristique global a été développé pour aider les agents de conservation et de développement ainsi que les communautés à déterminer les actions susceptibles d'être les plus pertinentes dans différentes situations. Ce dispositif heuristique repose sur la catégorisation des problèmes ou contraintes auxquels les agriculteurs sont confrontés en quatre groupes principaux, ce qui peut réduire la capacité des agriculteurs à bénéficier de la conservation et de l'utilisation des ressources génétiques des cultures dans leurs systèmes de production agricole: (1) le manque de diversité suffisante des variétés de cultures traditionnelles au sein du système de production (voir chapitres 4 et 5); (2) le manque d'accès des agriculteurs à la diversité disponible (voir chapitres 8 et 11); (3) les limites en matière d'information sur les variétés disponibles et leurs performances dans des domaines clés (voir chapitres 5, 6 et 7); et (4) l'incapacité des agriculteurs et des communautés à réaliser la valeur réelle du matériel qu'ils gèrent et utilisent (voir chapitres 8, 9 et 10). La figure 12.1 contient un diagramme descriptif des relations au sein de ce dispositif heuristique. Il est important de noter que toute description ou analyse au sein des quatre principaux groupes de contraintes peut conduire, et conduira très probablement, à un certain nombre d'actions différentes. La capacité des

Contraintes Liées à la Conservation et l'Utilisation des Variétés Traditionnelles

1. La diversité génétique des cultures locales n'existe pas ou n'est pas en quantité suffisante dans le système de production.
 - 1a. La diversité génétique des cultures locales n'existe pas dans les écosystèmes du système de production
 - 1b. La diversité génétique des cultures locales existe, mais en quantités insuffisantes
 - 1b.1 Insuffisance du matériel disponible
 - 1b.2 Manque de capacité de multiplication du matériel
2. La diversité génétique des cultures locales n'est pas accessible aux agriculteurs
 - 2a. Les agriculteurs manquent de ressources pour acquérir le matériel
 - 2a.1 Manque de fonds pour permettre l'accès depuis l'intérieur de la communauté
 - 2a.2 Manque de fonds pour couvrir les frais de transport depuis l'extérieur de la communauté
 - 2b. La diversité génétique des cultures n'est pas accessible en raison de contraintes sociales
 - 2b.1 La pression exercée par le secteur formel décourage l'accessibilité
 - 2b.2 Le manque de liens sociaux pour accéder à la diversité
 - 2c. Les systèmes de flux de semences n'ont pas la capacité de changer ou de fournir des échantillons suffisamment grands pour assurer l'adaptation et l'évolution
 - 2d. Les politiques et les institutions limitent le flux des semences
3. Les agriculteurs ne valorisent pas et n'utilisent pas les ressources génétiques des cultures locales
 - 3a. Les agriculteurs ne perçoivent pas le matériel génétique des cultures locales comme étant compétitif
 - 3a.1 Les informations sur la valeur/l'avantage existent mais ne sont pas disponibles ou accessibles
 - 3a.2 Les informations sur la valeur/l'avantage du matériel n'existent pas
 - 3b. Le matériel présente de faibles performances agronomiques, écologiques ou qualitatives, ou n'est pas acceptable sur le plan culturel
 - 3b.1 Le matériel présente de faibles performances agronomiques
 - 3b.2 Le matériel n'est pas adapté aux conditions abiotiques
 - 3b.3 Le matériel n'est pas adapté aux pressions biotiques
 - 3b.4 La qualité du matériel est médiocre
 - 3b.5 Le matériel n'est pas acceptable sur le plan culturel
 - 3c. La gestion du matériel peut être améliorée
 - 3c.1 Le nettoyage et le stockage des semences représentent une contrainte
 - 3c.2 Le matériel n'est pas géré comme un ensemble diversifié de variétés
 - 3d. Les politiques empêchent l'utilisation de matériels et de méthodes de gestion dirigés par les agriculteurs
4. Les agriculteurs ne bénéficient pas de l'utilisation de la diversité génétique des cultures locales
 - 4a. Les avantages marchands tirés du matériel sont insuffisants
 - 4a.1 Faible valeur marchande
 - 4a.2 faible demande du marché
 - 4a.3 Manque de technologie pour traiter le matériel diversifié
 - 4a.4 Manque de confiance entre les acteurs de la chaîne de commercialisation
 - 4b. Les avantages non marchands tirés du matériel sont insuffisants
 - 4b.1 Avantages sociaux-culturels non valorisés
 - 4b.2 Substitution d'intrants (engrais, pesticides) non valorisés
 - 4b.3 Avantages en termes de services écosystémiques du matériel non valorisés
 - 4b.4 Droits des agriculteurs non valorisés
 - 4b.5 Manque de responsabilité sociale
 - 4c. Faiblesse des institutions locales et du leadership des agriculteurs/des communautés
 - 4c.1 Absence d'action collective
 - 4c.2 Manque de leadership des agriculteurs/des communautés
 - 4c.3 Manque de soutien aux institutions locales

Figure 12.1. Cadre heuristique pour l'identification des contraintes et des actions associées visant à soutenir la conservation et l'utilisation des variétés de cultures traditionnelles dans les systèmes de production agricole (adapté de Jarvis *et al.*, 2011, reproduit avec la permission de Taylor & Francis Inc dans le format républié dans un livre/texte via Copyright Clearance Center)

communautés agricoles, de leurs institutions locales et des prestataires de services locaux à utiliser ce dispositif heuristique est intrinsèquement essentielle au succès de la gestion à la ferme de la diversité génétique des cultures locales.

Existence d'un Portefeuille Suffisamment Diversifié de Matériel Végétal dans le Système de Production Agricole

Les chapitres 4, 5 et 7 décrivent les méthodes permettant d'estimer l'étendue et de la distribution de la diversité dans les systèmes de production des agriculteurs. Il s'agit de la première étape pour déterminer si la diversité d'une culture au sein d'un système de production est suffisante pour répondre aux différents besoins des communautés agricoles. Bien que la décision d'ajouter une nouvelle diversité dans les systèmes de production des agriculteurs, ou de réhabiliter un système de production dont la diversité a été perdue, revienne en dernier ressort aux agriculteurs, la fourniture de variétés traditionnelles est associée à un certain nombre de difficultés. Peu de banques de gènes sont équipées pour fournir suffisamment de semences destinées à être semées directement par les agriculteurs ou pour fournir des populations d'une taille suffisante pour permettre l'adaptation à l'évolution des conditions environnementales et des pratiques de gestion.

Une approche a consisté à développer des banques de semences communautaires liées à des banques de gènes communautaires, et des pépinières d'arbres fruitiers gérées par la communauté. Les banques de gènes communautaires sont destinées à collecter et à stocker la diversité des cultures locales et à donner accès à une petite quantité de semences comme source de germoplasme, tandis qu'une banque de semences communautaire est utilisée pour assurer la disponibilité de semences locales pour la sécurité alimentaire.

Des banques communautaires de semences et de gènes ont été créées dans un certain nombre de pays au cours des dernières décennies en réponse à la guerre, à de longues sécheresses et à la perte dramatique de la diversité génétique des cultures locales. Ces institutions locales donnent accès au matériel végétal des variétés de cultures traditionnelles et sont souvent soutenues par des agences de développement nationales et internationales. Elles remplissent un certain nombre de rôles, notamment celui de conserver les variétés locales rares et de mettre à la disposition des agriculteurs des semences de variétés modernes et traditionnelles, en particulier après des situations de crise. Les banques de semences communautaires sont toutes différentes, mais en général, leur création et leur maintien reposent sur trois activités principales: (1) la collecte de

germoplasme (et des connaissances associées), souvent au sein de la communauté, sur les marchés et dans les villages voisins, (2) le stockage du germoplasme, et (3) la multiplication des semences et du matériel végétal en vue de leur distribution aux agriculteurs chaque fois qu'ils en ont besoin. Bien que la plupart des banques de semences communautaires soient gérées par un groupe d'agriculteurs utilisant des structures et installations communautaires, certaines banques de semences sont décentralisées—plusieurs agriculteurs ont la responsabilité de collecter et de conserver les semences dans leurs fermes pour l'ensemble de la communauté (Fonds de développement, 2011).

Les pépinières gérées par la communauté permettent aux producteurs d'accéder à la fois aux plantes mères (greffons et porte-greffes) et aux informations associées. Elles constituent aussi un lieu où les agriculteurs peuvent se renseigner sur les meilleures pratiques de gestion des pépinières. En outre, une coopérative semencière locale chargée de la collecte, la distribution et la multiplication des semences, ainsi que des foires de la diversité (décrites ci-dessous), peuvent être en mesure d'identifier du matériel végétal diversifié pour une communauté.

Les foires aux semences existent depuis des siècles dans certaines régions du monde. Dans les Andes, par exemple, des personnes de différentes communautés se rassemblent lors de fêtes religieuses, normalement à la fin de la récolte, et vendent, achètent et échangent des ressources phytogénétiques et des connaissances connexes (Tapia et Rosa, 1993). Les foires aux semences permettent non seulement aux agriculteurs d'échanger des semences de variétés produites localement et adaptées aux conditions locales, mais elles favorisent également l'interaction sociale entre les agriculteurs eux-mêmes, les agriculteurs et les agents de vulgarisation, ainsi que les agriculteurs et les entreprises privées. De cette façon, les représentants du secteur formel des semences sont informés des préférences et des besoins des agriculteurs, tandis que ces derniers ont l'occasion d'apprendre ce que le secteur formel peut leur offrir. Une telle interaction peut également aboutir au renforcement des réseaux de diffusion des semences.

Une foire de la diversité est un moyen de sensibiliser les communautés agricoles à la valeur de la diversité des cultures. Elle rassemble les agriculteurs d'une ou de plusieurs communautés pour montrer la gamme de variétés traditionnelles que chacun cultive. Au lieu de décerner des prix pour chacune des meilleures variétés (par exemple, sur la base du rendement ou de la taille), les foires de la diversité récompensent les agriculteurs ou les coopératives pour la plus grande diversité des cultures et les connaissances qui s'y rapportent.

Dans certaines communautés, des rassemblements similaires aux foires de la diversité existent déjà en tant qu'événements traditionnels, où les agriculteurs se rassemblent pour montrer leurs variétés traditionnelles et partager à la fois les semences et les connaissances. Ces foires peuvent également servir de marchés où les variétés traditionnelles peuvent être achetées et vendues. Afin de maximiser leur attrait comme «événements», il est probablement préférable de tenir les foires de la diversité peu fréquemment, mais de façon récurrente, peut-être une fois par an. Les foires de la diversité permettent de reconnaître les agriculteurs qui maintiennent une large diversité génétique, possèdent une connaissance inhabituelle de la diversité des cultures et sont largement reconnus et respectés par les autres agriculteurs. Elles ont été utilisées pour dresser des inventaires des variétés de cultures traditionnelles pour une communauté ou une région (y compris l'identification et la localisation de variétés rares ou menacées), pour localiser des poches de diversité particulière et pour identifier les sources d'approvisionnement en semences formelles et informelles au sein d'une communauté. Elles offrent un forum permettant à un ensemble d'agriculteurs, ou aux membres d'une communauté en général, de converger et évaluer les variétés traditionnelles en même temps que le nouveau germoplasme, qu'il s'agisse de variétés modernes ou du produit issu d'activités de sélection végétale participative.

Les marchés locaux représentent une source importante de semences pour les agriculteurs. Contrairement aux foires aux semences et aux foires de la diversité, la diversité des cultures disponibles sur les marchés locaux peut être limitée. L'approvisionnement des agriculteurs en semences sur les marchés locaux n'entraîne pas toujours une plus grande diversité des cultures utilisées dans leurs champs (Lipper et *al.*, 2012). Cependant, les marchés locaux peuvent être un point d'intervention important pour accroître l'accès à des semences diversifiées, en particulier lorsque des facteurs environnementaux et sociaux désintègrent les réseaux traditionnels d'approvisionnement en semences. La mauvaise qualité des semences et les pratiques inappropriées de gestion des semences peuvent limiter la disponibilité de la diversité des cultures pour les agriculteurs, comme indiqué au chapitre 11. Les systèmes décentralisés de production et de contrôle de qualité des semences peuvent rapprocher la diversité aux agriculteurs tout en garantissant la qualité des semences. Quelques exemples de ces systèmes sont présentés dans l'encadré 12.1.

Comme expliqué au chapitre 10, les politiques peuvent créer à la fois des opportunités et des obstacles pour les agriculteurs qui utilisent la diversité des cultures dans la production agricole. Un environnement politique favorable est

Encadré 12.1. Systèmes Décentralisés et Combinés Formels et Informels de Production de Semences en Bolivie et au Népal

Au cours des vingt dernières années, la fondation PROINPA a mis en place plusieurs projets qui ont permis de fournir aux agriculteurs des semences certifiées de prébase et de base de variétés traditionnelles de pommes de terre inscrites. Elle a aussi apporté un soutien technique aux « semilleras » locales qui s'occupent du stockage, de la multiplication et de la diffusion des semences. Grâce à ces projets, les bureaux régionaux relevant du ministère de l'Agriculture reconnaissent les agriculteurs spécialisés ayant la capacité de produire certaines quantités de semences dont la qualité est certifiée par ces bureaux.

Au Népal, les Bureaux de Développement Agricole de District ont lancé le Programme d'Autosuffisance en Semences dans le District en 1996 qui est actuellement opérationnel dans tous les districts. Le programme vise à renforcer le système informel de multiplication et de distribution des semences en fournissant une coordination et un soutien technique aux organisations locales. Les avantages de ce programme ne sont pas pleinement réalisés en raison de graves contraintes de ressources, d'une quantité limitée de semences de base et d'un nombre insuffisant d'agriculteurs participants.

important pour la conservation et l'utilisation durable de la diversité des cultures à la ferme. En particulier, les politiques, les lois et les réglementations relatives aux semences peuvent imposer de sérieuses limitations à la disponibilité et à l'échange de la diversité des cultures entre les agriculteurs. Tout en conservant les objectifs initiaux du système formel des semences, à savoir assurer la transparence sur le marché des variétés végétales et garantir la qualité des semences, différents modèles ont été proposés et testés pour réglementer la commercialisation des variétés traditionnelles et modernes afin de tenter de minimiser ou d'éviter les effets négatifs des politiques et des lois habituelles ou standards sur la diversité des cultures à la ferme.

Alternatives à l'Inscription des Variétés Végétales et à la Certification de la Qualité des Semences

Variétés de conservation

L'Union européenne a récemment approuvé un traitement spécial pour les variétés dites de conservation. Grâce à ce traitement, les variétés traditionnelles adaptées aux conditions locales et régionales et menacées par l'érosion génétique peuvent être inscrites en vue de leur commercialisation (directive 2008/62/CE du 20 juin 2008). Ce traitement spécial consiste en 1) un certain degré de souplesse dans le niveau d'homogénéité requis et 2) une exemption de l'examen officiel si le demandeur peut fournir suffisamment d'informations sur la variété par d'autres moyens tels que des essais non officiels et des connaissances acquises par l'expérience pratique.

Inscription et diffusion des variétés paysannes

Au Népal, les exigences en matière d'uniformité de la loi népalaise sur les semences ont été appliquées de manière souple afin de tenir compte des demandes des agriculteurs concernant l'inscription de certaines variétés issues de la sélection végétale participative, suivie d'une évaluation participative au champ en collaboration avec les agriculteurs, les propriétaires de moulins et les détaillants. La variété en vrac améliorée était phénotypiquement similaire en ce qui concerne les caractéristiques agronomiques, post-récolte et de qualité, ainsi que sur le plan des préférences du marché. Elle a été officiellement inscrite et diffusée par le Comité d'approbation, d'inscription et de diffusion des variétés (VARRC) en juin 2006 sous le nom de «Pokhareli Jethobudho» (Gyawali et *al.*, 2010).

Variété identifiée commune

En Argentine, les semences de variétés anciennes de fourrages peuvent être commercialisées sous le nom de «Clase Identificada Común» (variété identifiée commune), sans indiquer le nom de la variété sur l'emballage des semences. Une variété traditionnelle de luzerne connue sous le nom «alfalfa pampeano» peut donc être vendue sous le nom général de graine de luzerne. Étant donné que le nom de la variété n'est pas requis dans ce cas, elle peut être légalement vendue sans avoir à satisfaire les critères de Distinction, d'Homogénéité et de Stabilité (DHS ou DUS en anglais) requis pour l'inscription de la variété (Gutiérrez et Penna, 2004). Toutefois, cette alternative peut entraîner des lacunes en matière d'information une fois que les semences sont commercialisées au-delà d'un circuit limité et fiable.

Système de semences de qualité déclarée

Le système de semences de qualité déclarée proposé par l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO, 1993) a été largement utilisé dans les régions où les marchés des semences ne sont pas fonctionnels et où les ressources gouvernementales sont trop limitées pour gérer efficacement des systèmes de certification complets. Dans le cadre de ce système, les producteurs de semences sont responsables du contrôle de la qualité, tandis que les agents gouvernementaux ne contrôlent qu'une partie très limitée des lots de semences et des champs de multiplication des semences. Le système a été révisé en 2006 dans le but de reconnaître le rôle des politiques nationales et d'expliquer plus clairement la manière dont les semences de qualité déclarée peuvent accueillir, dans un premier temps, les variétés locales. Plus

tard, un système de matériel végétal de qualité déclarée pour certaines cultures à multiplication végétative a été mis en place (FAO, 2006; 2010).

Lois sur les semences véritablement labellisées

Les semences véritablement labellisées constituent une autre mesure juridique qui a été conçue pour se focaliser sur la qualité des semences plutôt que sur la pureté variétale. Les semences véritablement labellisées correspondent à la descendance de la semence de base, ou de la semence certifiée ou labellisée. Les normes relatives aux semences et aux champs sont équivalentes à celles des semences certifiées, et la procédure de production est la même que pour les semences certifiées; toutefois, aucune agence de certification des semences n'est nécessaire pour la commercialisation des semences.

Actions Visant à Améliorer l'Accessibilité d'une Communauté Agricole à la Diversité Génétique des Cultures

L'accès à la diversité des semences ou du matériel végétal exige que les personnes qui possèdent suffisamment de terres (capital naturel), de revenus (capital financier) ou de relations (capital social) achètent ou troquent les variétés dont elles ont besoin (Chapitre 8). Il est possible que les semences appropriées ne soient pas disponibles dans le village et que les agriculteurs ne disposent pas des ressources nécessaires pour aller là où se trouvent les semences. Le matériel végétal de plantation des variétés traditionnelles peut également ne pas être accessible en raison de contraintes sociales. Les services officiels de vulgarisation et la communauté des pairs peuvent exercer des pressions pour empêcher l'obtention et l'utilisation de matériel végétal de plantation de variétés locales. Les agriculteurs peuvent ne pas avoir non plus les liens sociaux ou le statut social appropriés pour obtenir des variétés.

Plusieurs actions peuvent être mises en place pour améliorer l'accès des agriculteurs à des semences diversifiées. Les bons de semences sont des coupons ou des certificats d'une valeur monétaire garantie qui peuvent être échangés contre des semences provenant de vendeurs agréés. Les vendeurs de semences peuvent ensuite échanger leurs bons contre de l'argent liquide auprès de l'organisme émetteur. Des kits de diversité, contenant un ensemble de semences différentes en petite quantité, ont été mis à la disposition des agriculteurs pour leur faciliter l'accès à une plus large gamme de variétés locales. Les semences des kits de diversité sont récoltées à partir de blocs de diversité (voir la description ci-dessous), de fermes de recherche ou de champs d'agriculteurs et distribuées

à différents agriculteurs. Une banque de semences communautaire, telle que décrite plus haut, peut également servir de source de semences ouverte pour une communauté locale, et les transactions de semences peuvent être effectuées comme dans n'importe quelle banque. Le coût du transport constitue souvent une contrainte à l'accès aux semences. Des programmes de microfinancement ou de crédit permettant l'achat du matériel local sont mis en place par des organisations locales qui évaluent les coûts de transport sur une base annuelle.

Actions Visant à Améliorer l'Utilisation à Travers une Amélioration de l'Information, du Matériel et de la Gestion

La reconnaissance de la performance et de l'utilisation des variétés de cultures traditionnelles repose sur l'information concernant les caractéristiques (traits agronomiques, adaptatives, nutritionnelles et qualitatives) ou sur les utilisations de ce matériel; les performances agronomiques, écologiques et de qualité du matériel lui-même; et/ou les bonnes pratiques de gestion agronomique. Les agriculteurs peuvent avoir l'impression que les variétés traditionnelles ne sont pas compétitives par rapport aux autres options. C'est en raison d'un manque d'informations sur la caractérisation et l'évaluation des traits éco-physiologiques, adaptatifs ou de qualité de leurs variétés, ou en raison d'un manque d'informations sur les méthodes de gestion appropriées qui permettraient d'améliorer la productivité ou la commercialisation de leurs variétés locales. Ce manque d'informations peut être dû soit à une absence d'information (par exemple, les variétés n'ont jamais été caractérisées ou évaluées à la ferme), soit à la non disponibilité de l'information pour la communauté des utilisateurs.

De nombreuses actions ont été utilisées pour renforcer l'information sur la caractérisation et l'évaluation des variétés de cultures traditionnelles. Les blocs de diversité à la ferme sont des blocs expérimentaux de variétés paysannes destinés à des fins de recherche et de développement gérés par des institutions locales. Un groupe d'agriculteurs bien informés est invité à observer le bloc de diversité pendant la culture. Le bloc peut être utilisé pour la multiplication du matériel végétal, après la culture de germoplasme rare dans le bloc, et aussi comme source de semences pour les banques de semences communautaires. Les essais au champ et au laboratoire comparant une variété traditionnelle à des variétés modernes sont importants pour prouver les différences quantitatives au niveau des caractéristiques de production et d'adaptation dans les conditions des agriculteurs (voir chapitre 7 et He et *al.*, 2011; Serpolay et *al.*, 2011). Ces essais, qui permettent de comparer des variétés traditionnelles et modernes, contribuent

également à la démystification de la technologie pour les agriculteurs. Diverses méthodes telles que la sélection variétale participative (décrite ci-dessous) et les essais mère-bébé sont développées à cette fin (Snapp et *al.*, 2002).

Des bases de données sur les variétés et les parcelles liées à des Systèmes d'Information Géographique (SIG), dans des formats adaptés aux agriculteurs, permettent à ces derniers de visualiser la distribution des différentes variétés dans leur communauté. Elles peuvent également être utilisées pour cartographier les types de sol et les infestations par des maladies afin d'aider les agriculteurs à mieux choisir les variétés qui conviendraient aux différentes conditions agroécologiques de leurs fermes (voir chapitre 6). Les technologies de l'information et de la communication sont désormais disponibles et applicables aux communautés autochtones et locales. Elles permettent l'accès et le partage de données sur le matériel adapté au niveau local par le biais des réseaux de téléphonie mobile. La technologie hybride avec fil-sans fil a été développée à l'aide de l'énergie solaire lorsque l'électricité n'était pas continue ou disponible et que les connexions des téléphones portables n'étaient pas fiables (Kesavan et Swaminathan, 2008). De simples messages textuels ou vocaux (traduits dans les dialectes locaux) sont désormais possibles pour permettre aux agriculteurs ruraux d'accéder plus facilement à des informations essentielles sur le climat, le marché et l'agriculture leur permettant de prendre des décisions éclairées sur la conservation et l'utilisation de leurs variétés. Il s'agit notamment de relier de petites stations météorologiques à des sites Internet. Une station météorologique relativement peu coûteuse peut être achetée, pour une communauté agricole, et ajoutée à un réseau météorologique gratuit comme Weather Underground (<http://www.wunderground.com/>), qui met les données locales à la disposition des autres. Les agriculteurs peuvent ensuite les exploiter pour obtenir des données météorologiques en temps réel et des modèles liés à l'évolution de la croissance des cultures et aux prédictions sur les ravageurs et les maladies.

Les émissions de la radio rurale qui comprennent des débats sur l'importance de la biodiversité des cultures constituent l'un des moyens les plus rapides et les plus puissants pour informer et sensibiliser les habitants des zones rurales et semi-urbaines. La radio rurale ne se limite pas à la diffusion de l'information aux parties prenantes, mais offre également un forum permettant de partager les opinions sur diverses questions avec un public plus large. Souvent, les connaissances traditionnelles sont intégrées dans des chansons, des poèmes et des contes populaires, qui reflètent les valeurs sociales et culturelles de la communauté. L'information ou un message peut donc être transmis par

le biais de pièces de théâtre itinérantes, de musique et de représentations de poésies ayant pour thème la biodiversité des cultures.

Les registres publics locaux créés à l'initiative d'organisations de recherche ou de la société civile visant à documenter la biodiversité et ses utilisations au niveau local sont de plus en plus courants, en particulier dans les pays en développement. Bien que les objectifs initiaux des registres locaux soient très différents, ils représentent tous, dans une certaine mesure, une forme de «banque de mémoire». Ce terme a été inventé par Nazarea-Sandoval (1998) pour désigner la collecte et la documentation des connaissances des agriculteurs en vue d'une utilisation future et constitue une analogie avec le stockage et la documentation du germoplasme dans une banque de gènes. La banque de mémoire sert à saisir et à enregistrer les dimensions culturelles de la biodiversité végétale, notamment les noms locaux, les technologies des autochtones et les utilisations associées aux différentes plantes et variétés qui ont été traditionnellement transmises d'une génération à l'autre oralement. Ces dimensions seront alors accessibles aux communautés locales qui pourront les gérer. L'encadré 12.2 donne des exemples de registres nationaux de variétés traditionnelles et de registres communautaires de biodiversité.

Les registres locaux ou nationaux de diversité génétique des cultures permettent non seulement de documenter les variétés locales ainsi que les mémoires et les connaissances qui leur sont associées, mais aussi de protéger ces variétés contre les appropriations frauduleuses. En divulguant les variétés des agriculteurs au public, le caractère ouvert de ces variétés est assuré contre les tentatives de les soumettre à des brevets ou à la protection des variétés végétales. Le noyau d'une telle stratégie de protection défensive est une description détaillée de la variété de l'agriculteur dans un document public. Rendre les registres facilement accessibles aux examinateurs de brevets fait partie des stratégies de protection défensive.

Actions Visant à Améliorer le Matériel des Variétés Traditionnelles

Même lorsque les variétés traditionnelles répondent à certains besoins des agriculteurs, des contraintes peuvent limiter l'utilisation de ce matériel ou empêcher son utilisation d'atteindre son plein potentiel. Les conditions de l'environnement ou du marché peuvent avoir changé, ou les variétés peuvent être devenues sensibles à de nouveaux ravageurs et maladies. Certains traits de qualité sont profondément ancrés dans la culture alimentaire locale et ont peu de possibilités d'extension au-delà des communautés locales. Les populations

Encadré 12.2. Registres Nationaux et Communautaires des Variétés de Cultures Traditionnelles

Registres Communautaires de la Biodiversité

Un registre communautaire de la biodiversité (CBR) est un registre des variétés de cultures traditionnelles d'une communauté qui est maintenu par les membres de la communauté et peut contenir des informations telles que les caractéristiques agromorphologiques et agronomiques, l'adaptation agro-écologique, les utilisations spéciales, les traits uniques, le lieu d'origine et le dépositaire de la variété. Les gestionnaires des registres communautaires de la biodiversité ne se contentent pas de suivre les foyers qui stockent les semences, mais ils contribuent également à la gestion des semences au niveau communautaire et encouragent l'échange informel de semences et d'informations entre agriculteurs.

Registres Nationaux des Variétés Traditionnelles

Au Pérou, l'Institut national de recherche et de technologie agricole et alimentaire (Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria [INIA]) a développé un registre en ligne des variétés indigènes de pommes de terre (Ruiz, 2009) Ce registre a été sanctionné par la loi et son maintien est soutenu par des fonds publics.

Les efforts visant à documenter le patrimoine phylogénétique national et local ne sont pas exclusifs au monde en développement. Nous pouvons trouver des exemples de registres et de catalogues de variétés traditionnelles au Portugal, en France et en Italie. En général, la principale condition requise à l'introduction d'une variété dans ces registres est de fournir une bonne description de la variété et de confirmer qu'elle est utilisée depuis longtemps et peut donc être considérée comme «traditionnelle».

traditionnelles de variétés de cultures peuvent elles-mêmes ne pas être uniformes dans leurs traits d'adaptation ou de qualité, présentant des variations significatives à la fois au sein des populations et entre elles. Ces populations peuvent être améliorées par la sélection selon trois principales méthodes. L'une de ces méthodes consiste en une simple sélection de trait à partir de la diversité existante des populations locales (par exemple, la sélection massale est la sélection et l'utilisation pour la génération suivante de semences issues de plantes individuelles sur la base de caractéristiques phénotypiques préférées ou non préférées). Des sélectionneurs travaillant avec des agriculteurs de Yaxcabá, Yucatán, au Mexique, ont amélioré la productivité des variétés traditionnelles du maïs grâce à des techniques de sélection massale. Juste avant et pendant la floraison (plutôt que pendant le stockage post-récolte, comme c'est la pratique traditionnelle des agriculteurs), les plantes présentant les caractéristiques souhaitées ont été choisies et, au moment de la récolte, ont été sélectionnées de nouveau pour choisir les plantes les plus saines et les plus productives, en

utilisant une pression de sélection de 20 % pour éviter la dérive génétique et conformément à la préférence des agriculteurs. Ce processus a ensuite été répété cinq fois, et les populations sélectionnées en masse ont été évaluées chaque année sur le plan agronomique, en évaluant le rendement en grains et la qualité des plantes. Les rapports sur les gains attendus suite à la sélection massale étaient de l'ordre de 2 % par cycle. Dans le plateau central du Mexique, les gains obtenus pour trois cycles de sélection et plus de cinq populations étaient globalement de l'ordre de 20 % (Smith et *al.*, 2001).

Une deuxième méthode consiste en la sélection de lignées fixées (variété stable issue de lignées avancées diffusées ou de variétés traditionnelles) par les agriculteurs dans leurs environnements cibles en utilisant leurs propres critères de sélection (sélection variétale participative). Une troisième méthode consiste à croiser un parent local avec une variété étrangère afin d'éliminer les caractères indésirables de la diversité locale (par exemple, la sélection végétale participative (PPB; Figures 12.2 et 12.3; voir aussi le chapitre 3)). La sélection végétale participative est un processus de sélection dans lequel les agriculteurs et les sélectionneurs de plantes sélectionnent conjointement des cultivars à partir d'un matériel en ségrégation dans un environnement cible.

Comme mentionné au chapitre 5, les stratégies de sélection assistée par marqueurs et de sélection génomique peuvent aider à accélérer les cycles de sélection. La variation génomique des plantes peut être analysée par génotypage en séquençant les sources de phénotypes désirables identifiées par les agriculteurs et appliquée pour guider les efforts de croisement à la ferme afin de maximiser la probabilité de sélectionner les traits cibles souhaités, tout en maintenant autant de diversité que possible dans le programme de sélection végétale participative. L'élément le plus critique de tout programme de sélection végétale participative est la fixation d'un objectif de sélection par une communauté agricole; les sélectionneurs de plantes aident les agriculteurs à améliorer le matériel local dans les environnements cibles; et les agriculteurs contribuent à la sélection avant et après la récolte. L'annexe C présente certains des principaux champions de la sélection végétale participative et fait référence à leurs différentes contributions au champ.

La sélection pour la diversité sur une base génétique comprend la sélection pour des multilignées, qui sont des mélanges de lignées ou de variétés génétiquement similaires qui diffèrent principalement par leurs résistances à différents pathotypes. Elles sont utilisées dans le cas des céréales aux États-Unis et en Europe (Finckh et Wolfe, 2006) et pour le café (*Coffea arabica*) en Colombie. La variété Colombia est une multilignée issue de lignées de café

	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S
Sélection du germoplasme source	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓		✓
Développement du trait	✓		✓	✓	✓	✓		✓		✓		✓
Développement du cultivar	✓		✓		✓	✓		✓		✓		✓
Evaluation variétale	✓		✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓
	Modèle 1: Sélection paysanne traditionnelle		Modèle 2: Sélection à la base		Modèle 3: Sélection participative complète		Modèle 4: Sélection participative efficace		Modèle 5: Sélection variétale participative		Modèle 6: Sélection végétale «conventionnelle»	
Typologie	FB		GB		PPB		COB		PVS		CPB	

Note: F=Agriculteur, S=Scientifique

(Source: Modifiée à partir de la publication de Morris et Bellon, 2004)

Figure 12.2. Diverses approches de la sélection végétale participative basées sur les étapes de participation des agriculteurs (F) et des scientifiques/sélectionneurs (S) au processus de sélection (adapté de la publication de Morris et Bellon, 2004 dans *Euphytica*, par le cercle d'étude néerlandais de la sélection végétale, reproduit avec l'autorisation de springer-verlag dordrecht dans le format utilisé dans un livre/manuel via Copyright Clearance Center)

résistantes à la rouille (causée par *Hemilera vastatrix*) et est cultivée sur plus de 360.000 ha (Moreno-Ruiz et Castillo-Zapata, 1990; Browning, 1997). Parmi les autres concepts de sélection, figurent la sélection des populations, les croisements composites, les croisements supérieurs (top cross) et les multilignées qui font tous appel à la diversité au sein de la culture (Wolfe et Finckh, 1997).

Actions Destinées à Améliorer la Gestion de la Diversité des Cultures Traditionnelles

Les pratiques de gestion ont été utilisées pour améliorer la productivité et la stabilité des variétés traditionnelles dans les systèmes de production des agriculteurs. La culture de mélanges de variétés traditionnelles ou de populations de cultures à forte variabilité génétique, pour réduire les ravageurs et les maladies à la ferme et pour réduire la vulnérabilité génétique à de futures infestations a fait l'objet de discussions approfondies au chapitre 7. La gestion d'ensembles de variétés ou de populations de cultures, présentant différents niveaux d'évitement ou de tolérance aux stress abiotiques, fait désormais partie de la stratégie de subsistance des agriculteurs d'Afrique subsaharienne. Elle

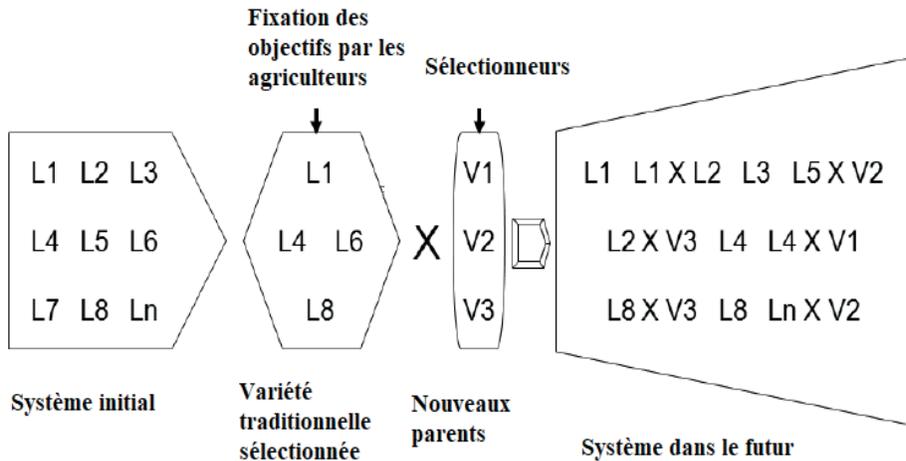


Figure 12.3. Cadre conceptuel de la sélection végétale participative qui favorise l'amélioration de la diversité des cultures locales et élargit la base du système de semences des agriculteurs et la résilience des communautés face à l'adversité environnementale et socio-économique (adapté de Sthapit et *al.*, 2001, avec l'autorisation de Bioversity International)

permettra de réduire la probabilité de perte de rendement due à des régimes imprévisibles de précipitations et de températures. L'augmentation de la diversité des arbres fruitiers dans les vergers et les jardins familiaux a permis d'améliorer l'hybridation entre les insectes et les pollinisateurs pour une meilleure production de fruits. Ceci comprend un mélange de variétés hautes et naines, et des types à floraison précoce, moyenne et tardive, intégrés à d'autres arbres pérennes. La diversité variétale des cultures en périodes de floraison peut être utilisée pour augmenter les types de pollinisateurs qui visitent à différents moments de la saison, et pour maintenir les populations d'abeilles pendant les périodes où les fleurs sauvages ne sont pas encore présentes (voir chapitre 7).

Des méthodes de greffe latérale utilisant un plus grand nombre de greffons provenant de toute une gamme d'arbres mères locaux, et des variétés introduites à partir d'autres régions suite à un échange de plantules, ont été utilisées pour accroître la diversité variétale des arbres fruitiers tropicaux non irrigués comme le manguier (Phichit et *al.*, 2012). L'amélioration du nettoyage des semences des variétés et des conditions de stockage (voir le chapitre 11) constituent des moyens supplémentaires d'améliorer la productivité des variétés de cultures traditionnelles. Ces pratiques qui utilisent la diversité génétique des plantes cultivées pour une production durable ne sont pas nécessairement des pratiques autonomes; elles sont plus souvent utilisées dans le cadre d'autres pratiques de gestion de l'eau, du sol, ou de

lutte intégrée contre les ravageurs ou encore de gestion agronomique, comme décrit au chapitre 7.

Les Agriculteurs Bénéficient de l'Utilisation du Matériel et de sa Conservation

Accroître les avantages de la diversité des cultures locales pour les agriculteurs signifie améliorer les bénéfices nets, car toute option génératrice de bénéfices pourrait également entraîner des coûts pour les agriculteurs. Il s'agit de veiller à ce que des incitations appropriées à la création et au partage des avantages avec les agriculteurs soient mises en place et que des obstacles inutiles ou involontaires ne soient pas créés par l'introduction de taxes et de subventions. Les outils permettant de mesurer les avantages commerciaux et non commerciaux de la conservation et de l'utilisation de la diversité génétique des cultures dans le système de production ont été décrits au chapitre 9. Nous présentons ci-après différentes stratégies qui aident les communautés d'agriculteurs à tirer profit de la conservation et de l'utilisation des variétés de cultures traditionnelles. Le succès de ces stratégies implique de soutenir les institutions locales, de renforcer l'action collective et les droits de propriété. Il permet également aux agriculteurs de participer au processus décisionnel et de le diriger vers l'action appropriée et sa mise en œuvre.

Transformation Améliorée

La technologie de transformation standard actuelle nécessite des variétés uniformes. Il est rare d'appliquer des ajustements aux machines de semis et de récolte, ou aux dispositifs qui sont soit conçus pour la séparation des variétés diversifiées en différents produits récoltés, soit adaptés à des semences de petite taille. Bien que le semis et la récolte de petites céréales telles que le millet et le sarrasin nécessitent relativement peu de main-d'œuvre, la transformation de ces céréales à petits grains en produits de consommation est extrêmement exigeante en main-d'œuvre et est principalement effectuée par des femmes. De simples ajustements des machines pour le semis et la récolte, ainsi que des dispositifs plus complexes conçus pour traiter un matériel diversifié, ont commencé à être disponibles mais ils sont rares et peu connus (Finckh, 2008). L'ajustement de l'équipement de transformation nécessite également la formation des producteurs à des techniques de transformation améliorées. La mise à disposition des détaillants d'informations sur les avantages des différents équipements de transformation, et l'octroi de crédits pour l'acquisition

d'équipements de transformation peuvent être liés à un microcrédit destiné à l'achat ou à l'ajustement de l'équipement.

L'augmentation des avantages pour les agriculteurs grâce à la transformation est l'une des options les plus coûteuses et les plus longues pour améliorer la conservation à la ferme. Des recherches économiques détaillées et des études pilotes sur échantillon sont généralement nécessaires pour déterminer si une initiative peut être rentable et durable. Les usines de transformation peuvent être à forte intensité de capital. De plus, le développement d'une industrie pour fournir un produit agricole est susceptible de nécessiter une autorisation et une réglementation du gouvernement. L'un des avantages de cette approche est que les interventions visant à accroître les bénéfices pour les agriculteurs grâce à la transformation peuvent constituer un mécanisme durable de développement économique et (après un investissement initial) peuvent ne nécessiter qu'un minimum de suivi et d'entretien.

Création et Promotion du «Marché de la Diversité»

Les marchés de gros conventionnels accordent souvent une importance excessive aux caractéristiques agronomiques et fonctionnelles et sous-estiment les caractéristiques spécifiques et uniques du marché et des consommateurs. Les systèmes de contrôle de la qualité peuvent homogénéiser les processus de production, ce qui peut impliquer l'abandon des connaissances et des pratiques traditionnelles. En créant des chaînes de marché (voir chapitre 9) pour la commercialisation des variétés traditionnelles et de leurs produits, et en augmentant à la fois la demande et l'offre de ces produits, la valeur commerciale peut augmenter et par conséquent l'intérêt des agriculteurs à les cultiver et à les vendre également. La valeur marchande de la production agricole peut être augmentée par le développement de nouveaux marchés, l'amélioration de la commercialisation, la différenciation des produits à forte valeur, l'amélioration des équipements de transformation adaptés à des matières premières diversifiées et l'instauration d'un climat de confiance entre les acteurs de la chaîne de commercialisation.

La promotion commerciale de la diversité variétale des cultures peut être soutenue par le biais de taxes et de subventions. Des taxes peuvent être prélevées en cas de pratiques agricoles qui nuisent à l'environnement et des subventions peuvent être accordées pour les pratiques respectueuses de l'environnement. Les outils de labellisation de la qualité peuvent contribuer à ajouter de la valeur aux variétés et aux produits issus des systèmes agricoles traditionnels.

Les indications géographiques et les labels d'agriculture biologique sont devenus très courants au cours des dernières décennies, et leur utilisation est souvent liée à la conservation de la biodiversité agricole et des pratiques agricoles traditionnelles. Une indication géographique est un signe utilisé sur des produits qui ont une origine géographique spécifique et qui possèdent des qualités et une réputation qui résultent de ce lieu d'origine. Il s'agit d'une forme de protection dans le cadre de l'Accord sur les Aspects des Droits de Propriété Intellectuelle qui touchent au Commerce (ADPIC ou TRIPS selon l'acronyme anglais) de l'Organisation Mondiale du Commerce (OMC ou WTO selon l'acronyme anglais). Une indication géographique est utilisée pour éviter la concurrence avec des produits similaires sur les marchés nationaux et internationaux. Elle protège des actifs économiques intangibles tels que la qualité et la réputation d'un produit en le différenciant sur le marché. C'est un outil pour maintenir la multifonctionnalité des paysages ruraux et impliquer les populations locales dans la gestion et la conservation de la biodiversité en les incitant à commercialiser des produits spéciaux.

Parmi les exemples les plus connus d'indications géographiques figurent le fromage grec feta, le vin mousseux français champagne et la boisson distillée mexicaine tequila. Il existe différentes sortes d'indications: les indications d'origine géographique, les indications géographiques protégées, les appellations d'origine protégées, les appellations d'origine, et les dénominations d'origine. Elles présentent toutes des caractéristiques légèrement différentes, mais partagent un principe commun: un lien étroit avec un territoire et un savoir collectif que l'on retrouve traditionnellement sur ce territoire. Sur la base de la philosophie qui sous-tend les indications géographiques et les labels de qualité de l'agriculture biologique, d'autres options de labellisation peuvent être mises en place par la réglementation du marché afin de distinguer les produits qui sont basés sur la culture de différentes variétés de cultivées de ceux qui favorisent plutôt la monoculture et l'homogénéisation des variétés.

Si le produit est basé sur une seule variété qui définit le caractère du produit en termes de perception du consommateur, alors la création d'un marché pour cette variété peut contribuer à la perte de diversité génétique. C'est ce qui s'est passé avec le riz Hai Hau Tam Xoan au Vietnam et le quinoa Real en Bolivie. Dans les deux cas, le succès de l'indication géographique a conduit à la marginalisation d'autres variétés, entraînant une perte de diversité pour l'ensemble de la culture (Larson Guerra, 2010). La question de savoir si les indications géographiques ou les marchés de niche pour les variétés traditionnelles qui sont «les mieux adaptées» à des écosystèmes particuliers

favorisent ou non l'utilisation continue de la diversité des cultures, pour la production des biens protégés par l'indication, dépend donc des caractéristiques du produit et de la taille de son marché.

Dans le district de Kaski, au Népal, des entreprises artisanales privées comme Gunilo et Bandobasta commercialisent des produits fabriqués à partir de cultures locales qui ont une valeur particulière pour la culture alimentaire locale et une niche de marché pour le tourisme. Un réseau de ces entrepreneurs a été mis en place et relié aux communautés agricoles. Une organisation non gouvernementale a facilité une réunion pendant laquelle les agriculteurs et les entrepreneurs ont identifié ensemble des produits locaux de grande valeur pour les consommateurs afin de prendre des décisions en matière de production et de commercialisation. Une association d'hôtels et de restaurants a également été sensibilisée à l'utilisation de plus de produits locaux dans la cuisine quotidienne, et les chefs cuisiniers ont adapté les recettes locales pour tirer le meilleur profit des nouveaux produits (Rana et Sthapit, 2011).

Le commerce équitable et le label écologique constituent des stratégies de conservation fondées sur le marché dans le cadre desquelles les consommateurs paient un prix plus élevé pour un produit obtenu dans des fermes certifiées qui s'engagent à préserver la biodiversité ou à offrir des conditions de travail équitables. Le label du commerce équitable exige l'accord des acheteurs à : (1) payer un prix qui couvre les coûts de production et une prime sociale; (2) verser une avance; (3) acheter directement auprès du producteur; et (4) établir des contrats à long terme. Le commerce équitable se concentre davantage sur le côté humain de la production, tandis que le label écologique s'intéresse aux pratiques environnementales ou aux producteurs. Indirectement, ils peuvent stimuler l'utilisation de la diversité des cultures dans les systèmes de production, mais la relation doit être mieux étudiée. Ces produits peuvent être liés à des campagnes publicitaires visant à sensibiliser davantage le consommateur et le détaillant à des caractéristiques importantes (par exemple, nutritionnelles, adaptatives). Ces campagnes fournissent des informations sur les véritables coûts environnementaux des produits cultivés avec des niveaux élevés d'intrants chimiques par rapport à d'autres pratiques de gestion telles que celles impliquant des variétés de cultures traditionnelles.

La distinction entre les produits agricoles et alimentaires, obtenus, selon les principes de l'agriculture biologique, a également été utilisée pour créer des incitations au maintien de cultures et de variétés adaptées aux conditions environnementales nécessitant peu d'intrants externes (engrais, pesticides, irrigation, etc.) et qui sont donc plus respectueuses de l'environnement. Avec le

développement de l'agriculture biologique, la demande de variétés améliorées adaptées à ce modèle de production favorise la revalorisation et l'utilisation des variétés locales et traditionnelles dans les programmes de sélection.

Les principaux aspects de l'agriculture biologique sont résumés dans la Fédération Internationale des Mouvements de l'Agriculture Biologique (IFOAM), approuvée en 2005, sous les quatre principes directeurs suivants: 1) Santé—L'agriculture biologique doit soutenir et améliorer la santé des sols, des plantes, des animaux et des êtres humains en tant qu'entité unique et indivisible; (2) Écologie—L'agriculture biologique doit être basée sur des systèmes et des cycles écologiques vivants, travailler avec eux, les imiter et contribuer à leur durabilité; (3) Équité—L'agriculture biologique doit s'appuyer sur des relations qui garantissent l'équité en ce qui concerne l'environnement commun et les possibilités de vie; et (4) Prudence—L'agriculture biologique doit être gérée de manière prudente et responsable afin de protéger la santé et le bien-être des générations actuelles et futures ainsi que l'environnement.

Dans le domaine de la sélection pour les systèmes agricoles biologiques et à faibles intrants, un regain d'intérêt se manifeste pour l'utilisation des variétés traditionnelles, non seulement en tant que ressource génétique isolée des terres cultivées, mais également en tant que condition nécessaire à l'existence d'agroécosystèmes résistants aux changements environnementaux (SOLIBAM, 2011). Les variétés disponibles dans le commerce ont été en grande partie développées pour être performantes dans des conditions à fort apport d'intrants, et souvent elles ne parviennent pas à obtenir des rendements acceptables et fiables dans des environnements biologiques plus hétérogènes. Contrairement à l'approche habituelle de la sélection commerciale, où les associations entre les marqueurs moléculaires et les phénotypes sont étudiées selon un modèle spécifique optimisé pour leur détection (cartographie des locus à traits quantitatifs [QTL]), la sélection pour les systèmes biologiques et à faible apport d'intrants se concentre sur les populations et les plantes développées pour ces systèmes. Les polymorphismes dans les populations de sélection sont développés pour évaluer l'évolution de la diversité génétique dans différentes conditions de gestion des cultures et d'agroécologie afin de comprendre les réponses de différents types de populations, telles que les populations croisées composites, les mélanges et les variétés traditionnelles. Ceci a pour but de développer des stratégies pour maintenir des niveaux appropriés de diversité au sein des variétés de la population. Les niveaux et la variabilité des croisements dans les populations sont également évalués afin d'élaborer des stratégies visant à augmenter et à maintenir l'hétérozygotie et l'hétérogénéité, et ainsi à mettre

en place une capacité tampon au sein des populations face aux changements des conditions environnementales et écologiques (Wolfe *et al.*, 2008; Goldringer *et al.*, 2010; Lammerts van Bueren et Myers, 2011).

Réglementations de l'Utilisation des Terres et Mesures Incitatives

L'éthique générale du respect de l'environnement a gagné en importance dans une grande partie des pays développés grâce à une large association avec les peuples autochtones et les modes de vie traditionnels (Chapitre 3). Cet objectif a été atteint en grande partie grâce à des campagnes de sensibilisation du public, qui utilisent les médias pour diffuser des messages sur le succès potentiel de pratiques de gestion environnementale écologiquement rationnelles. Bien qu'ils aient joué jusqu'à présent un rôle relativement limité dans ces campagnes médiatiques, les systèmes agricoles locaux pourraient occuper une place importante dans ce type de messages. Ils permettent la diffusion des informations sur les processus et les implications de l'érosion génétique, ainsi que sur l'importance du maintien de la diversité génétique des cultures, au sein des systèmes de production des agriculteurs.

Les mesures d'incitation au maintien de la diversité à la ferme peuvent également comprendre la réglementation et la planification de l'utilisation des terres pour établir des zones agro-écologiques protégées et des zones agrotouristiques, ou pour promouvoir des méthodes agricoles à faibles intrants dans les zones écologiquement sensibles. En Hongrie, par exemple, les terres classées comme zones écologiquement sensibles ont été considérées comme des sites cibles pour la promotion de l'agriculture biologique, qui pourraient être plus propices à l'utilisation de variétés de cultures traditionnelles (Bela *et al.*, 2006). Le Pérou a créé un cadre juridique régissant la création et le maintien de zones d'agrobiodiversité, qui comprend différentes façons de soutenir les agriculteurs dans ces zones (Ruiz, 2009). L'Équateur a mis en place des programmes de promotion des zones agrotouristiques et des jardins botaniques d'agrobiodiversité. Ces deux programmes mettent l'accent sur la diversité des cultures traditionnelles en tant qu'élément de l'identité culturelle et fournissent une base permettant aux communautés agricoles locales de participer aux activités économiques liées au tourisme.

En général, les agriculteurs qui disposent de droits fonciers garantis sur les terres qu'ils cultivent sont plus intéressés par l'adoption de pratiques de gestion à long terme qui préservent la fertilité des sols, la qualité de l'eau et les autres ressources nécessaires au fil des ans que ceux dont les droits sur la terre ne sont pas assurés à long terme. Plusieurs études ont démontré que

les agriculteurs propriétaires de leurs terres ou bénéficiant de régimes fonciers fiables à long terme sont davantage incités à prendre soin de la terre en cultivant et en pratiquant une rotation plus diversifiée des cultures.

Dans les anciennes républiques communistes d'Asie centrale, pendant les décennies communistes, la planification centrale soviétique a privilégié la culture du blé et du coton par rapport à celle des fruits et légumes et a attribué les terres en conséquence. Les jardins familiaux, qui ont une superficie maximale d'un hectare en moyenne, étaient le seul espace qui permettait aux agriculteurs de déployer leur autonomie, grâce à un régime foncier stable. La plupart des agriculteurs du Kazakhstan, du Kirghizistan, du Tadjikistan, du Turkménistan et de l'Ouzbékistan possédaient les terres utilisées pour le jardinage, qu'ils utilisaient pour cultiver des légumes et des fruits pour leur propre consommation et aussi pour accroître les options économiques offertes par le système centralisé. Par conséquent, les jardins familiaux sont devenus d'authentiques réservoirs de diversité des cultures fruitières et horticoles, des centres d'expérimentation et d'innovation, et des éléments essentiels des stratégies de subsistance dans ces pays. Bien que la planification centrale de l'État ait diminué après la transition des pays vers une économie de marché, dans certains pays, les jardins familiaux sont encore le seul espace où les droits de propriété des agriculteurs sont reconnus et où l'initiative individuelle est autorisée, ce qui a permis de maintenir les pratiques agricoles traditionnelles et les variétés de cultures locales dans ces petites parcelles de terre (Lapeña et *al.*, 2013).

Adaptation des Paiements des Services Écosystémiques pour la Conservation de la Diversité des Cultures à la Ferme

Les paiements pour les services écosystémiques sont des incitations basées sur le marché visant à stimuler la conservation des services écosystémiques par le biais de redevances, de permis négociables, de subventions et de réductions des frictions du marché. Les systèmes de paiement des services environnementaux (PSE) permettent la «capture» des valeurs publiques de conservation au niveau des agriculteurs. Ils créent ainsi des incitations à la conservation de l'agrobiodiversité et favorisant la réduction de la pauvreté (voir FAO, 2011). Les paiements peuvent être de plus petite échelle et peuvent concerner des groupements qui relient les communautés en amont et celles qui sont en aval. Ces schémas nécessitent une prise de conscience de la part des utilisateurs quant au rôle potentiel des communautés en amont et en aval dans la gestion du bassin versant. En général, cela implique la création d'une coopérative des utilisateurs en amont et en aval (Encadré 12.3).

Jusqu'à présent, les services écosystémiques ont généralement été plus associés aux zones naturelles, et beaucoup moins aux écosystèmes cultivés tels que les champs agricoles. En général, les agriculteurs ne sont pas encouragés à prendre en compte les impacts de leurs pratiques sur les services écosystémiques issus de la diversité agricole lorsque ces services ne se traduisent pas par des bénéfices au niveau de la ferme. Le chapitre 6 a abordé le processus d'identification des services écosystémiques dérivés de l'utilisation de la diversité génétique des cultures, tels que le contrôle des ravageurs et des maladies, le maintien de la pollinisation, la réduction de l'érosion des sols et l'utilisation efficace des ressources en eau. Une meilleure information sur l'existence de ces services et leur portée, ainsi que de meilleurs systèmes de suivi et d'incitation, peuvent influencer les décisions des agriculteurs en matière de diversité des cultures de manière à améliorer l'environnement.

Conclusion

Toute analyse de l'étendue et de la distribution de la diversité génétique des plantes cultivées et toute compréhension de la manière dont elle est maintenue par le biais des institutions et des pratiques locales sont susceptibles d'aboutir à l'identification d'un certain nombre d'actions de soutien complémentaires plutôt qu'à une solution perspective unique. L'un des principaux facteurs déterminants est que toute décision de mettre en œuvre une action particulière, qui soutient le maintien et l'utilisation de la diversité génétique des cultures traditionnelles dans les systèmes de production, dépendra des connaissances et de la capacité de leadership des agriculteurs et de la communauté agricole à évaluer les avantages que cette action leur apportera. Ce principe souligne à son tour l'importance des activités (menées par des organisations ou agences locales, nationales et internationales) qui renforcent les institutions locales afin de permettre aux agriculteurs de jouer un plus grand rôle dans la gestion de leurs ressources.

Encadré 12.3. Coopérative du Lac Rupa au Népal

La coopérative de restauration et de pêche du lac Rupa a été fondée en 2001 par une communauté en aval pour laquelle la pêche constitue une part importante de sa stratégie de subsistance. Afin de réduire l'érosion due aux pratiques de gestion agricole en amont, la coopérative a mis en place un mécanisme de partage des avantages afin d'inciter les communautés et les divers groupes d'utilisateurs en amont, à conserver le bassin versant. Le processus a été développé par le biais de mécanismes traditionnels, en l'absence de marchés officiels pour les services environnementaux. La coopérative Rupa verse 10 % de ses revenus provenant de la gestion de la pêche aux communautés en amont dans le but de garantir de bonnes pratiques de gestion des cultures pour réduire l'envasement et promouvoir la qualité de l'eau. Le mécanisme de paiement est volontaire. Aucun contrat ou accord n'est conclu entre les acheteurs (la coopérative) et les vendeurs (utilisateurs en amont). Chaque année la coopérative effectue des paiements directs à différents groupes d'utilisateurs, tels que les écoles et les communautés, qui demandent un financement pour des activités précises de gestion des bassins versants. Des récompenses ou des paiements indirects sont également effectués par la coopérative en nature en fournissant des plantules (Pradhan et *al.*, 2010).

Lectures Complémentaires

- Biodiversity International. 2008. *Manuel de formation des formateurs sur les champs de diversité*. Biodiversity International, Rome, Italy.
- de Boef, W. S., A. Subedi, M. Thijssen, and E. O'Keeffe, Eds. 2013. *Community Biodiversity Management: Promoting Resilience and the Conservation of Plant Genetic Resources*. Routledge, Milton Park, Abingdon, Oxon.
- Jarvis, D. I., T. Hodgkin, B. R. Sthapit, C. Fadda, and I. López Noriega. 2011. "An heuristic framework for identifying multiple ways of supporting the conservation and use of traditional crop varieties within the agricultural production system". *Critical Reviews in Plant Science* 30:125–76.
- Vernooy, R., P. Shrestha, and B. Sthapit (Eds.) (2015) *Community Seed Banks: Origins, Evolution and Prospects*. Routledge, Milton Park, Abingdon, Oxon.



Planche 13. En haut à gauche: visite inter-sites au Maroc à laquelle ont participé 20 femmes venant de trois sites situés dans différents agroécosystèmes du Maroc (l'Atlas Nord, le Moyen Atlas et l'Oasis), elles se sont rendues sur chacun des autres sites pour voir les variétés de fève, d'orge, de luzerne et de blé dur dans les différents sites. En haut à droite: Foire de la diversité à Kabwohe, au centre de l'Ouganda, où des groupes d'agriculteurs de différents villages ont montré la diversité de leurs différentes variétés de haricots. En bas à gauche: des agriculteurs examinant différentes variétés traditionnelles de haricots dans une foire de la diversité à Saraguro, en Équateur. En bas à droite: exemple de petits moulins fabriqués spécialement pour économiser la main-d'œuvre et traiter les petites céréales comme le millet dans les collines de Kolli, dans l'État du Tamil Nadu en Inde. Crédits photos: D. Jarvis (en haut à gauche), C. Fadda (en haut à droite), J. Coronel (en bas à gauche), S. Padulosi (en bas à droite).



Planche 14. Les banques de gènes communautaires sont axées sur la collecte et le stockage de la diversité des cultures locales et donnent accès à une petite quantité de semences comme source de germoplasme. En revanche, une banque de semences communautaire est utilisée pour assurer la disponibilité de semences locales pour la sécurité alimentaire, et les semences sont multipliées pour être distribuées directement aux agriculteurs. En haut à gauche: banque de semences communautaire au Népal où des variétés traditionnelles de riz et de courge sont disponibles pour que les agriculteurs les «empruntent», les prennent et les cultivent, puis retournent les semences de leur récolte. En haut à droite: compartiment de stockage à cinq mètres sous terre au Burkina Faso pour une banque de semences communautaire qui peut être scellée pour la protéger de la sécheresse ou des troubles civils. En bas à gauche: les forums de diversité à la ferme(DFF) au Mali, une approche qui a été développée dans des environnements à faible héritabilité en Afrique de l'Ouest pour renforcer la capacité des agriculteurs à analyser et gérer leurs propres ressources phytogénétiques. En bas à droite: pièce théâtrale sur la diversité en bordure de route intitulée «Tels sont les événements d'un village», organisée par des groupes de femmes dans le village de Khola Ko Chew, district de Kaski, au Népal. La pièce est basée sur une histoire vraie du village qui démontre la valeur de la culture du riz sauvage chez les variétés de riz traditionnelles environnantes. Crédits photos: B. Sthapit (en haut à gauche et en bas à droite), D. Balma (en haut à droite), R. Vodouhe (en bas à gauche).

CHAPITRE 13

Conclusions

Variétés Traditionnelles et Productivité Agricole

Les chapitres de ce livre décrivent les nombreuses approches permettant de comprendre où, comment et pourquoi les agriculteurs utilisent aujourd'hui les variétés traditionnelles de leurs cultures. Ils présentent un grand nombre de méthodes et d'exemples qui identifient et caractérisent les hommes et les femmes qui maintiennent la diversité des cultures, notamment leur contexte écologique et social ainsi que la quantité et la distribution de la diversité qui en résulte. Les méthodes utilisées proviennent d'un large champ de disciplines: génétique, écologie, agronomie, économie, sociologie, ethnobotanique et aspects culturels des communautés agricoles. Chaque domaine d'étude apporte une contribution essentielle au développement d'une compréhension globale des caractéristiques régissant la diversité génétique des cultures dans tout système de production agricole.

L'importance de travailler de manière participative avec les agriculteurs et les communautés est apparue à maintes reprises. Cette clé du succès des résultats de la recherche est en fait l'un de ses aspects les plus passionnants. Le fait d'inclure des diagnostics participatifs dans nos méthodes d'analyse nous permet de mieux comprendre les processus subtils et évidents de la sélection pratiquée par l'Homme qui nourrissent la diversité à la ferme. Des interventions telles que celles décrites au chapitre 12 peuvent ensuite être ancrées dans des processus qui amélioreront les moyens de subsistance des communautés agricoles. Les méthodes décrites aux chapitres 4 à 11 ont été développées, testées et utilisées par des chercheurs travaillant avec des agriculteurs locaux pour atteindre cet objectif.

Une deuxième caractéristique de la recherche sur la diversité à la ferme se concrétise par le regroupement de chercheurs issus de diverses disciplines. L'une des leçons tirées de ces recherches antérieures est que la coopération entre les chercheurs doit aller au-delà du simple recours à de nombreuses disciplines. La recherche multidisciplinaire suppose que la diversité des disciplines apporte des méthodes et des idées à une question de recherche

particulière. Les approches interdisciplinaires vont plus loin et définissent une question commune, dans un langage que tous les chercheurs partagent, en utilisant des modèles qui se recoupent et en contribuant à une analyse commune. La recherche transdisciplinaire (sensu Rosenfield, 1992) est un autre degré d'intégration dans lequel les chercheurs de différents domaines, les agriculteurs et les acteurs concernés non seulement travaillent en étroite collaboration sur un problème commun, mais créent également une conception partagée du problème qui intègre et transcende chacune de leurs perspectives distinctes. Les chapitres précédents montrent que les approches transdisciplinaires constituent un élément essentiel pour s'assurer que les résultats de la recherche éclairent les actions à entreprendre et à soutenir (comme décrit au chapitre 12). En effet, la nature transdisciplinaire d'une recherche fructueuse sur la diversité génétique des plantes cultivées dans les champs des agriculteurs est un autre aspect passionnant et stimulant.

Chaque groupe de chercheurs définira les questions auxquelles ils souhaitent répondre en collaboration avec les communautés avec lesquelles il travaille. Les sections suivantes décrivent les caractéristiques de la diversité génétique des cultures que nous considérons comme particulièrement importantes pour ces questions. Les lecteurs des chapitres précédents peuvent ajouter leurs propres sujets clés à la liste partielle des sujets. De cette façon, un cadre peut émerger pour un programme de recherche transdisciplinaire sur la diversité génétique des cultures, tel que celui proposé par Cristián Samper dans l'avant-propos du présent livre.

Dimensions Socioéconomiques et Politiques

Les variétés traditionnelles et leurs caractéristiques sont des constructions humaines qui évoluent constamment pour répondre aux besoins changeants des agriculteurs et des communautés. Les valeurs de cette diversité sont mises en évidence à l'aide de méthodes économiques, sociales ou culturelles, qui fournissent toutes des informations importantes sur les variétés et sur la manière dont elles sont entretenues, cultivées et utilisées. Le chapitre 9 a présenté un échantillon de méthodes qui explorent les valeurs économiques et tiennent compte des valeurs directes (liées à la production) et des valeurs indirectes (liées au soutien et à la régulation des services écosystémiques). Certaines méthodes explorent les valeurs à différentes échelles et la façon dont la participation des agriculteurs aux chaînes de marché affecte la valeur des variétés pour les producteurs. D'autres méthodes étudient la manière dont les variétés peuvent

réduire les dommages causés par les ravageurs et les maladies et explorent les compromis typiques des décisions concernant les variétés et conditions à utiliser. Parmi les exemples de compromis effectués par les agriculteurs, nous mentionnons l'équilibre entre les variétés à plus haut rendement en grains et les variétés à faible rendement, ainsi que les traits qui répondent à d'autres objectifs, tels que le fourrage pour le bétail ou la qualité des aliments. Même lorsque les marchés locaux fonctionnent bien, les agriculteurs continuent souvent à cultiver des variétés traditionnelles pour satisfaire des besoins particuliers. L'analyse économique devrait reconnaître que les variétés sont des ressources génétiques et des biens publics impurs, ayant à la fois une valeur directe pour les producteurs et une valeur indirecte pour la société dans son ensemble en tant que sources de caractères utiles pour l'amélioration future des cultures. L'analyse économique peut mettre en évidence la manière dont les politiques agricoles au sens large affectent les valeurs des variétés traditionnelles. Parmi les exemples classiques, figurent les subventions accordées à des pratiques particulières de production (utilisation d'engrais ou de pesticides) ou à des produits particuliers (prix fixes pour divers produits de base).

L'économie des systèmes traditionnels de semences est ancrée dans les relations sociales. Les analyses des dimensions sociales visent à découvrir les autres aspects de la valeur des variétés traditionnelles, ainsi que les caractéristiques des hommes et des femmes qui les gèrent. Grâce aux analyses sociales, il est possible de commencer à démêler les différentes façons dont toute société perçoit et gère la diversité qui constitue son système de production (Chapitre 8). Les foyers, les groupes d'agriculteurs, les villages ou les grandes communautés peuvent tous identifier différents objectifs et avantages des variétés traditionnelles et des différentes cultures. Il est essentiel d'explorer les dimensions du genre, de l'âge, de la richesse et du statut social, de la parenté et de l'ethnie, en ventilant les informations en fonction de ces facteurs. Au cours de la dernière décennie en particulier, dans de nombreux pays, la migration et la réduction de la disponibilité de la main-d'œuvre sont devenues des aspects importants du changement social dans l'agriculture, laissant les femmes et les jeunes réaliser les activités à la ferme. Ces changements ont un effet qui est plus permanent. Ils pourraient bien être associés à une modification des caractéristiques des variétés, telles que l'adaptation à un nombre réduit d'interventions des agriculteurs, ou la sélection de traits associés aux besoins de ces groupes.

Il est également important d'étudier le rôle de la politique dans la gestion de la diversité. Des politiques spécifiques affectent les forces socio-économiques—par exemple, les prix de soutien ou les subventions à des modes

de production particuliers ou à des cultures spécifiques. Les politiques relatives aux semences affectent fortement la gestion des variétés traditionnelles. Elles peuvent déterminer la qualité des semences qui peuvent être commercialisées ou la possibilité de commercialiser des variétés traditionnelles qui ne répondent pas à certains critères convenus de distinction, d'homogénéité et de stabilité (DUS). Certains pays, comme l'Inde, ont développé des procédures permettant la reconnaissance et la commercialisation des variétés traditionnelles. Cependant, la plupart des variétés traditionnelles restent fermement ancrées dans des systèmes informels et se situent en dehors des processus politiques formels. En revanche, certaines pratiques informelles locales ou institutions sociales peuvent réglementer leur distribution, leur gestion et leur utilisation. Comme indiqué au chapitre 10, la politique a des dimensions à la fois nationales et internationales, et l'impact plus large des accords internationaux constituent un élément pertinent des dimensions politiques. A titre d'exemples, peuvent être cités l'accord sur les aspects des droits de propriété intellectuelle liés au Commerce (ADPIC ou TRIPS selon l'acronyme anglais), le Protocole de Nagoya de la Convention sur la Diversité Biologique (CBD) et le Traité International sur les Ressources Phytogénétiques pour l'Alimentation et l'Agriculture (TIRPAA ou ITPGRFA selon l'acronyme anglais).

Dimensions Environnementales

De nombreux facteurs environnementaux peuvent influencer sur l'étendue et la distribution des variétés traditionnelles ainsi que sur leur diversité génétique (Chapitre 6). Les méthodes agroécologiques (Gliessman, 2015) constituent un point d'entrée approprié pour toute enquête. En outre, les tests expérimentaux de la diversité variétale des cultures en réponse à des facteurs abiotiques et biotiques—combinés aux connaissances des agriculteurs sur leur environnement, leurs variétés et de leurs procédures de sélection—permettent d'assembler de vastes et riches groupes de données. L'objectif est d'identifier les caractéristiques environnementales les plus influentes, généralement par le biais d'une analyse multivariée. Diverses méthodes peuvent être combinées avec une gamme de procédures de cartographie et de télédétection pour permettre de relier les distributions spatiales de la diversité à des caractéristiques telles que le type de sol, l'altitude et la disponibilité de l'eau.

Lorsque les variétés traditionnelles sont cultivées dans des environnements marginaux, l'accent est mis sur la façon dont les différentes cultures et variétés réagissent aux stress abiotiques et biotiques. La sécheresse,

les températures élevées, le froid extrême et les inondations entraînent tous l'utilisation de variétés présentant des adaptations spécifiques. Le contrôle génétique de la plupart de ces traits de tolérance est souvent très complexe et les liens directs sont généralement difficiles à établir. Une variété peut être cultivée parce qu'elle tolère ou évite un stress spécifique tel que la sécheresse, ou parce qu'elle est soumise à un large éventail de stress, ce qui montre une plasticité de réponse à différents environnements. Il est difficile d'éliminer ces différences et il est essentiel de tenir compte des observations des agriculteurs. Les recherches sur l'influence des facteurs abiotiques et biotiques doivent donc être encadrées par des approches dans lesquelles les agriculteurs et les chercheurs formulent et planifient ensemble la recherche.

Aider les agriculteurs à faire face aux stress abiotiques et biotiques semble être une caractéristique importante de la diversité génétique des variétés de cultures traditionnelles. Le chapitre 7 présente des procédures permettant d'identifier les domaines dans lesquels cela est important et de déterminer la diversité qui contribue à la production. La question clé consiste à savoir quand et où un ensemble de variétés est délibérément choisi comme étant adapté à différents environnements. L'utilisation de la diversité est en soi une assurance pour maintenir la productivité dans des conditions hétérogènes, ou en cas de variabilité climatique croissante. Dans un cas fascinant d'utilisation de variétés traditionnelles de haricots, les agriculteurs ougandais qui cultivent un grand nombre de variétés de haricots ont réduit la variabilité des agents pathogènes et les dégâts causés par les insectes aux cultures, soutenant ainsi la production (Mulumba *et al.*, 2012). Plus généralement, le diagramme diversité-dommages-vulnérabilité (DDV) est un cadre conceptuel destiné à guider une stratégie de recherche testant les compromis lors de l'utilisation de la diversité intraspécifique des cultures. En effet, il permet de maximiser la productivité avec un minimum de dommages causés par les ravageurs ou les agents pathogènes, tout en réduisant la vulnérabilité génétique ou la probabilité de perte future de la culture. Le point de départ reste que dans le système hôte-ravageur ou hôte-agent pathogène, il existe une variation de la résistance de la culture hôte au ravageur ou à l'agent pathogène en question.

Dimensions Biologiques et Génétiques

Les forces évolutives qui façonnent le modèle de la diversité génétique au sein et entre les variétés traditionnelles sont formées par la manière dont les gens gèrent leurs cultures et par l'interaction entre les facteurs environnementaux et

les pratiques de production. Les caractéristiques biologiques de toute culture, en particulier son système de sélection, sa phénologie et son cycle de vie, sont les principaux facteurs qui interviennent dans le processus (Chapitre 4). Les variétés traditionnelles constituent des entités dynamiques, qui évoluent dans le temps en fonction de l'évolution des conditions environnementales et sociales. L'échelle de temps varie en fonction de la culture et de l'environnement de production. Les variétés des cultures semencières annuelles en Afrique de l'Ouest ont clairement évolué de manière rapide en quelques décennies en réponse au changement climatique (Chapitre 11), alors que les plantes vivaces à longue durée de vie pourraient rester essentiellement inchangées pendant des décennies, voire des siècles.

L'identité des variétés traditionnelles a été une préoccupation spécifique de la recherche qui s'intéresse à leur évolution, leur gestion et leur possession. L'identité a souvent pris la forme d'une étude de la cohérence des noms de variétés entre les agriculteurs et les communautés dans une région ou une période spécifique (Chapitre 5). L'identification des unités de gestion des agriculteurs est d'une importance majeure. Si les agriculteurs perçoivent une entité comme étant séparée et identifiable, sa gestion en sera le reflet. Elle développera des caractéristiques génétiques qui la sépareront des autres unités de gestion gérées par d'autres agriculteurs. Ainsi, la recherche devrait faire ressortir les façons dont les agriculteurs identifient et nomment leurs variétés et comment ces désignations culturelles sont considérées comme faisant partie du régime de sélection. Ceci est conforme à la description des variétés de pays faite par Harlan (Harlan, 1975) (voir chapitre 1).

La combinaison d'informations provenant de diverses sources dans une compréhension globale des modèles de diversité observés est peut-être la tâche la plus difficile. L'approche adoptée au chapitre 11 a consisté à explorer les différents processus de production et les manières dont les différentes étapes de la production ont été influencées par la biologie des cultures, la génétique et les contraintes ou possibilités socio-économiques. A tous les stades de la production, les agriculteurs prennent des décisions qui influencent les caractéristiques génétiques des générations suivantes. Ces caractéristiques peuvent se renforcer mutuellement (tous les agriculteurs recherchent les mêmes caractères dans une variété) ou peuvent conduire au développement de variétés distinctes (les agriculteurs recherchent des caractères alternatifs pour répondre à leurs propres besoins). L'environnement influence également les caractéristiques du matériel végétal qui constitue la génération suivante et peut conduire à différents types

de sélection (voir tableau 4.5) selon que les influences environnementales sont constantes au fil des générations dans de nombreux endroits (par exemple, directionnelles) ou qu'elles varient en fonction du lieu et de l'année (par exemple, fluctuantes). La détection de la manière dont les facteurs humains et environnementaux influencent la diversité exige des mesures fiables de la diversité au sein et entre les variétés. Les mesures peuvent simplement impliquer l'évaluation de la richesse et de l'homogénéité des variétés, mais nous pouvons espérer une caractérisation plus approfondie de la diversité grâce à la gamme croissante d'outils moléculaires.

Tout au long du processus, le système semencier s'est révélé être un élément clé pour influencer le modèle de distribution, d'utilisation et de survie d'une variété traditionnelle. La dynamique génétique des systèmes locaux de semences dépendra du nombre et du type d'interconnexions entre les agriculteurs et les différentes institutions locales (comme les marchés locaux), ainsi que des activités des agriculteurs qui servent de sources de semences de différentes variétés (Chapitre 11). Les systèmes de semences des agriculteurs se caractérisent par un équilibre dynamique entre le processus d'extinction des populations locales (perte d'un lot de semences d'une ferme individuelle) et celui de l'acquisition de nouvelles populations (réapprovisionnement en semences auprès d'un parent ou d'un voisin). La sélection dans les fermes individuelles peut donner lieu à des populations d'une variété présentant des caractéristiques uniques, tandis que l'échange, la vente et l'achat sur les marchés locaux auront tendance à donner lieu à une homogénéisation au sein d'une variété ou d'un type local spécifique. Les mesures et les méthodes décrites aux chapitres 4 et 5 aident à élucider les processus qui sont au cœur de la compréhension de la gestion de la diversité à la ferme.

De la Description de la Diversité au Soutien de son Maintien

Une analyse récente des modèles de diversité et de leur dynamique a montré clairement l'utilité de cette diversité pour les agriculteurs et les communautés. Ces résultats ont donné un élan à l'exploration de nouvelles façons de soutenir le maintien de la diversité. L'utilisation de la diversité pour gérer les stress abiotiques et biotiques, en particulier les problèmes liés aux ravageurs et aux maladies (Chapitre 7), constitue un potentiel prometteur. Ces stress représentent des menaces de plus en plus importantes pour la sécurité alimentaire. L'étude des valeurs économiques, sociales et culturelles des variétés traditionnelles a permis de renouveler et renforcer ces valeurs (Chapitres 8 et 9).

Les études sur les variétés traditionnelles dans les chaînes de commercialisation, par exemple, peuvent conduire à améliorer leur valeur. De même, les efforts de recherche menés avec les communautés et les institutions locales pour révéler les valeurs culturelles de la diversité des cultures peuvent renforcer ces valeurs. Des opportunités apparaissent pour mobiliser de nouvelles forces sélectives qui maintiendront activement la diversité face aux forces d'érosion.

Le domaine politique peut avoir un impact sur la diversité des cultures, pour le meilleur ou pour le pire, à différentes échelles. L'analyse des perspectives politiques révèle les influences négatives (ou positives) potentielles que la politique peut avoir sur le maintien et l'utilisation de la diversité (Chapitre 10). Cette analyse identifie ces influences et les actions spécifiques qui pourraient favoriser les variétés traditionnelles. L'analyse des politiques mène à des activités de soutien spécifiques qui permettraient d'accroître les avantages de l'amélioration des moyens de subsistance des agriculteurs et du bien-être de la communauté grâce au maintien de la diversité (Chapitre 12). De nombreuses pratiques testées, qui soutiennent le rôle des variétés traditionnelles en particulier lorsqu'elles améliorent la qualité et la quantité des semences et leur valeur productive pour les agriculteurs, peuvent faire l'objet de recherches plus approfondies. Encore une fois, un programme de recherche transdisciplinaire intégré serait important.

Les raisons de vouloir comprendre l'étendue, la distribution et l'utilisation de la diversité des variétés traditionnelles vont au-delà d'une description scientifique des modèles de diversité et des propriétés des variétés traditionnelles. Il s'agit notamment d'une préoccupation pour la conservation continue des variétés traditionnelles et de leur future valeur pour une production durable, ainsi que d'un intérêt à permettre aux agriculteurs de conserver et d'utiliser ces variétés quand ils le souhaitent (Brush, 1995; Jarvis *et al.*, 2011). Toutes ces propositions ont fait l'objet de débats et parfois de désaccords sur le rôle futur des variétés traditionnelles dans la production. De nombreux experts agricoles ou programmes de développement considèrent le remplacement des variétés traditionnelles comme une étape nécessaire (ou du moins inévitable) pour accroître la productivité et améliorer la vie de millions d'agriculteurs pauvres dans le monde. Pourtant, les variétés traditionnelles et la diversité génétique qu'elles contiennent pourraient jouer un rôle encore plus important dans la production agricole future que ce n'est le cas aujourd'hui.

Valeur Future des Variétés Traditionnelles

Quelles sont les raisons de maintenir les variétés traditionnelles dans les systèmes de production agricole? Pour répondre à cette question, il est peut-

être utile de rappeler les avantages de la diversité génétique, dont beaucoup ont été mentionnés dans les chapitres précédents. Premièrement, elle assure une complémentarité. Différents génotypes avec différents gènes ou allèles peuvent se compléter dans des environnements variables et améliorer la résistance aux maladies (Chapitre 7). Deuxièmement, l'effet de portefeuille augmente la probabilité que certaines variétés ou composantes d'une variété assurent une certaine production dans les conditions défavorables. Troisièmement, le maintien de la diversité offre un nombre croissant d'options (valeur d'option) pour l'avenir au fur et à mesure que les conditions changent. Le système de production n'est plus enfermé sur quelques génotypes qui ne sont plus adaptés. Enfin, la diversité génétique offre la possibilité d'une évolution continue—un potentiel de changement.

Les avantages de la diversité génétique jouent un rôle important dans la contribution que les variétés traditionnelles sont susceptibles d'apporter dans le futur, notamment (1) le rôle de la diversité dans l'amélioration de la production et de la productivité agricoles de manière durable et écologiquement acceptable; (2) la valeur de la diversité en tant que facteur de résilience, d'adaptabilité et de potentiel évolutif; (3) la demande croissante des consommateurs pour du matériel et des produits de cultures intraspécifiques et pour des systèmes de production alimentaire plus naturels; et (4) les préoccupations et les intérêts des agriculteurs et des communautés qui souhaitent conserver le contrôle de leurs systèmes de production.

Diversité: Essentielle pour Atteindre la Durabilité et la Productivité

Les variétés traditionnelles ont souvent été considérées par la communauté du développement agricole et de la recherche comme étant essentiellement une ressource à partir de laquelle des gènes utiles peuvent être extraits et transférés dans des variétés adaptées à l'agriculture moderne. Bien que cela soit vrai et qu'il en sera toujours ainsi à l'avenir, il faut s'attendre à ce que les changements dans les pratiques de production agricole exigent des modifications de cette vision essentiellement extractive de la valeur de ces variétés pour l'agriculture moderne. Certaines des limites de la vision extractive de la conservation et de l'utilisation des ressources génétiques ont été décrites au chapitre 3.

La FAO a estimé que la production alimentaire doit être augmentée de 70 % au cours des 30 à 40 prochaines années. En même temps, les pratiques agricoles devront devenir plus durables et s'adapter aux changements climatiques dans le monde. L'agriculture durable vise à préserver la base de ressources naturelles, en particulier le sol et l'eau, en s'appuyant sur un minimum

d'intrants non biologiques provenant de l'extérieur du système agricole tout en étant économiquement et socialement viable (Pretty, 2008). L'amélioration de la durabilité impliquera une utilisation plus efficace des intrants agricoles, et plusieurs moyens permettent d'y parvenir notamment l'amélioration de l'efficacité de l'utilisation de l'eau (Molden, 2007), la qualité du sol et l'utilisation efficace des éléments nutritifs (Vitousek, et *al.*, 2009) ainsi que l'efficacité agrochimique et énergétique (Pimentel, 2011). L'amélioration de l'efficacité de la production et de l'utilisation des différents intrants nécessitera des cultures et des variétés adaptées à une production à faible niveau d'intrants (c'est-à-dire à faible niveau d'énergie chimique et de combustibles fossiles) grâce à leur efficacité biologique améliorée. Les variétés qui atteindront les efficacités souhaitées auront probablement des propriétés biologiques et agronomiques similaires à celles de nombreuses variétés traditionnelles. Elles seront adaptées à des conditions de production plus variables et feront un meilleur usage des intrants que les variétés actuelles à haut rendement, qui ont été développées pour des systèmes de production agricole utilisant de manière relativement généreuse l'eau, les engrais et les produits agrochimiques. Le développement de variétés par le biais d'une sélection végétale participative utilisant des variétés traditionnelles ou des populations variables comme matériel de départ illustre ce fait.

De manière plus générale, la biodiversité agricole est susceptible de jouer un rôle majeur dans le développement de systèmes de production plus durables. La réduction des intrants dépendra en fin de compte des propriétés biologiques des composantes du système de production et de la mesure dans laquelle la fonction de l'écosystème et les services écosystémiques peuvent être maintenus ou améliorés grâce à la diversité biologique. La qualité du sol et la disponibilité des éléments nutritifs, la disponibilité de l'eau et la lutte contre les ravageurs et les maladies peuvent souvent être considérablement améliorées par une gestion appropriée de la diversité biologique dans les systèmes de production. Les caractéristiques des cultures et des variétés constituent une partie essentielle de l'utilisation de la diversité de cette façon.

Résilience et Capacité d'Évolution

Le changement, en particulier le changement climatique, aura un impact majeur sur la production agricole au cours des prochaines décennies. Si l'objectif de l'agriculture durable est d'atteindre des niveaux souhaitables de productivité sans impact négatif sur l'environnement et l'homme, il convient de se demander comment atteindre un tel équilibre dans un monde en perpétuel changement et en déséquilibre constant. Le renforcement de la résilience des systèmes de

production est une approche qui est envisagée pour assurer le maintien de la production agricole là où les conditions fluctuent ou changent. Lorsque la durabilité vise à rééquilibrer le monde, la résilience cherche des moyens de gestion dans un monde déséquilibré, peut-être une meilleure image du monde dans lequel nous vivons (Zolli et Healy, 2012). Il existe différentes définitions de la résilience, dont certaines reflètent une perspective essentiellement statique —par exemple, la capacité d’absorber les chocs tout en maintenant la fonction, ou la capacité d’un écosystème à réagir à une perturbation ou à un trouble en résistant aux dommages et en récupérant rapidement. D’autres descriptions de la résilience la considèrent comme un concept plus dynamique, de sorte que Carpenter et Brock (2008) décrivent la résilience des systèmes socio-écologiques comme incluant la capacité à (1) absorber les chocs et maintenir le fonctionnement, (2) s’auto-organiser et (3) apprendre et s’adapter. Taleb (2012) a poussé plus loin l’intérêt de développer des systèmes adaptés aux fluctuations et au changement en soulignant l’importance de l’antifragilité, considérée comme la capacité de faire face à des avenir totalement inattendus et inconnus.

La diversité (des systèmes, des cultures et des variétés) améliore la résilience. Les variétés traditionnelles sont diverses et capables de répondre à des conditions changeantes et à des fluctuations aléatoires sur de longues périodes. Leurs caractéristiques garantissent une certaine production dans des conditions de stress biotique et abiotique (Chapitre 7) au niveau des agriculteurs et de la communauté. Les variétés traditionnelles de sorgho et de millet perlé ont constitué un élément important en termes d’adaptation, de résilience et de maintien de la production sur une période de 20 ans au Niger (Chapitre 11). Le processus d’apprentissage et d’adaptation pourrait être considéré comme une caractéristique essentielle de l’agriculture basée sur les variétés traditionnelles, où la diversité offre une capacité d’adaptation évolutive et où les agriculteurs apprennent toujours à relever les défis auxquels ils sont confrontés. L’importance du renforcement de la résilience souligne l’importance de maintenir les propriétés dynamiques des variétés traditionnelles et de veiller au maintien des systèmes préservant ces caractéristiques dynamiques (par exemple, les systèmes semenciers et autres institutions sociales).

Intérêts des Consommateurs, des Agriculteurs et des Sociétés

Au cours des dernières décennies, des mouvements sociaux préoccupés par la nature et la qualité des aliments que nous consommons ont vu le jour et se sont renforcés. Ceci a été en partie une réponse à un certain nombre de «scandales alimentaires» majeurs (par exemple, la maladie de la vache folle, la découverte de quantités toxiques d’additifs dans les produits alimentaires), à un

doute croissant sur la manière dont certains aliments sont produits et les animaux sont traités, et à un certain nombre de craintes sanitaires associées au transfert de maladies des animaux aux humains. Des mouvements internationaux forts tels que Slow Food remettent de plus en plus en question les modes de production des aliments, et des groupes actifs de la société civile rendent plus largement disponibles toute une gamme de semences de types de cultures traditionnelles (par exemple, les groupes de sauvegarde des semences «Seed Savers Groups»).

Les agriculteurs, également, se font de plus en plus entendre et s'inquiètent quant à la reprise du contrôle de la production et de leurs moyens de subsistance face à ce qu'ils considèrent comme une perte de contrôle de plus en plus importante au profit des multinationales des semences et de la production alimentaire. La demande de souveraineté alimentaire fait partie de ces manifestations, tout comme le développement d'alliances internationales d'agriculteurs, comme la Via Campesina (<http://viacampesina.org/es/>), et les grandes rencontres de Terra Madre (<http://www.terramadre.org/>) pour rassembler les populations rurales et autochtones du monde entier. Ces groupes considèrent les variétés traditionnelles comme faisant partie de leur patrimoine, qu'ils souhaitent maintenir et favoriser. Il convient de noter qu'en agissant ainsi, les agriculteurs contribuent aux intérêts futurs de la société en préservant cette diversité.

Approches Pour le Maintien des Variétés Traditionnelles

La reconnaissance accrue de la valeur du maintien des variétés traditionnelles dans les systèmes de production a conduit au développement d'un large panel d'activités, allant des initiatives internationales jusqu'au travail de base avec les communautés agricoles individuelles, et beaucoup d'entre elles ont été décrites ou mentionnées dans les chapitres précédents. Ces activités mettent l'accent, de manière différente, sur l'importance relative des avantages pour la conservation, les propriétés du système de production ou les moyens de subsistance des agriculteurs et des communautés rurales. De manière générale, il s'agit d'approches basées sur le site, celles qui sont axées sur le maintien des cultures ou des variétés elles-mêmes, celles qui mettent l'accent sur le rôle des agriculteurs et des communautés, et celles qui s'intéressent au développement de méthodes spécifiques pour aborder la production agricole.

Les approches basées sur les sites sont promues par plusieurs initiatives internationales, notamment le Partenariat International de l'Initiative de Santoyama (IPSI), les Systèmes Ingénieurs du Patrimoine Agricole Mondial (SIPAM ou GIAHS selon l'acronyme anglais), les Aires de Patrimoine

Autochtone et Communautaire (APAC ou ICCAs selon l'acronyme anglais) et le Programme sur l'Homme et la biosphère (MaB) de l'Organisation des Nations Unies pour l'Éducation, la Science et la Culture (UNESCO) L'accent est mis sur l'identification de zones ou de sites où la diversité est maintenue par des processus sociaux, culturels et écologiques (Encadré 13.1). Les partisans de cette approche défendent l'idée de préserver ces environnements influencés par l'homme afin qu'ils puissent continuer à s'adapter et à évoluer. Un ensemble d'indicateurs socio-écologiques a été développé pour mesurer l'efficacité des différents processus qui maintiennent ces systèmes (Van Oudenhoven et *al.*, 2011).

Les approches qui se concentrent sur les cultures ou les variétés elles-mêmes mettent souvent en avant des mécanismes économiques ou politiques qui donneront de la valeur au matériel et assureront leur reconnaissance. Il existe différentes façons de le faire. Des variétés spécifiques (souvent issues d'endroits spécifiques) peuvent être inscrites, tout comme les produits issus de ces variétés. Ceux qui adoptent cette approche sont actifs dans le développement d'incitations commerciales et non commerciales pour que les agriculteurs continuent à cultiver des variétés et des populations spécifiques afin que ces variétés continuent à être maintenues dans les écosystèmes agricoles.

De nombreuses ONG et d'autres groupes d'activistes se concentrent particulièrement sur les agriculteurs et sur leur autonomisation et leur contrôle en matière de prise de décision et de ressources locales. Ces groupes soulignent que les agriculteurs eux-mêmes ont, au fil des siècles, créé et géré les variétés traditionnelles dont nous bénéficions tous. Cette approche met l'accent à la fois sur le rôle des organisations et des institutions dans le soutien des choix que font ces agriculteurs ainsi que sur les perspectives sociales et les moyens de subsistance dans la gestion de la diversité. Ceux qui travaillent avec cette approche soulignent souvent l'importance des droits des agriculteurs et de la souveraineté alimentaire.

Un certain nombre de groupes de recherche et d'autres qui préconisent l'adoption d'approches agroécologiques de la production agricole affirment que les variétés traditionnelles peuvent apporter une contribution importante dans ce cadre. Selon cette approche, les variétés traditionnelles s'inscrivent dans un cadre plus large de la valeur de l'agrobiodiversité dans son ensemble pour le développement agricole. Dans ce cas, la tendance est de mettre l'accent sur le rôle des variétés traditionnelles dans les pratiques agricoles qui maintiennent ou améliorent les fonctions des écosystèmes, et sur celui de la diversité dans la fourniture des services clés de régulation et de soutien des écosystèmes.

Encadré 13.1. Approches Basées sur les Sites qui Reconnaissent le Rôle des Communautés Locales dans la Préservation de la Diversité Génétique des Cultures dans les Environnements Influencés par l'Homme

L'Initiative Satoyama vise à conserver des environnements naturels durables, sous influence de l'Homme (paysages de production socio-écologiques et paysages marins [SEPLS]) grâce à une reconnaissance mondiale plus large de leur valeur. La vision de l'Initiative Satoyama est de réaliser des sociétés en harmonie avec la nature, comprenant des communautés humaines où le maintien et le développement des activités socio-économiques (y compris l'agriculture et la foresterie) s'alignent sur les processus naturels. En gérant et en utilisant les ressources biologiques de manière durable, et donc en préservant correctement la biodiversité, les êtres humains bénéficieront d'un approvisionnement stable de divers avantages naturels dans le futur.

Les Systèmes Ingénieux du Patrimoine Agricole Mondial (SIPAM ou GIAHS selon l'acronyme anglais) de l'Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture (FAO) sont définis comme des systèmes agricoles traditionnels/historiques, représentés par un site particulier, en tant que patrimoine de l'humanité (ou d'un pays) d'importance mondiale ou nationale. Ces paysages ou sites culturels contribuent à la sécurité alimentaire et aux moyens de subsistance des communautés locales (souvent autochtones). Ils sont dotés d'une biodiversité et de ressources génétiques d'importance mondiale (ou nationale) pour l'alimentation et l'agriculture. Les systèmes maintiennent aussi des connaissances inestimables, des technologies ingénieuses et des systèmes de gestion des ressources naturelles, notamment des institutions coutumières de gestion agroécologique et des dispositions normatives pour l'accès aux ressources et le partage des avantages. Ils contiennent des systèmes de valeurs et des pratiques agricoles associés à l'environnement et aux calendriers agricoles. Ils contiennent des festivités et des rituels en tant que transfert de connaissances, et possèdent des caractéristiques paysagères issues de la gestion humaine qui apportent des solutions ingénieuses ou pratiques aux contraintes environnementales ou sociales.

Le Programme sur l'Homme et la Biosphère de l'Organisation des Nations Unies pour l'Education, la Science et la Culture (UNESCO-MAB) est un programme scientifique intergouvernemental visant à établir une base scientifique pour l'amélioration des relations entre les personnes et leur environnement dans le monde. Dans le cadre de ce programme, les paysages cultivés sont considérés comme des systèmes «socioécologiques» couplés, dont l'intégrité et la résilience dépendent à la fois de leurs composantes écologiques et sociales et de la capacité combinée de ces composantes à conserver leur structure et leur fonction après des perturbations (Gunderson et Holling, 2002; van Oudenhoven et al., 2011).

Un thème commun à toutes les différentes approches est la reconnaissance de l'importance de la diversité génétique des plantes cultivées dans les écosystèmes agricoles, que ce soit pour des raisons productives, écologiques ou culturelles. Comme discuté ci-dessus, ces raisons continueront probablement à être pertinentes à l'avenir.

Remarques Finales

Les chapitres de ce livre ont présenté des outils et des méthodes pour aider à comprendre où, quand et comment la diversité génétique des cultures, dans

les écosystèmes agricoles, peut fournir une résilience au système en donnant aux agriculteurs une ressource diversifiée pour se protéger contre la volatilité environnementale. Ce livre met l'accent sur les principes et les outils permettant au lecteur de mesurer, de quantifier et de soutenir l'utilisation de la diversité génétique de notre patrimoine végétal au sein des écosystèmes agricoles.

De nombreuses études conduites dans le monde entier nous ont appris que l'une des principales forces qui préservent notre patrimoine végétal est la diversité des stratégies de gestion d'un grand nombre de petits exploitants agricoles qui sont confrontés à différentes situations de production, qui ont des besoins différents et qui adoptent des pratiques différentes. Souvent, les différences sont minimales et il existe une convergence et une divergence constantes entre les sous-populations, ce qui crée une variété dynamique et changeante. Ces variétés restent dans les systèmes de production agricole parce qu'elles répondent aux besoins des agriculteurs et parce que les agriculteurs choisissent de les maintenir. Elles évoluent et changent au fil du temps, au fur et à mesure que les agriculteurs rencontrent des conditions changeantes et que les sociétés ont besoin de changement. En fin de compte, ce sont toujours les agriculteurs eux-mêmes qui choisiront ce qu'ils veulent cultiver. Tout ce que nous pouvons faire, c'est veiller à ce qu'ils aient ce choix.

Annexe A: Progiciels Utiles Pour l'Analyse Des Données Moléculaires

<i>Nom</i>	<i>Date</i>	<i>Plateforme</i>	<i>Référence et lien</i>
Arlequin	DNA, SNP, SSR	Unix, Mac OS	http://cmpg.unibe.ch/software/arlequin35/
MEGA	DNA, distance	Unix, Mac OS, Windows	http://www.megasoftware.net/
Structure	SSR	Unix, Mac OS, Windows	http://pritch.bsd.uchicago.edu/software/structure2_1.html
Adegenet	DNA, SNP, SSR	Unix, Mac OS, Windows	http://adegenet.r-forge.r-project.org/
GeneLand	DNA, SNP, SSR	Unix, Mac OS, Windows	http://www2.imm.dtu.dk/~gigu/Geneland/
APE	DNA	Unix, Mac OS, Windows	http://ape.mpl.ird.fr/
DNAsp	DNA	Unix, Mac OS, Windows	http://www.ub.edu/dnasp/
BAPS	SSR	Unix, Mac OS, Windows	http://www.helsinki.fi/bsg/software/BAPS/
STRUCTURAMA	SSR	Unix, Mac OS, Windows	http://www.molecularevolution.org/software/popgen/structurama
Paup4b10	DNA	Unix, Mac OS, Windows	http://paup.csit.fsu.edu/
PhyML	DNA	Unix, Mac OS, Windows	http://www.atgc-montpellier.fr/phyml/

Voir suite

<i>Nom</i>	<i>Date</i>	<i>Plateforme</i>	<i>Référence et lien</i>
Network	DNA	Windows	http://www.fluxus-engineering.com/sharenet.htm
SplitsTree	DNA, distance	Unix, Mac OS, Windows	http://www.splittree.org/
TCS	DNA, distance	Unix, Mac OS, Windows	http://darwin.uvigo.es/software/tcs.html
Genetix	SSR	Windows	http://kimura.univ-montp2.fr/genetix/
Genepop	SSR	Unix, Mac OS, Windows	http://genepop.curtin.edu.au/
Fstat	SSR	Windows	http://www2.unil.ch/pop_gen/software/fstat.htm
Bottleneck	SSR	Windows	http://www1.montpellier.inra.fr/URLB/bottle neck/bottleneck.html
Migrate-n	DNA, SSR	Unix, Mac OS, Windows	http://popgen.sc.fsu.edu/Migrate/Migrate-n.html

Annexe B: Systèmes d'Information Géographique et Ressources de Télédétection Disponibles sur Internet

<i>Ressource</i>	<i>Description</i>	<i>Site web</i>
Landsat	Landsat représente la plus grande collection au monde, constituée de données spatiales de télédétection terrestre à résolution modérée obtenues de manière continue	http://landsat.gsfc.nasa.gov
Institut d'Etudes Géologiques des États-Unis (USGS)-Centre d'Observation et de Science des Ressources de la Terre (EROS)	Gestion des données de télédétection, développement de systèmes et centre de recherche sur le terrain pour le service géologique des États-unis	http://eros.usgs.gov
MODIS-Spectroradiomètre Imageur à Résolution Modérée	MODIS est un instrument clé à bord des satellites Terra (EOS AM) et Aqua (EOS PM) de la NASA	http://modis.gsfc.nasa.gov
ASTER-Le Radiomètre Spatial Avancé à Emission et Réflexion Thermiques	ASTER est le fruit d'une coopération entre la NASA et le ministère japonais de l'économie, du commerce et de l'industrie (METI), et les systèmes spatiaux japonais	http://asterweb.jpl.nasa.gov
EUMETSAT-Européen Organisation Européenne pour l'Exploitation des Satellites Météorologiques	EUMETSAT est une organisation internationale qui fournit des données, des images et des produits satellitaires liés à la météo et au climat	http://www.eumetsat.int
Agence Américaine d'Observation Océanique et Atmosphérique (NOAA)-Service National d'Information, de Données et de Satellites Environnementaux (NESDIS)	NESDIS fournit l'accès en temps opportun aux données environnementales mondiales par satellite	http://www.nesdis.noaa.gov

Annexe C: Sélection de Champions de la Sélection Végétale Participative (PPB) à travers les Âges

Ceccarelli *et al.* (2001, 2003), Ceccarelli et Grando (2005), et Ceccarelli (2009) ont montré comment la sélection végétale participative décentralisée sur l'orge et le blé peut être réalisée dans les champs des agriculteurs d'une région semi-aride. Ceccarelli a réalisé des croisements à l'ICARDA et a proposé de nombreuses options de diversité aux agriculteurs pour leurs opérations de sélection.

Almekinders *et al.* (2006) ont documenté de nombreuses études de cas qui ramènent les agriculteurs à la sélection végétale, notamment le travail de l'ONG CIPRES (Centro para la promocion, la investigacion y el desarrollo rural social) au Nicaragua, qui a initié un projet pilote de PPB en organisant un arrangement entre un groupe d'agriculteurs intéressés et un sélectionneur national à l'INTA (Instituto Nicaragüense de Tecnología Agropecuaria) pour développer des variétés de haricots, de maïs et de sorgho préférées par les agriculteurs.

Sperling *et al.* (1993, 1996) ont pratiquement introduit la notion de sélection variétale participative (PVS) en invitant les agriculteurs à se rendre dans les stations de recherche pour sélectionner leurs variétés préférées. Sur cette base, Joshi et Witcombe (1996) ont développé une méthodologie de PVS dans laquelle les besoins des agriculteurs sont évalués avant que la diversité locale des cultures ne soit obtenue, expérimentée à la ferme et diffusée pour des impacts plus larges.

Witcombe *et al.* (1996, 2005) et Sthapit *et al.* (1996) ont démontré que la valeur des variétés locales de riz tolérantes au froid peut être améliorée par la sélection des caractères préférés au sein de populations hétérogènes, et collectées localement avant le démarrage de tout programme d'amélioration des cultures.

Gyawali *et al.* (2010) ont démontré comment une collecte systématique de la variété traditionnelle (Jethobhuddo) auprès d'un agriculteur et la sélection au sein de la population pour les caractères préférés des consommateurs, ainsi que l'évaluation participative dans les champs des agriculteurs, ont rendu la variété traditionnelle compétitive par rapport à la variété moderne.

Sthapit et Rao (2009) ont démontré comment les institutions de base peuvent être entraînées à la sélection végétale simple pour sélectionner la diversité fonctionnelle à partir du matériel existant et la promouvoir par le biais des systèmes de semences des agriculteurs.

Weltzein et *al.* (2005) et Weltzein et Christinck (2009) ont impliqué les agriculteurs dans la définition d'objectifs de sélection basés sur les priorités des agriculteurs, et dans le développement de matériel de sélection au Mali pour une sélection variétale participative décentralisée dans les communautés agricoles. Elle a été initiée par les sélectionneurs de l'ICRISAT et tire son origine d'une évaluation de l'impact économique de ses programmes de sélection du sorgho et du millet perlé.

PEDIGREA (Smolders et Caballega 2006) a soutenu les programmes de PPB en Asie du Sud et du Sud-Est chez les légumes locaux, le poulet et le riz; il a publié un guide de terrain pour la PPB; et a renforcé le rôle des agriculteurs dans la sélection et les écoles pratiques d'agriculture.

Humphries et *al.* (2005) ont travaillé avec le CIAL au Honduras pour la sélection participative des haricots (<http://www.odi.org.uk/agren/papers/agrenpaper—142.pdf>).

Chablé et *al.* (2008) et Lammerts van Bueren et *al.* (2008) ont mis en évidence et démontré l'utilisation de la sélection végétale participative pour l'agriculture biologique en Europe.

Soleri et *al.* (2000) ont examiné les pratiques de sélection et leurs conséquences selon le point de vue des agriculteurs par rapport aux concepts utilisés par les sélectionneurs de plantes au Mexique.

Glossaire

ABS (Access and Benefit-Sharing)/APA (Accès et Partage des Avantages): accès aux ressources génétiques et partage des avantages découlant de leur utilisation.

Accession: l'échantillon ou l'unité d'une collection conservée dans un environnement *ex situ* à des fins de conservation et d'utilisation.

Adaptation: processus évolutif par lequel les espèces changent au fil du temps afin d'améliorer leur aptitude à répondre à la sélection dans leur environnement.

AFLP (Amplified Fragment Length Polymorphism)/Polymorphisme de longueur des fragments amplifiés: système de marqueurs d'ADN reposant sur la variation de la taille des fragments d'ADN ou des amplicons générés par l'amplification de l'ADN par PCR.

Aggressiveness/Agressivité: mesure quantitative de la capacité d'un agent pathogène des plantes à coloniser et à se propager, causant des dommages à son hôte.

Agrobiodiversity/Agrobiodiversité: comprend toutes les composantes de la diversité biologique pertinentes pour l'alimentation et l'agriculture, ainsi que les composantes qui constituent l'agroécosystème: la variété et la variabilité des animaux, des plantes et des micro-organismes au niveau génétique, des espèces et de l'écosystème, qui soutiennent les fonctions, la structure et les processus de l'agroécosystème. Elle est créée et gérée par les agriculteurs, les pastoralistes, les pêcheurs et les habitants des forêts. L'agrobiodiversité continue d'apporter à de nombreuses communautés rurales du monde entier la stabilité, l'adaptabilité et la résilience de leurs systèmes agricoles et constitue un élément clé de leurs stratégies de subsistance.

Agro-ecological approaches/Approches agroécologiques: approches qui intègrent les processus biologiques et écologiques dans la production alimentaire, minimisant l'utilisation d'intrants non renouvelables qui nuisent à l'environnement ou à la santé des agriculteurs et des consommateurs. Il s'agit notamment d'utiliser de manière productive les connaissances et les compétences des agriculteurs, ainsi que les capacités collectives des populations à travailler ensemble pour résoudre les problèmes communs en matière d'agriculture et de ressources naturelles.

Agro-ecosystem/Agroécosystème: un système de production agricole, comprenant tous les organismes et les facteurs environnementaux qui le composent et constituent, avec l'aide de l'homme, un système stable avec des flux circulaires de matériel et d'énergie.

Agroforestry/Agroforesterie: l'intégration des arbres et arbustes dans les pratiques agricoles.

Agromorphological Characteristics/Caractéristiques agromorphologiques: les caractéristiques facilement observables dans une culture et les caractères agronomiques ou morphologiques quantitatifs qui contribuent directement au rendement.

- Allele/Allèle:** formes alternatives d'un locus génétique dont la séquence d'ADN diffère. Il correspond généralement à une copie d'un seul gène.
- Allelochemical/Allélochimique:** se rapporte aux interactions chimiques interspécifiques.
- Allelopathy/Allélopathie:** libération d'un composé par une plante dans l'environnement, ayant un effet inhibiteur ou stimulant sur d'autres organismes.
- Allogamy/Allogamie:** fécondation croisée ou pollinisation croisée d'une fleur par le pollen d'une fleur différente, généralement issue d'une autre plante génétiquement différente de la même espèce.
- Allopolyploid/Allopolyploïde:** se rapporte à un organisme ou à une cellule hybride ayant deux ou plusieurs ensembles de chromosomes acquis de deux espèces ancestrales différentes.
- Allopolyploid/Allopolyploïde:** organisme allopoloïde contenant des ensembles de chromosomes génétiquement différents provenant de deux ou plusieurs espèces par hybridation.
- Allozyme:** l'une des formes variantes d'une enzyme codée par différents allèles sur le même locus génétique.
- Alpha Diversity/Diversité alpha:** se réfère à une mesure de la diversité au sein d'une zone ou d'un écosystème particulier, et est généralement exprimée par le nombre d'espèces (c'est-à-dire la richesse des espèces) dans cet écosystème.
- Amenity value/Valeur d'agrément:** les avantages non utilitaires fournis par un bien ou un service, selon ce que détermine un consommateur individuel.
- Amensalism/Amensalisme:** interaction entre organismes dans laquelle un organisme a un impact négatif sur un autre organisme sans en tirer directement profit.
- Amphidiploid/Amphidiploïde:** polyploïde dont le complément chromosomique comprend l'ensemble des compléments somatiques de deux espèces.
- Andromonoecious /Andromonoïque:** issu ou appartenant à une espèce végétale qui produit des mâles (ou des staminés) et des fleurs bisexuelles (ou parfaites) sur le même individu.
- Antibiosis/Antibiose:** se produit lorsqu'une plante résistante affecte négativement les traits du cycle biologique de l'arthropode qui tente d'utiliser cette plante comme hôte.
- Antifragility/Antifragilité:** capable de s'épanouir et de prospérer face à l'incertitude.
- Antixenosis/Antixénose:** une propriété de la plante qui la rend peu attrayante pour l'alimentation ou la ponte de certains insectes: la réaction de non préférence des arthropodes.
- Apomixis/Apomixie:** reproduction asexuée sans fécondation résultant d'une modification de la fonction sexuelle.
- Autocorrelation/Autocorrélation:** la corrélation des valeurs appariées d'une variable, les valeurs appartenant à une série temporelle ou à une disposition spatiale et séparées par un intervalle fixe.
- Autogamy/Autogamie:** autofécondation obtenue par la pollinisation d'une fleur avec son propre pollen; génétiquement identique à la géitonogamie, ou la fertilisation avec du pollen d'une fleur différente sur la même plante.
- Auto-infection:** terme initialement appliqué à l'infection d'une plante lorsque l'inoculum a été produit sur la même plante.
- Autopolyploid/Autopolyploïdie:** le fait d'avoir plus de deux jeux haploïdes complets de chromosomes dérivés d'une seule espèce parentale ou d'une lignée évolutive.

- Bequest value/Valeur de legs:** la satisfaction qu'un individu ou une société éprouve en sachant qu'un bien ou un service peut être transmis aux générations futures.
- Beta diversity/Diversité bêta:** fait référence à une mesure du changement dans la composition des espèces d'un endroit à l'autre -par exemple, d'un champ à l'autre, ou le long de gradients environnementaux.
- Biased amplification/Amplification biaisée:** amplification sélective par PCR parmi des matrices d'ADN candidates concurrentes conduisant à leur prépondérance ou à leur dominance dans les produits finaux.
- Biodiversity/Biodiversité:** La variabilité totale entre et au sein des espèces de tous les organismes vivants.
- Biological control agents/Agents de lutte biologique:** ennemis naturels des insectes ravageurs, des plantes envahissantes ou des agents pathogènes qui peuvent ralentir ou freiner la croissance des populations.
- Bioturbation:** déplacement ou consommation du sol.
- Canicula/Canicule:** période sèche de durée irrégulière qui apparaît souvent à la fin de juillet ou en août pendant la saison des pluies.
- Canonical correlation/Corrélation canonique:** la force de la relation entre les fonctions linéaires des variables composantes dans deux ensembles distincts de variables.
- CAP (Catabolite Activator Protein):** Protéine Activatrice de Catabolite (PAC).
- CAPS (Cleavage Amplified Polymorphic)/séquences polymorphes amplifiées clivées:** une extension de la méthode RFLP utilisant la PCR pour analyser plus facilement les marqueurs génétiques utiles.
- Cation exchange capacity/Capacité d'échange cationique:** mesure de la fertilité du sol, la quantité maximale de cations totaux échangeables qu'un sol peut contenir.
- CBM (Community Biodiversity Management):** Gestion communautaire de la biodiversité.
- Character/Caractère:** Expression phénotypique, en tant qu'attribut structurel ou fonctionnel d'un organisme, résultant de l'interaction d'un gène ou d'un groupe de gènes avec l'environnement (IBPGR 1991).
- Characterization/Caractérisation:** Évaluation des traits de la plante qui sont hautement héréditaires, facilement visibles à l'œil nu et exprimés de la même manière dans tous les environnements afin de distinguer les phénotypes par opposition à l'évaluation.
- Checks/Contrôles:** variétés de contrôle ayant des caractéristiques connues et sélectionnées en fonction des objectifs spécifiques d'un essai sur le terrain pour comparer ou normaliser les résultats du traitement.
- Chilling injury/Blessure due au froid:** manifestation visuelle du dysfonctionnement cellulaire chez des plantes tropicales lorsqu'elles sont exposées à des températures glaciales.
- Chilling tolérance/Tolérance au froid:** réaction d'une plante à des températures de congélation et capacité des plantes à fonctionner à des températures inférieures à la température optimale.
- Choice experiment method/Méthode expérimentale de choix:** méthode d'évaluation de la valeur d'un bien ou d'un service qui n'a pas de prix de marché, dans laquelle un répondant est invité à choisir parmi une série d'options basée sur les attributs du bien ou du service.

- Clone:** un individu qui résulte d'un processus de reproduction asexuée ou végétative, et qui est donc génétiquement identique à son individu parent.
- Co-dominance/Codominance:** lorsque tous les allèles (deux dans un diploïde, plus dans un polyploïde) présents chez un hétérozygote sont exprimés, de sorte que le phénotype reflète une contribution des deux allèles.
- Co-evolution/Coévolution:** évolution réciproque d'adaptations complémentaires chez deux ou plusieurs espèces d'organismes en raison d'une relation particulière qui existe entre elles.
- Cognitive maps/Cartes cognitives:** cartes dessinées par des personnes n'ayant aucune formation cartographique formelle. Les cartes cognitives ne sont généralement pas dessinées à une échelle précise ou peuvent montrer des formes de relief ou d'autres caractéristiques selon des perspectives inhabituelles, mais sont très utiles pour révéler la compréhension et les conceptions des répondants concernant les terres et les ressources.
- Cold Hardiness/Résistance au froid:** capacité des plantes des zones tempérées à survivre à des températures inférieures à zéro.
- Commensalism/Commensalisme:** interaction entre organismes dans laquelle un organisme est aidé par l'interaction et l'autre n'en profite pas et n'en souffre pas.
- Community biodiversity register/Registre communautaire de la biodiversité:** registre des variétés de cultures traditionnelles dans une communauté qui est maintenu par les membres de la communauté et pouvant contenir des informations telles que les caractéristiques agromorphologiques et agronomiques, l'adaptation agroécologique, les utilisations spéciales, les traits uniques, le lieu d'origine et le conservateur de la variété de pays. La méthode est utilisée pour documenter les connaissances traditionnelles sur les ressources génétiques, assurer une protection défensive et/ou promouvoir la biospection.
- Competition/Compétition:** interaction biotique résultant de ressources limitées dans un écosystème; les deux organismes sont dans une situation défavorable, car ils utilisent chacun des ressources dont ils ont tous les deux besoin.
- Composite cross-population/Population croisée composite:** un ensemble synthétique de la progéniture issue de croisements diversifiés entre plusieurs parents qui s'est propagé comme une seule population en évolution.
- Conservation:** la gestion de l'environnement naturel et agricole et de ses ressources biologiques pour s'assurer qu'ils ne soient pas détruits au cours du processus de développement, mais qu'ils conservent plutôt leur potentiel afin de répondre aux besoins et aux aspirations des générations futures.
- Content analysis/Analyse du contenu:** méthode permettant d'analyser systématiquement le contenu d'une communication ou d'une activité particulière afin d'en déterminer la signification ou la finalité, y compris les éléments symboliques et thématiques.
- Contingent valuation/Évaluation contingente:** méthode d'évaluation de la valeur d'un bien ou d'un service qui n'a pas de prix du marché; la méthode consiste à interroger les répondants sur leur volonté de payer pour le bien ou le service.
- cpDNA (chloroplast DNA)/ADNcp (ADN du chloroplaste):** ADN présent dans le chloroplaste. Bien que le génome du chloroplaste soit petit, le grand nombre de chloroplastes par cellule garantit que l'ADN du chloroplaste représente une proportion importante de l'ADN total dans une cellule végétale.

- Crop genetic Diversity/Diversité génétique des cultures:** désigne le nombre total de caractéristiques génétiques dans la composition génétique des espèces végétales utilisées en agriculture et des espèces sauvages étroitement apparentées sur le plan de l'évolution.
- Cryptic paralogy/Paralogie cryptique:** deux allèles d'origine génétique différente produisant la même longueur de fragment de restriction et donc non reconnus comme allèles non ségrégatifs.
- Cultivar:** une plante ou un groupe de plantes sélectionnées pour des caractéristiques souhaitables qui peuvent être maintenues par propagation. La plupart des cultivars sont issus de la culture, mais quelques-uns sont des sélections spéciales issues de la vie sauvage.
- Culture:** expression de l'interaction au fil du temps entre les communautés et leurs environnements naturels, historiques et sociaux qui fournit les bases des valeurs éthiques, des concepts d'espaces sacrés, des expériences esthétiques et des identités personnelles ou collectives dérivées de l'environnement local.
- Dendrogram/Dendrogramme:** un diagramme en arbre qui représente la dissimilitude croissante entre les objets, les individus, les échantillons, ou les populations ou les espèces sous forme de groupements hiérarchiques.
- Determinacy/Déterminisme:** la tendance des plantes d'une population à coordonner leurs périodes de floraison et de fructification et donc à mûrir simultanément pour la pollinisation croisée et la récolte.
- Dentrended correspondance analysis/Analyse factorielle des correspondances redressées:** technique statistique multivariée permettant de déterminer les principaux facteurs ou gradients dans de grandes matrices de données, riches en espèces mais généralement rares.
- Dioecious/Dioïque:** espèce de plante dans laquelle les fleurs mâles et les fleurs femelles se forment sur des plantes différentes. Les plantes adultes peuvent rester constantes dans l'expression du genre ou changer dans le temps.
- Diploid/Diploïde:** Possédant deux ensembles haploïdes complets de chromosomes homologues.
- Discriminant analysis/Analyse discriminante:** analyse statistique permettant de trouver une combinaison linéaire de caractéristiques qui caractérisent ou séparent deux ou plusieurs classes d'objets ou d'événements.
- Disease resistance/Résistance aux maladies:** la capacité, génétiquement déterminée, de la plante hôte à réduire ou à empêcher la reproduction d'un agent pathogène, ce qui lui permet de rester en bonne santé.
- Disease tolerance/Tolérance aux maladies:** capacité d'une plante à supporter une maladie infectieuse ou non infectieuse sans dommage grave ni perte de rendement.
- Disease triangle/Triangle de la maladie:** un paradigme de base en phytopathologie; la maladie nécessite absolument l'agent biotique causal - un agent pathogène virulent interagissant avec un hôte sensible dans un environnement favorable à la croissance de la plante hôte, à la propagation de l'agent pathogène et au développement de la maladie.
- Displacement hypothesis/Hypothèse de déplacement:** la théorie selon laquelle la diffusion des variétés de cultures modernes conduit rapidement et inévitablement à la perte des variétés de pays et d'autres variétés de cultures traditionnelles entretenues par les agriculteurs.
- Divergence:** accumulation de différences (génétiques) entre populations ou variétés, soit silencieuses, soit exprimées sous forme de caractères morphologiques ou physiologiques.

- Diversity block/Bloc de diversité:** un bloc expérimental de variétés paysannes à des fins d'exposition, de multiplication ou de recherche, géré par des institutions locales. Un groupe d'agriculteurs bien informés est invité à observer le bloc de diversité pendant la culture.
- Diversity Fair/Foire de la diversité:** rassemble des agriculteurs d'une ou de plusieurs communautés pour montrer la gamme de variétés traditionnelles que chacun d'entre eux cultive. Au lieu de décerner des prix pour la meilleure variété individuelle (par exemple, sur la base du rendement ou de la taille), les foires de la diversité récompensent les agriculteurs ou les coopératives pour la plus grande diversité de cultures et les connaissances qui leur sont associées.
- Diversity field fora/Forums du champ sur la diversité (DFF):** composés d'hommes et de femmes organisés en équipes (généralement 25 à 30 personnes) par sexe pour évaluer la diversité génétique des cultures. Les groupes d'agriculteurs testent à la fois des cultivars améliorés et des cultivars locaux. Les agriculteurs sont formés en matière de multiplication des semences, et les semences des cultivars sélectionnés sont multipliées et diffusées au sein et en dehors des groupes. L'approche tient compte du fait que les critères de sélection préférés par les femmes et les hommes agriculteurs diffèrent. Grâce à des réunions hebdomadaires, les agriculteurs sont informés des conventions/législations internationales et nationales relatives à l'échange de ressources phylogénétiques.
- Domestication syndrome/Syndrome de domestication:** ensemble de caractères qui distinguent une espèce cultivée de ses espèces ancêtres sauvages et qui sont des signes de domestication et adaptent la culture à une culture pratiquée par l'homme.
- Dormancy/Dormance:** caractéristique physique ou physiologique innée des semences viables qui retarde leur germination.
- Dry mole fraction/Fraction molaire sèche:** nombre de molécules de dioxyde de carbone divisé par le nombre de molécules d'air sec multiplié par un million (ppm).
- DUS/DHS:** distinction, uniformité et stabilité, attributs d'une nouvelle variété requis dans certaines juridictions pour l'octroi d'un droit d'obtenteur.
- Dynamic conservation/Conservation dynamique:** conservation des processus biologiques, agro-écologiques et culturels humains responsables de l'évolution continue de la diversité des cultures dans les systèmes traditionnels.
- Ecogeographic niche/Niche écogéographique:** la place et les rôles d'une espèce dans sa communauté en référence à ses interactions avec son environnement et les organismes associés.
- Eco-labeling/Labellisation:** pratique consistant à labelliser les produits pour que les consommateurs sachent que leur fabrication est conforme à des normes environnementales reconnues.
- Econometric model/Modèle économétrique:** modèle économique dont les paramètres peuvent être estimés quantitativement.
- Ecoregion/Écorégion:** appelée également région écologique, il s'agit d'une zone écologiquement et géographiquement définie, qui est plus petite qu'une biorégion, qui à son tour est plus petite qu'une écozone.
- Ecosystem diversity/Diversité des écosystèmes:** la variété ou le nombre d'écosystèmes d'une zone donnée (par exemple, une écorégion).
- Ecosystem services/Services écosystémiques:** les avantages apportés à l'homme par des écosystèmes fonctionnant sainement, tels que l'eau propre, les habitats pour les pollinisateurs et la décomposition des déchets.

- Edaphic factors/Facteurs édaphiques:** propriétés et attributs physiques et chimiques des sols qui affectent la survie et la croissance des plantes.
- Eddy covariance/Covariance des turbulences:** technique mathématique permettant de mesurer le flux de CO₂ entre l'atmosphère et la biosphère.
- Effective population size/Taille effective de la population:** nombre d'individus dans une population idéalisée dont la valeur d'une quantité génétique donnée de la population est égale à la valeur de cette quantité dans la population réelle cible.
- Efficiency in crop production strategies/Efficacité des stratégies de production végétale:** la capacité à produire un effet à un moment donné dans le temps et dans l'espace.
- Electrophoresis/Électrophorèse:** technique de biologie moléculaire omniprésente, avec de nombreuses variantes, utilisée pour séparer des mélanges complexes de macromolécules en leurs composants de taille moléculaire différente, généralement dans un champ électrique appliqué sur une matrice poreuse.
- Endogamy/Endogamie:** tendance des individus à se marier au sein de leur communauté ou d'un autre groupe social.
- Epidemic development/Développement épidémique:** accumulation rapide d'un grand nombre d'individus affectés par une maladie, au niveau local ou à grande échelle.
- EPO/OEB:** Office Européen des Brevets.
- EST (Expressed Sequence Tag)/Marqueur de séquence exprimée:** une courte sous-séquence d'une séquence d'ADNc, utilisée pour identifier les transcrits de gènes et dans la découverte de gènes, le séquençage de gènes et la détection de polymorphismes d'ADN.
- Ethnology/Ethnologie:** branche de l'anthropologie qui compare et analyse les caractéristiques de différents peuples et les relations entre eux.
- Ethnotaxonomy/Ethnotaxonomie:** appelée aussi taxonomies populaires, ce sont les systèmes taxonomiques définis et utilisés par les groupes ethniques individuels.
- Eukaryote/Eucaryote:** organismes unicellulaires nucléés et tous les organismes multicellulaires.
- Evaluation/Évaluation:** évaluation des caractéristiques des plantes, telles que le rendement, la performance agronomique, la sensibilité aux stress abiotique et biotique, et les caractères biochimiques et cytologiques, dont l'expression peut être affectée par des facteurs environnementaux; par opposition à la caractérisation.
- Evenness/Équitabilité:** la similarité, ou l'absence de variance, dans la fréquence des différents types (par exemple, les allèles, les génotypes ou les espèces) dans un échantillon, une population ou une région.
- Evolutionary capacity, or evolvability/Capacité d'évolution, ou évolutivité:** la capacité d'une population ou d'une espèce à générer une diversité génétique adaptative.
- Ex situ conservation/Conservation ex situ:** prélèvement de germoplasme du lieu où il est apparu ou se développe, et son stockage hors site sous forme de semences dans une banque de gènes, de matériel végétatif stocké *in vitro* ou d'accessions de plantes poussant dans des collections vivantes dans un jardin botanique ou une banque de gènes de plein champ.
- Existence value/Valeur d'existence:** la satisfaction que les individus ou les sociétés reçoivent de la connaissance de l'existence d'une chose, indépendamment du fait qu'elle soit utilisée ou non.
- Exogamy/Exogamie:** tendance des individus à se marier en dehors de leur communauté ou de tout autre groupe social.

- Explant:** partie d'une plante excisée de manière aseptique et préparée pour la culture ou le stockage dans un milieu nutritif.
- Facilitative interactions/Interactions facilitatrices:** interactions bénéfiques pour au moins une espèce ou un génotype de l'ensemble des espèces ou des génotypes en interaction, par opposition aux symbioses essentielles, qui elles sont obligatoires.
- Fair trade/Commerce équitable:** étiquetage qui exige l'accord des acheteurs à: (1) payer un prix qui couvre les coûts de production et une prime sociale; (2) verser une avance; (3) acheter directement auprès du producteur et (4) établir des contrats à long terme.
- Farmer field schools/Champs- Écoles des Producteurs:** un processus d'apprentissage en groupe qui a été utilisé par un certain nombre de gouvernements, d'ONG et d'agences internationales, par lequel les agriculteurs sont formés en tant que formateurs de leurs collègues agriculteurs; créés principalement pour promouvoir la lutte intégrée contre les ravageurs (IPM).
- Farmers' rights/Droits des agriculteurs:** terme utilisé pour désigner les droits qui devraient être identifiés et protégés pour soutenir le rôle des agriculteurs en tant que conservateurs et générateurs de diversité des cultures.
- Farming system/Système agricole:** tous les éléments d'une exploitation agricole qui interagissent en tant que système, notamment les personnes, les cultures, le bétail, les autres végétaux, la faune et l'environnement, ainsi que les interactions sociales, économiques et écologiques.
- Fixed line/Lignée fixée:** variété stable de lignées avancées ou de variétés de pays libérées, ce qui implique une certaine suppression de la variabilité ségrégative et une vraie sélection.
- Food Sovereignty/Souveraineté alimentaire:** le droit des peuples qui produisent, distribuent et consomment des aliments de définir leurs propres systèmes alimentaires et d'être au centre des décisions concernant les systèmes et les politiques alimentaires, plutôt que les exigences des marchés et des entreprises qui occupent ces positions.
- Formal seed system/Système semencier formel:** système de développement des variétés végétales et de production et commercialisation des semences respectant les lois et réglementations promulguées par l'État pour réglementer la qualité des variétés végétales et des semences disponibles sur le marché.
- Four-cell analysis/Analyse à quatre cellules:** un outil participatif pour évaluer l'étendue et la distribution de la diversité; aide à identifier les variétés communes, rares et uniques et donne un aperçu des raisons pour lesquelles certaines variétés sont répandues et d'autres localisées dans la communauté.
- Functional diversity/Diversité fonctionnelle:** la valeur et la gamme des caractéristiques des espèces et des organismes qui influencent le fonctionnement des écosystèmes.
- Functional traits/Traits fonctionnels:** les traits qui définissent les espèces en fonction de leurs rôles écologiques (comment elles interagissent avec l'environnement et avec d'autres espèces).
- Gamma diversity/Diversité gamma:** mesure de la diversité globale d'une région ou d'un paysage.
- Gender roles/Rôles de genre:** comportements acquis reflétant un conditionnement social concernant les activités les plus appropriées pour les hommes et les femmes.
- Genetic bottleneck/Goulot d'étranglement génétique:** perte de la richesse en diversité suite à une restriction soudaine de la taille de la population, qu'elle soit de courte ou de longue durée.

- Genetic distance/Distance génétique:** mesure de la divergence génétique entre deux populations, basée sur les différences dans les traits phénotypiques, les fréquences des allèles ou les séquences d'ADN, ou des combinaisons de ces données.
- Genetic diversity/Diversité génétique:** variabilité génétique entre ou au sein d'un échantillon d'individus d'une variété, d'une population ou d'une espèce.
- Genetic diversity choices/Choix de diversité génétique:** options de gestion de la diversité variétale utilisées par les agriculteurs qui influent sur l'évolution et la population survivante de la culture pour la saison suivante.
- Genetic drift/Dérive génétique:** changements dans la composition génétique des populations qui se produisent dans les populations suite à un échantillonnage aléatoire dans de petites populations. Les effets de la dérive (perte d'allèles, variation de la fréquence des allèles et divergence des populations) sont les plus évidents dans les très petites populations.
- Genetic erosion/Érosion génétique:** perte de la diversité génétique entre et au sein des populations d'une même espèce au fil du temps, ou réduction de la base génétique d'une espèce due à la fois à la dérive et à la sélection.
- Genetic heterogeneity/Hétérogénéité génétique:** la population se compose d'individus qui diffèrent génétiquement, indépendamment du fait que les génotypes soient distinguables ou non sur le plan phénotypique.
- Genetic homogeneity/Homogénéité génétique:** la population se compose d'individus qui se ressemblent pour un échantillon donné de loci.
- Genetic polymorphism/Polymorphisme génétique:** présence de plus d'un allèle au niveau d'un locus où la fréquence de la forme la plus courante est inférieure à 99 % ou 95 %.
- Genetic ressources/Ressources génétiques:** germoplasme de plantes, d'animaux ou d'autres organismes contenant une diversité de caractères utiles ayant une valeur réelle ou potentielle.
- Genetic variation/Variation génétique:** différences dans la séquence d'ADN entre les individus.
- Genomic selection/Sélection génomique (GS):** amélioration des traits quantitatifs dans la sélection végétale en utilisant le génome entier, des marqueurs moléculaires à haute densité et le génotypage à haut débit.
- Genotype/Génotype:** composition génétique d'une plante, constituée de caractères héréditaires.
- Genotyping by sequencing/Génotypage par séquençage (GBS):** système hautement multiplexé permettant de construire des bibliothèques à représentation réduite pour une plateforme de séquençage de nouvelle génération. Il génère un grand nombre de polymorphismes de nucléotides uniques (SNPs) à utiliser dans les analyses génétiques.
- Geographic information systems (GIS)/Système d'information géographique (SIG)** système de gestion de base de données pouvant traiter simultanément des données spatiales sous forme graphique (par exemple, des cartes ou le «où») et des données d'attributs connexes, logiquement attachées, non spatiales (c'est-à-dire les étiquettes et les descriptions des différentes zones ou points sur une carte, ou le «quoi»).
- Geographical indication/Indication géographique:** étiquette apposée sur des produits qui ont une origine géographique spécifique et qui possèdent des qualités et une réputation dues à ce lieu d'origine. Il existe différentes modalités d'indications: les indications d'origine géographique, les indications géographiques protégées, les appellations d'origine protégées, les appellations d'origine et les dénominations d'origine.

- Germplasm/Germoplasme:** le matériel de reproduction d'individus, de groupes d'individus ou de clones représentant des génotypes, des variétés, des espèces ou des cultures, détenus en tant qu'accessions dans une collection *in situ* ou *ex situ*.
- Greenhouse/Serre:** bâtiment conçu pour la culture de plantes dans des conditions plus protégées ou contrôlées et généralement plus chaudes qu'en plein champ. Les structures varient en taille, en degré de contrôle et en matériaux de revêtement (verre ou plastique).
- Gynodioecios/Gynodioïque:** un dimorphisme sexuel dans lequel certains individus ne portent que des fleurs femelles et les autres individus portent des fleurs bisexuelles parfaites.
- Haploid/Haploïde:** de ou relatif à une cellule d'un eucaryote qui ne possède qu'un seul ensemble de chromosomes.
- Haplotype:** Une certaine combinaison d'allèles spécifiques à un certain nombre de loci maintenus ensemble dans un bloc de liaison défini.
- Hedonic price model/Modèle de prix hédonique:** approche analytique de l'économie consistant à estimer le prix d'un bien en fonction de ses caractéristiques intrinsèques et de ses aspects externes.
- Heritability/Héritabilité:** la mesure dans laquelle la variation phénotypique observée pour un caractère donné dans une population est contrôlée par la diversité génétique, plutôt que par la variation de facteurs environnementaux ou non génétiques.
- Hermaphrodite/Hermaphrodite** plante dont les fleurs contiennent à la fois des étamines et des carpelles (organes reproducteurs mâles et femelles).
- Hétérozygote:** un individu possédant différents allèles pour un ou plusieurs gènes particuliers.
- High-Yielding Variety (HYV)/Variété à haut rendement:** une variété de culture développée dans le cadre de programmes de sélection modernes pour maximiser les rendements (souvent dans des conditions d'intrants élevés) au détriment de la diversité ou de l'adaptation à l'environnement local. Les variétés à haut rendement sont couramment encouragées par des projets de développement agricole et sont souvent considérées comme des menaces pour les variétés de pays localement développés appartenant à la même espèce ou pour remplacer d'autres cultures traditionnelles.
- Homologous/Homologue:** de la même source ou ayant la même fonction ou structure évolutive. Pour les chromosomes: identiques en ce qui concerne le contenu génétique et l'ordre linéaire comme base de l'appariement au moment de la méiose.
- Homozygosity/Homozygotie:** décrit un individu qui possède le même allèle ou la même séquence d'ADN pour toutes ses copies homologues d'un gène donné sur des chromosomes homologues.
- Horizontal breeding/Sélection horizontale:** sélection pour la résistance aux maladies qui n'est pas spécifique à la race et qui est basée sur l'expression de nombreux gènes (QTLs).
- Humus:** matière organique accumulée dans le sol qui a subi une décomposition et une minéralisation.
- Hypoxia/Hypoxie:** faible tension d'oxygène, qui transforme la respiration d'un organisme en voies anaérobies qui provoquent des changements biochimiques défavorables.
- IFOAM:** Fédération internationale des mouvements d'agriculture biologique.

In situ conservation/Conservation *in situ*: conservation des écosystèmes et des habitats naturels et les processus visant à maintenir des populations viables d'espèces dans leur environnement naturel et, dans le cas des espèces domestiquées ou cultivées, dans l'environnement où elles ont développé leurs propriétés distinctives. La conservation *in situ* des ressources domestiquées se concentre sur les champs des agriculteurs dans le cadre des agro-écosystèmes existants, tandis que d'autres types de conservation *in situ* concernent les populations de plantes sauvages se développant dans leurs habitats d'origine.

Inbreeder/Plante autofécondée: plante dont la biologie reproductive est auto-compatible et qui a tendance à s'auto-polliniser fréquemment, contrairement à plante allofécondée.

Inbreeding depression/Dépression de consanguinité: perte de forme physique résultant d'accouplements entre individus étroitement apparentés au sein d'une population.

Indigenous Knowledge (IK)/Connaissances indigènes: les connaissances ou traditions qui existent dans une communauté locale.

Informal seed system/Système semencier informel: un système de création de variétés végétales, de production, de commercialisation et d'échange de semences qui ne suit pas nécessairement les lois et réglementations promulguées par l'État pour réglementer la qualité des variétés végétales et des semences disponibles sur le marché.

Informatics/Informatique: la science de l'information et du calcul dans les systèmes complexes comportant de nombreuses données. L'informatique de la biodiversité est l'application des techniques informatiques à l'information sur la biodiversité en vue d'améliorer la gestion, la présentation, la découverte, l'exploration et l'analyse.

Inhibitor/Inhibiteur: toute substance ou tout objet qui retarde une réaction chimique.

Inoculum: un petit morceau de tissu coupé d'un explant provenant d'un tissu ou d'un organe, ou une petite quantité de matériel cellulaire provenant d'une culture en suspension, transféré dans un milieu frais pour la croissance continue de la culture. En pathologie, c'est le matériel dérivé de l'agent pathogène, tel qu'une suspension de spores, qui déclenche la maladie chez une plante non infectée auparavant.

Insurance hypothesis/Hypothèse d'assurance: individus possédant des traits qui peuvent être utiles ultérieurement. Une plus grande diversité d'espèces, de variétés ou de génotypes «assure» un écosystème contre le déclin fonctionnel dû à des changements environnementaux néfastes.

Introgression: transfert d'informations génétiques d'une espèce à une autre suite à l'hybridation entre elles et à des rétrocroisements répétés.

Isozymes: multiples formes moléculaires d'une enzyme. Les isozymes peuvent être codées par différents loci génétiques ou par différents allèles à un même locus. Dans ce dernier cas, elles sont appelées allozymes. Elles partagent la même fonction mais peuvent différer en termes de niveau d'activité en raison de différences mineures dans leur séquence d'acides aminés.

JPO: Office des brevets du Japon.

Key informant/Informateur clé: expert local reconnu pour un sujet d'enquête.

- Kinship/Parenté:** ensemble des relations socialement reconnues entre les individus d'une société qui sont biologiquement apparentés ou qui ont reçu le statut de parents par mariage, adoption ou autre rituel.
- Landrace/Variété de pays (également appelée variété traditionnelle, variété paysanne ou variété folklorique):** variété de culture, souvent porteuse d'une certaine variabilité génétique, mais présentant une certaine intégrité génétique qui a évolué dans la culture, généralement dans un système agricole traditionnel sur de longues périodes, et s'est adaptée à un environnement ou à un objectif local spécifique. Les agriculteurs reconnaissent ses caractéristiques, choisissent les traits qu'ils désirent et lui attribuent généralement un nom ou une nomenclature pour l'identification.
- Locus (loci au pluriel):** la position sur un chromosome où réside un gène.
- Low-heritability environment/Environnement à faible héritabilité:** environnement où l'établissement des semis et la sélection de variétés adaptatives sont difficiles en raison de l'hétérogénéité des environnements de conduite des cultures et des conditions environnementales, telles que l'imprévisibilité ou l'incertitude de la distribution saisonnière.
- Major gene resistance/Résistance génique majeure:** résistance à une maladie qui s'exprime sous la forme d'une réponse qualitative à des pathotypes spécifiques de races de l'agent pathogène (spécifique à une race) et qui est contrôlée par un nombre limité de gènes individuels définis.
- Markov process/Processus de Markov:** processus aléatoire généralement caractérisé comme étant sans mémoire: l'état suivant dépend uniquement de l'état actuel et non de la séquence des événements qui l'ont précédé.
- Marker-Assisted Selection MAS/Sélection assistée par marqueurs SAM:** utilisation de marqueurs d'ADN liés à des traits spécifiques pour améliorer la réponse à la sélection dans une population.
- Mass selection/Sélection massale:** survie de génotypes les mieux adaptés dans des populations en vrac variables et sélection de semences d'un certain nombre d'individus matures sur la base de leurs phénotypes individuels, pour ou contre des traits particuliers, afin de former la génération suivante.
- Memory banking/Banque de mémoire:** collecte et documentation des connaissances des agriculteurs pour une utilisation future; c'est une analogie avec le stockage et la documentation de germoplasme dans une banque de gènes. La banque de mémoire sert à saisir et à enregistrer les dimensions culturelles de la biodiversité végétale dont les noms locaux, les technologies indigènes et les utilisations associées aux différentes plantes et variétés qui ont été traditionnellement transmises d'une génération à l'autre par voie orale, pour permettre aux communautés locales d'y accéder et de les gérer.
- Metapopulation/Métapopulation:** un groupe de populations séparées dans l'espace appartenant à la même espèce et qui interagissent à un certain niveau. Les éléments sont particulièrement sujets à une extinction locale et à une recolonisation par la migration d'autres populations. Ces événements stochastiques se produisent à des fréquences variables.
- Micro-array/Puce à ADN:** un grand ensemble de molécules d'ADN clonées et fixées sur une matrice solide (généralement une lame de verre) sous la forme d'un motif compact et ordonné de spots de taille inférieure au microlitre.

Micro-finance/Microfinance: généralement comprise comme la fourniture de services financiers aux microentrepreneurs et aux très petites entreprises au niveau local, où l'accès aux services bancaires et aux services connexes fait défaut.

Microsatellite/Microsatellite: un fragment d'ADN caractérisé par un nombre variable de copies (typiquement 5-50) d'une séquence d'environ cinq bases ou moins (appelée unité répétitive).

Migration: mouvement d'individus d'une population d'une espèce à une autre. La migration donne lieu à un flux génétique lorsque les immigrants présentent des fréquences alléliques différentes de celles de la population d'accueil.

Minimum viable population/Population minimale viable: la taille d'une population nécessaire pour assurer sa persistance pendant une période déterminée à un certain niveau de probabilité (par exemple, 95 %).

Minor crops/Cultures mineures: comprennent toutes les cultures qui ne font pas partie du groupe des cultures d'importance mondiale qui dominent les systèmes de production modernes. Elles peuvent être réparties à l'échelle mondiale (comme le sarrasin), avoir une importance régionale (comme *Lathyrus sativus* en Inde) ou être très locales comme les racines et tubercules mineurs (par exemple, l'ulluco) des Andes.

Minor gene resistance/Résistance des gènes mineurs: variation de la réponse de l'hôte à la maladie qui est attribuable à l'action combinée complexe de nombreux gènes mineurs. Les réponses résistantes ne sont généralement pas spécifiques aux pathotypes.

Mixtures/Mélanges: mélanges de deux ou plusieurs cultivars qui varient pour de nombreux caractères dont la résistance aux maladies, mais qui présentent suffisamment de similitudes pour être cultivés ensemble.

Modern Variety (MV)/Variété moderne (MV): variété de culture développée par des sélectionneurs de plantes modernes et souvent étendue à d'autres régions et pays; synonyme de variété à haut rendement.

Monoculture: un système de production agricole qui cultive et produit une culture entière composée d'organismes génétiquement similaires.

Monoecious/Monoïque: une espèce de plante qui possède des fleurs mâles et femelles séparées sur la même plante.

mtDNA (mitochondrial DNA)/ADNmt (ADN mitochondrial): molécule d'ADN circulaire présente dans les mitochondries des cellules.

Multiline/Multilignée: mélange de lignées ou de variétés génétiquement similaires qui diffèrent principalement par leur résistance à différentes souches d'agents pathogènes.

Multiple regression analysis/Analyse de régression multiple: méthode statistique qui vise à établir une relation linéaire entre une variable dépendante ou de réponse et différents facteurs indépendants ou prédictifs.

Mutation: une source de nouvelle variation génétique; c'est un changement héréditaire de la séquence nucléotidique d'un gène ou une altération de la structure chromosomique.

Mutualism/Mutualisme: une interaction biotique de deux organismes qui profite aux deux partenaires.

- Natural selection/Sélection naturelle:** processus d'évolution au cours duquel des organismes mieux adaptés à leur environnement ont tendance à survivre et à produire plus de descendants.
- Neglected crops/Cultures négligées:** cultures largement négligées par l'agriculture moderne tout en restant importantes pour les communautés locales. Le tef d'Éthiopie et le fonio d'Afrique de l'Ouest sont des exemples de ces cultures.
- Nei index of genetic diversity/Indice de diversité génétique de Nei:** la probabilité moyenne que des copies homologues appariées d'un locus génétique choisi au hasard dans une population diffèrent, correspondant à l'hétérozygotie moyenne attendue dans une population diploïde s'accouplant de manière aléatoire.
- NGS (Next Generation Sequencing)/Séquençage de nouvelle génération:** un ensemble croissant de technologies (par exemple, 454, SOLiD, Illumina, Ion Torrent) qui permettent un séquençage à haut débit à l'échelle du génome entier permettant de produire des milliers ou des millions de séquences d'ADN. Le grand nombre de lectures nécessite des procédures bioinformatiques pour leur alignement et leur analyse.
- Niche market/Marché de niche:** le sous-ensemble ou la section du marché total sur lequel se concentre un produit spécifique.
- Nitrogen utilization (or use) efficiency (NUE)/Efficacité de l'utilisation de l'azote:** le produit de l'efficacité de l'absorption et de l'efficacité de l'utilisation de l'azote. Elle reflète la capacité des plantes à produire dans des conditions à faible teneur en azote, et est mesurée par le rapport entre le rendement en grains obtenu (en particulier la quantité d'azote exportée du champ) et l'azote minéral disponible dans le sol et l'engrais.
- Nodal farmers/Agriculteurs nodaux:** agriculteurs particuliers d'une communauté ou d'une région qui sont d'importantes sources de semences, d'informations et d'expertise sur la culture de plantes et de variétés traditionnelles et qui sont donc reliés en réseau.
- Non-market value/Valeur non marchande:** la valeur d'un bien ou d'un service qui n'est pas reflétée ou saisie par son prix de marché.
- Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)/Indice de Végétation par Différence Normalisée:** un indicateur graphique utilisé pour analyser les mesures de télédétection—généralement effectuées par les satellites—et pour évaluer si la cible observée contient ou non de la végétation verte vivante; si c'est le cas, le NDVI est alors utilisé pour surveiller la croissance des plantes, le couvert végétal et la production de biomasse.
- Nucellar embryony/Embryon nucléaire:** forme d'apomixie dans laquelle un embryon se développe végétativement à partir du tissu somatique entourant le sac embryonnaire, plutôt que par fécondation de l'ovocyte.
- On-farm conservation/Conservation à la ferme:** une approche de la conservation *in situ* des ressources génétiques, axée sur la conservation des espèces végétales cultivées ou animales domestiquées dans les champs des agriculteurs.
- Open-pollinated/Pollinisation libre:** fleurs qui sont pollinisées par le vent, les insectes ou d'autres mécanismes naturels sans intervention humaine, comme les obstacles à la migration du pollen, la prévention de l'autofécondation ou d'autres manipulations de reproduction.

Option value/Valeur d'option: les avantages que les futurs consommateurs tireront d'un bien ou d'un service maintenu dans le présent.

Ordination: l'analyse de données multivariées par l'une des nombreuses méthodes statistiques qui ordonnent les objets pour lesquels les valeurs de plusieurs variables sont disponibles, de sorte que les objets similaires soient proches les uns des autres et que les objets dissemblables soient séparés les uns des autres.

Organic farming/Agriculture biologique: une forme d'agriculture qui repose sur des processus écologiques, la biodiversité et des cycles adaptés aux conditions locales, plutôt que sur l'utilisation d'intrants qui risquent d'avoir des effets négatifs. Selon la Fédération internationale des mouvements d'agriculture biologique (IFOAM), elle promeut les quatre principes suivants : santé, écologie, équité et prudence. L'agriculture biologique utilise des engrais et des pesticides, mais exclut ou limite strictement l'utilisation d'engrais fabriqués (synthétiques), de pesticides (qui comprennent les herbicides, les insecticides et les fongicides), de régulateurs de croissance des plantes, d'hormones et d'antibiotiques pour le bétail.

Orthodox seeds/Semences orthodoxes: semences qui peuvent être séchées et stockées à basse température pendant une période prolongée, idéales pour la conservation *ex situ* dans une banque de gènes. Ces graines ont généralement évolué dans la nature sous forme de propagules pour rester dormantes et persister naturellement dans la banque de graines du sol pendant de longues périodes.

Osmotic adjustment/Ajustement osmotique: accumulation nette de solutés dans une cellule en réponse à une baisse du potentiel hydrique de l'environnement de la cellule.

Outbreeder/Plante allofécondée: plante qui dépend largement de la pollinisation croisée avec une plante apparentée éloignée pour produire des semences résultant d'une auto-incompatibilité génétiquement contrôlée, d'un système de reproduction monoïque ou dioïque, de fleurs herkogames ou dichogames, etc. Contrairement à plante autofécondée.

Panmixis: accouplement aléatoire d'individus au sein d'une population.

Parthenocarpy/Parthénocarpie: développement des fruits sans fécondation.

Parthenogenesis/Parthénogénèse: reproduction unisexuelle, production de descendants d'un ovule non fécondé.

Participant observation/Observation des participants: méthode de recherche qualitative, en sciences sociales, menée sur le terrain, dans laquelle un chercheur se joint aux résidents locaux dans leurs routines et activités quotidiennes, et note ses constatations sur la base de conversations informelles avec des informateurs et de l'expérience du chercheur lorsqu'il tente d'accomplir les tâches ou de faire le travail en question.

Participatory diagnosis/Diagnostic participatif: approche de recherche appliquée conçue pour obtenir l'opinion et la participation de groupes d'utilisateurs, de ménages résidentiels et d'autres acteurs locaux dans la collecte et l'analyse d'informations sur les innovations technologiques, les interventions de développement ou les politiques proposées en matière de ressources ou d'utilisation des terres affectant une communauté ou une région.

Participatory plant breeding (PPB)/Sélection végétale participative: programme de sélection dans lequel les sélectionneurs et les agriculteurs collaborent étroitement dans toutes

ses phases (sélection parentale, hybridation, évaluation à la ferme, sélection) pour développer de nouvelles variétés avec un rendement amélioré et des traits préférés par les agriculteurs.

Participatory varietal selection/Sélection variétale participative: sélection de lignées fixes (variété stable de lignées homologuées, lignées avancées ou de variétés traditionnelles) par les agriculteurs dans leurs environnements cibles en utilisant leurs propres critères de sélection.

Pathogenicity/Pathogénicité: capacité d'un microbe à occasionner des dommages causés par une maladie chez un hôte.

Payment for ecosystem services/Paiement des services écosystémiques: incitations fondées sur le marché visant à motiver la conservation des services écosystémiques par le biais de redevances, de permis négociables, de subventions et de réductions des frictions sur le marché.

Phenotype/Phénotype: somme des caractéristiques physiques d'une plante; le phénotype d'une plante est le résultat de l'interaction entre les traits génotypiques et les conditions environnementales.

Phenotypic plasticity/Plasticité phénotypique: capacité d'une plante à modifier son phénotype et donc à survivre et à se reproduire, malgré un environnement modifié.

Photoperiod/Photopériode: durée de la lumière du jour ou période d'illumination quotidienne fournie pour la croissance et la signalisation nécessaire aux stades de développement tels que l'initiation florale.

Phylogeny/Phylogénie: histoire de l'évolution d'un groupe taxonomique d'organismes; représentée comme un arbre de relations divergentes.

Phylogeography/Phylogéographie: processus historique responsable de la répartition géographique contemporaine des organismes et des espèces, basé sur les relations entre les généalogies des gènes des espèces vivantes et leur localisation géographique.

Phytoliths/Phytolithes: minuscules particules calcaires minéralisées, formées dans les tissus des plantes vivantes.

Plant Breeder Rights (PBR)/Droits d'obtenteur: également appelés droits d'obtention végétale (PVR), ce sont des droits accordés à l'obtenteur d'une nouvelle variété végétale selon lesquels l'obtenteur a le contrôle de l'exploitation du matériel de multiplication de cette nouvelle variété pendant un certain nombre d'années.

Ploidy/Ploïdie: nombre d'ensembles complets de chromosomes par cellule (par exemple, un ensemble = haploïde, deux ensembles = diploïde, trois ensembles = triploïde...).

Polymerase Chain Reaction (PCR)/Réaction de polymérisation en chaîne (PCR): procédure de biologie moléculaire qui amplifie par duplication répétée des séquences d'ADN spécifiques à chaque cycle, comme déterminé par la séquence d'ADN ou la séquence d'amorce à chaque extrémité de la cible.

Polymorphism/Polymorphisme: apparition à une fréquence appréciable dans la même population issue de croisements entre deux ou plusieurs classes génétiquement différentes, il s'agit généralement de deux ou plusieurs allèles sur un même locus.

Population: groupe d'individus d'une espèce qui se reproduisent entre eux et qui occupent une seule aire de répartition ou une seule localité.

Population divergence/Divergence de population: processus par lequel deux ou plusieurs populations divergent en termes de fréquence allélique et accumulent des mutations génétiques indépendantes au fil du temps.

Power-spectral analysis/Analyse spectrale de puissance: outil statistique d'analyse des séries chronologiques permettant de déterminer les périodicités au sein des données en fournissant une indication des différentes fréquences au cours du temps de variation, qui expliquent la majeure partie de la variabilité des données.

Predation/Prédation: lorsqu'un organisme tire profit de la consommation des tissus d'un autre organisme, en particulier l'herbivorie de feuilles ou de graines de plantes.

Primary Centers of Diversity/Centres primaires de diversité: zones de grande diversité d'un certain nombre d'espèces cultivées qui sont souvent celles où de nombreuses cultures semblent avoir été domestiquées.

Primer/Amorce: oligonucléotide court annelé à une matrice d'ADN simple brin, fournissant une structure double brin à partir de laquelle l'ADN polymérase synthétisera un nouveau brin d'ADN pour produire une molécule duplex.

Principal Component Analysis (PCA)/Analyse en Composante Principale (ACP): une procédure statistique d'ordination qui utilise une transformation orthogonale pour convertir un ensemble d'observations de variables éventuellement corrélées en un ensemble de valeurs de variables non corrélées linéairement ou de composantes principales. La première de ces composantes représente la plus grande variance possible dans les données. Les premières composantes déterminent les coordonnées pour la cartographie des objets mesurés.

Production function/Fonction de production: modèle mathématique qui décrit les compromis nécessaires pour maximiser les possibilités productives de différents intrants en vue d'un objectif particulier (par exemple, le rendement, le revenu du foyer, le maintien de la diversité des cultures).

Quantitative Trait Loci (QTL)/Loci de traits quantitatifs: gènes multiples qui affectent l'expression phénotypique d'un caractère continu, généralement un caractère de mesure.

Quiescent: une suspension ou une réduction temporaire du taux d'activité ou de croissance, tout en conservant la possibilité de reprendre une activité antérieure.

Race-nonspecific resistance/Résistance non spécifique à la race: également appelée résistance horizontale, résistance aux gènes mineurs, résistance quantitative et résistance au champ. La résistance non spécifique à la race est souvent partielle et contrôlée par de multiples QTL, ce qui rend plus difficile son incorporation dans de nouvelles variétés.

Race-specific resistance/Résistance spécifique à la race: les autres noms attribués à la résistance spécifique à la race sont la résistance verticale, la résistance du gène majeur et la résistance qualitative. La résistance spécifique à la race est la résistance à certains pathotypes de l'agent pathogène et la sensibilité à d'autres. Elle est souvent contrôlée par un seul ou très peu de loci où l'allèle résistant est dominant.

RAPD (Random Amplified Polymorphic DNA): amplification aléatoire d'ADN polymorphe: technique de génotypage basée sur la PCR dans laquelle les matrices génomiques sont amplifiées avec des amorces uniques, courtes (généralement 10-mer), choisies de manière aléatoire.

Recalcitrant seeds/Semences récalcitrantes: semences qui sont tuées par séchage et qui ne sont donc pas facilement stockées pendant de longues périodes. Les semences de nombreuses cultures tropicales sont de cette nature.

Reciprocal averaging/Moyenne réciproque: également appelée analyse des correspondances, c'est une technique d'ordination pour les données multivariées et elle est liée aux moyennes pondérées et analogue à l'ACP.

Reciprocal transplant experiment/Expérience de transplantation réciproque: une expérience au cours de laquelle des organismes provenant de deux ou plusieurs environnements sont introduits et testés dans chacun des environnements sources. En revanche, une expérience de jardin commun implique l'essai comparatif de tous les organismes dans un environnement uniforme.

Recombination /Recombinaison: un processus nécessairement mais pas exclusivement associé à la méiose qui produit une molécule d'ADN recombinant avec des segments dérivés de plus d'une molécule d'ADN parental.

Regression analysis/Analyse de régression: méthode d'analyse statistique permettant de déterminer une relation linéaire entre une variable dépendante ou de réponse et une variable prédictive ou indépendante.

Regulating services /Services de régulation: les services obtenus par la régulation des processus des écosystèmes tels que la séquestration du carbone et l'atténuation des effets du climat, la lutte contre les ravageurs et les maladies, la disponibilité de l'eau et la pollinisation.

Remote sensing/Téledétection: science qui consiste à obtenir des informations sur un objet en acquérant des données à l'aide d'un dispositif généralement éloigné (avions ou satellites) de l'objet d'intérêt.

Resilience /Résilience: capacité d'un écosystème ou d'une espèce à absorber des perturbations ou à s'en remettre.

Restriction endonucleases/Endonucléases de restriction: enzymes qui coupent l'ADN double brin ou simple brin à des sites de reconnaissance spécifiques afin de produire des fragments.

Restriction Fragment Length Polymorphism (RFLP)/Polymorphisme de longueur des fragments de restriction: variation des fragments d'ADN de longueur différente produits par la digestion d'un échantillon d'ADN avec une endonucléase de restriction spécifique. Le polymorphisme se produit lorsque les fragments homologues diffèrent en taille et se séparent sous forme d'allèles sur un locus génétique.

Revealed preference techniques/Techniques des préférences révélées: approches de collecte de données économiques impliquant un comportement observé par les informateurs.

Richness/Richesse: le nombre total de types distincts (allèles, génotypes, variétés ou espèces) présents dans un échantillon ou une zone définie.

SCAR (Sequence Characterized Amplified Region)/région amplifiée caractérisée par une séquence: marché moléculaire obtenu par la conversion en un site marqué par une séquence d'un seul produit d'ADN polymorphe amplifié aléatoirement.

Scion: partie vivante détachée d'une plante (bourgeon ou pousse) greffée sur un stock d'un autre génotype. Le stock fournit le système racinaire et le tronc principal de la plante adulte, et le scion développe la tige supérieure, le couvert foliaire et le fruit.

Secondary centers of diversity/Centres secondaires de diversité: zones de grande diversité d'espèces cultivées en dehors des lieux où ces espèces ont été domestiquées à l'origine.

Seed fair/Foire aux semences: une foire spécialisée dans les semences et normalement organisée au niveau local ou du village. Elle offre un marché où les traders exposent leurs produits et où les acheteurs viennent acheter.

Seed law/Loi sur les semences: ensemble de lois et de règlements édictés par l'État pour réglementer la qualité des variétés végétales et des semences disponibles sur le marché.

Seed lot/Lot de semences: unité physique de semences d'une variété donnée qui est sélectionnée par un agriculteur et semée pendant une campagne agricole afin de reproduire cette variété.

Selection/Sélection: tout processus, naturel ou artificiel, qui permet d'augmenter la proportion de certains génotypes ou groupes de génotypes dans les générations suivantes, au détriment d'autres génotypes; la survie différentielle et la reproduction des génotypes.

Self-fertile/Autofertile: variété ou espèce dans laquelle des plantes individuelles peuvent produire une descendance viable à partir de la fécondation de leurs œufs par leur propre autopollinisation.

Semi-structured interviews/Entretiens semi-structurés: un outil itératif de collecte de données pour la recherche sociale permettant au chercheur de définir à l'avance les questions clés et les points de référence qui seront abordés lors d'un entretien avec un répondant, mais permet également à l'entretien d'évoluer dans des directions imprévues à mesure que de nouvelles informations et de nouvelles idées émergent au cours de l'entretien.

Sequence/Séquence: l'ordre linéaire des nucléotides le long d'une molécule d'ADN ou d'ARN, et le procédé par lequel il est obtenu.

Shadow price/Prix fictif: la valeur non observée d'un bien ou d'un service, distincte du prix du marché.

Shannon diversity index/Indice de diversité de Shannon: quantifie la diversité comme étant l'entropie, ou le degré d'incertitude, dans la prédiction du type de l'élément suivant à échantillonner, à partir des informations déjà présentes dans l'échantillon. L'idée est que plus le nombre d'allèles ou de types déjà échantillonnés est riche ou élevé, et plus leur fréquence est régulière, plus il sera difficile de prédire correctement le type de l'élément échantillonné suivant.

Shattering/Egrenage: capacité naturelle des graines à se détacher facilement de l'épi, de la panicule, de la légumineuse ou de toute autre structure à laquelle elles sont attachées lorsqu'elles arrivent à maturité sur la plante.

Shifting cultivation/Culture itinérante: système agricole dans lequel des parcelles sont cultivées temporairement, puis abandonnées et laissées à leur végétation naturelle pendant que l'agriculteur se déplace vers une autre parcelle.

Simpson index of dominance/Indice de dominance de Simpson: mesure de la concentration lorsque les individus d'un échantillon sont classés par type. C'est la probabilité que deux individus échantillonnés appartiennent au même type ou soient identiques.

Single Nucleotide Polymorphism (SNP)/Polymorphisme d'un seul nucléotide: marqueur génétique résultant d'une variation de séquence à une position particulière dans une séquence d'ADN, lorsqu'un seul nucléotide (A, T, G ou C) du génome diffère entre les membres d'une espèce, ou chromosomes appariés.

Snowball sampling/Échantillonnage en boule de neige: une méthode d'échantillonnage en recherche sociale dans laquelle il est demandé aux informateurs initiaux de suggérer d'autres personnes ou foyer à interroger, et ces personnes suggèrent à leur tour d'autres informateurs, jusqu'à ce que la taille souhaitée de l'échantillon des répondants soit atteinte.

Social capital/Capital social: la capacité des individus à développer, accéder et utiliser les réseaux sociaux dans une communauté ou une société.

Social institution/Institution sociale: un ensemble de positions, de rôles, de normes et de valeurs qui sont placés dans des types particuliers de structures sociales et qui organisent des modèles relativement stables d'activité humaine en ce qui concerne les problèmes fondamentaux de production de ressources vitales pour la reproduction des individus et le maintien de structures sociétales viables dans un environnement donné.

Social network analysis/Analyse des réseaux sociaux: analyse méthodique des relations sociales basée sur la théorie des réseaux.

Soil horizon/Horizon du sol: les couches parallèles à la surface du sol qui constituent un profil de sol et qui diffèrent par leur couleur, leur texture et autres propriétés du sol.

Somaclonal variation/Variation somaclonale: modifications épigénétiques ou génétiques induites pendant la phase de callosité des cellules végétales cultivées in vitro; parfois visibles sous forme de phénotype modifié chez les plantes régénérées à partir de la culture.

Species/Espèce: un groupe d'individus effectivement ou potentiellement croisés entre eux, qui sont isolés sur le plan reproductif des autres groupes similaires, qui partagent un ancêtre commun plus récemment qu'avec des individus d'espèces apparentées, et qui ont une écologie et une morphologie similaires. Les critères de délimitation des espèces ne sont pas toujours clairs, car la spéciation est un processus évolutif continu.

Species diversity/Diversité des espèces: le nombre et la fréquence des espèces, généralement mesurés au niveau d'une communauté écologique.

SSCP (Single Strand Conformational Polymorphism)/polymorphisme de conformation simple brin: différences dans la séquence nucléotidique de fragments d'ADN simple brin homologues, détectés par électrophorèse sur gel.

SSR (Simple Sequence Repeats)/Répétitions de séquences simples: voir microsatellites; courtes séquences répétitives de deux à six paires de bases d'ADN. Ces séquences ont tendance à être polymorphes dans les populations et sont habituellement co-dominantes, ce qui en fait des marqueurs utiles.

Stated-preference techniques/Techniques de préférence déclarées: approches de la collecte de données économiques qui se basent sur des déclarations de comportement hypothétique de la part des répondants.

Stochastic events/Événements stochastiques: événements imprévisibles et aléatoires, tels que des épisodes de changements abiotiques ou biotiques qui s'écartent considérablement des conditions environnementales normales.

Stratification/Stratification: méthode de conception de la recherche par laquelle les données sont collectées auprès de différents groupes ou strates de répondants dans un échantillon, identifiés selon des variables sociales, culturelles et environnementales.

Sui generis system/Système sui generis: lorsqu'il est appliqué à la protection des variétés végétales, il fait référence à l'ensemble des lois et règlements promulgués pour protéger les variétés végétales en tant que sujet particulier de la propriété intellectuelle.

Supporting services/Services de soutien: voir Services écosystémiques, comprennent le cycle hydrologique, le cycle des éléments nutritifs du sol et la formation du sol.

Survey instrument/Instrument d'enquête: questionnaire relativement bien structuré, composé de questions standardisées, qui est complété lors des entretiens individuels avec un échantillon de répondants.

Sustainability, sensus sustainable yield/Durabilité, sens de rendement durable (Gliessman, 2007): la condition de pouvoir récolter la biomasse d'un système à perpétuité car la capacité du système à se renouveler ou à se régénérer n'est pas compromise.

Swidden cultivation/Culture itinérante: système agricole dans lequel les parcelles du champ font objet d'une rotation selon un système de longue jachère, avec une à trois années de culture suivies de périodes de jachère suffisamment longues pour permettre la repousse de la forêt secondaire sur le site.

Tillering/Tallage: formation de plusieurs pousses à partir de la tige d'une seule plante herbacée.

Time series analysis/Analyse de séries chronologiques: analyse d'une séquence de valeurs de données estimées à des moments successifs et espacées à intervalles réguliers. L'analyse extrait des statistiques significatives, estime l'autocorrélation et détecte les tendances afin de permettre la prévision des futurs styles sur la base d'un modèle qui génère des valeurs observées dans le passé.

Total economic value/Valeur économique totale: la somme totale des valeurs d'usage et de non-usage d'un bien ou d'un service, comprenant à la fois les avantages directs et indirects.

Traditional Ecological Knowledge (TEK)/Connaissances écologiques traditionnelles: considérées comme la mémoire de la dynamique homme-environnement dans les systèmes socio-écologiques. Plus cette mémoire est longue, plus il faut s'attendre à ce que les connaissances écologiques traditionnelles reflètent avec précision les complexités des interactions socio-écologiques et facilitent l'adaptation des communautés aux changements des écosystèmes environnants.

Traditional variety (synonym for landrace)/Variété traditionnelle (synonyme de variété de pays): variété de culture, souvent porteuse d'une certaine variabilité génétique tout en possédant une certaine intégrité génétique, qui a évolué au cours de la culture, généralement dans un système agricole traditionnel sur de longues périodes, et qui s'est adaptée à un environnement local ou à un but spécifique. Les agriculteurs reconnaissent ses caractéristiques, choisissent les traits qu'ils désirent et lui attribuent généralement un nom ou une nomenclature significative pour l'identification.

Transaction costs/Coûts de transaction: les coûts encourus pour l'achat et la vente d'un bien ou d'un service, en plus du prix du marché.

TRIPS/ADPIC: accord de l'organisation mondiale du commerce sur les aspects des droits de propriété intellectuelle qui touchent au commerce.

Underutilized crops/Cultures sous-utilisées: les cultures qui ont un potentiel d'expansion mais qui, pour une raison quelconque, ne sont pas adaptées à l'agriculture moderne ou aux pratiques actuelles de production ou de commercialisation.

UPOV: Union Internationale pour la Protection des Obtentions Végétales.

USPTO: Office des brevets et des marques des États-Unis.

Utility function/Fonction d'utilité: modèle mathématique qui mesure les avantages ou la désirabilité d'un bien ou d'un service, et qui définit comment maximiser la valeur qu'il génère.

Value chain analysis/Analyse de la chaîne de valeur: une approche analytique qui identifie comment un bien ajoute de la valeur lorsqu'il passe du producteur par un ou plusieurs intermédiaires jusqu'à ce qu'il atteigne le consommateur et soit finalement éliminé après usage.

Variety/Variété: plante ou groupe de plantes sélectionnées pour leurs caractéristiques désirables et maintenues en culture. Elle peut être traditionnelle et maintenue par les agriculteurs, ou moderne et développée grâce à des programmes de sélection délibérés.

Variety purity/Pureté variétale: propriété d'une variété de culture jugée nécessaire à la commercialisation, en l'absence de génotypes considérés comme hors-type ou contaminants, et dont les semences conservent les caractères variétaux et se reproduisent fidèlement à la variété.

VCU: Valeur pour la culture et l'utilisation.

Vector/Vecteur: organisme vivant qui porte et transmet un agent infectieux d'un parasite ou d'un pathogène d'un individu hôte à un autre.

Vegetative propagation/Reproduction végétative: reproduction d'une plante par des parties végétatives génétiquement identiques, comme les tubercules, les cormes, les bourgeons, les stolons ou les boutures de tiges, plutôt que par des semences (aussi appelée multiplication clonale)

Vernalization/Vernalisation: la réfrigération des semences en germination ou des jeunes plants en germination pendant une période minimale afin d'induire la floraison.

Vertical breeding/Sélection verticale: sélection pour la résistance aux maladies qui consiste à sélectionner des gènes majeurs qui conditionnent la résistance à des pathotypes spécifiques (par exemple, les gènes de résistance provenant d'espèces sauvages apparentées), en accordant peu d'attention à la résistance des gènes mineurs.

Virulence: capacité moyenne d'une population d'agents pathogènes à surmonter la diversité des gènes de résistance présents dans une population hôte et à provoquer la maladie.

Vulnerability/Vulnérabilité: le degré auquel un système est susceptible ou incapable de faire face aux effets néfastes du changement dans son environnement abiotique ou biotique.

Weed/Mauvaise herbe: une plante envahissante qui pousse spontanément là où elle n'est pas souhaitée et en concurrence avec les plantes cultivées ou au détriment de la biodiversité naturelle locale.

Wild relative/Parent sauvage: une espèce non cultivée qui est plus ou moins proche d'une espèce domestiquée. Elle n'est normalement pas utilisée directement pour l'agriculture, mais peut se trouver dans les écosystèmes agricoles et servir de source de gènes utiles. Cette catégorie comprend le progéniteur évolutif direct de la culture ainsi que des espèces moins apparentées mais généralement congénères du même genre.

RÉFÉRENCES

- Agarwal, A. 2010. "Current trends in the evolutionary ecology of plant defence". *Functional Ecology* 25:420–32.
- Ahrens, C. D. 2012. *Meteorology Today: An Introduction to Weather, Climate, and the Environment*, 10th ed. Brooks/Cole, Belmont, CA.
- Albu, M., and A. Griffith. 2005. *Mapping the Market: A Framework for Rural Enterprise Development Policy and Practice*. Practical Action (Formerly ITDG), Rugby, UK.
- Allard, R. W. 1999. *Principles of Plant Breeding*, 2nd ed. John Wiley.
- Allard, R. W., and J. Adams. 1969. "Population studies in predominately self-pollinating species. XIII. Intergenotypic competition and population structure in barley and wheat". *American Naturalist* 103:621–45.
- Allen, D. J., J. M. Lenne, and J. M. Walker. 1999. "Pathogen biodiversity: its nature, characterization and consequences". Pp. 123–53 in *Agrobiodiversity: Characterization, Utilization and Management* (D. Wood and J. Lenne, Eds.) CAB International, Wallingford.
- Almekinders, C. J. M., R. Cavatassi, F. Terceros, R. P. Romero, and L. Salazar. 2010. "Potato seed supply and diversity: dynamics of local markets of Cochabamba Province, Bolivia—a case study". Pp. 75–94 in *Seed Trade in Rural Markets: Implications for Crop Diversity and Agricultural Development* (L. Lipper, C. L. Anderson, and T. J. Dalton, Eds.) FAO, Rome/Earthscan, London.
- Almekinders, C. J. M., and W. de Boeuf. 2000. *Encouraging Diversity: The Conservation and Development of Plant Genetic Resources*. Intermediate Technology Publications, Rugby, UK.
- Almekinders, C. J. M., J. Hardon with A. Christink, S. Humphries, D. Pelegrina, B. Sthapit, R. Vernooij, B. Visser, and E. Weltzien. 2006. "Bringing farmers back into breeding. Experiences with PPB and challenges for institutionalisation". *AgroSpecial* 5:85–200, Agromisa, Wageningen.
- Altieri, M. A., and L. C. Merrick. 1987. "In situ conservation of crop genetic resources through maintenance of traditional farming systems". *Economic Botany* 41:86–96.
- Anderson, C. L., L. Lipper, T. J. Dalton, M. Smale, J. Hellin, T. Hodgkin, C. Almekinders, P. Audi, M. R. Bellon, R. Cavatassi, L. Diakite, R. Jones, E. D. I. Oliver King, A. Keleman, M. Meijer,

- T. Osborn, L. Nagarajan, A. Paz, M. Rodriguez, A. Sidibe, L. Salazar, J. van Heerwaarden, and P. Winters. 2010. "Project methodology: using markets to promote the sustainable utilization of crop genetic resources". Pp. 31–48 in *Seed Trade in Rural Markets: Implications for Crop Diversity and Agricultural Development* (L. Lipper, C. L. Anderson, and T. J. Dalton, Eds.) FAO, Rome/Earthscan, London.
- Arias, L., J. Chavez, V. Cob, L. Burgos, and J. Canul. 2000. "Agromorphological characters and farmer perceptions: data collection and analysis. Mexico". Pp. 95–100 in *Conserving Agricultural Biodiversity In situ: A Scientific Basis for Sustainable Agriculture* (D. Jarvis, B. Sthapit, and L. Sears, Eds) International Plant Genetic Resources Institute, Rome.
- Armstrong, P. R., K. J. Gaston, N. D. Hanley, and R. J. Ruffell. 2009. "Contrasting approaches to statistical regression in ecology and economics". *Journal of Applied Ecology* 46:265–68.
- Arnason, J. T., B. Baum, J. Gale, et al. 1994. "Variation in resistance of Mexican landraces of maize to maize weevil, *Sitophilus zeamais*, to taxonomic and biochemical parameters". *Euphytica* 74:227–36.
- Arslan, A., and J. E. Taylor. 2009. "Farmers' subjective valuation of subsistence crops: the case of traditional maize in Mexico". *American Journal of Agricultural Economics* 91:956–72.
- Atkinson, N. J., and P. E. Unwin. 2012. "The interaction of plant biotic and abiotic stresses: from genes to the field". *Journal of Experimental Botany* 63:3523–43.
- Aubertin, C., F. Pinton, and V. Boisvert, Eds. 2007. Les marchés de la biodiversité. IRD, Orstom.
- Ayadi, S., C. Karmous, Z. Hammami, N. Tamani, Y. Trifa, S. Esposito, and S. Rezgui. 2012. "Genetic variability of nitrogen use efficiency components in Tunisian improved genotypes and landraces of durum wheat". *Agricultural Science Research Journal* 2:591–601.
- Babcock, B. A., E. Lichtenberg, and D. Zilberman. 1992. "Impact of damage control and quality of output: estimating pest control effectiveness". *American Journal of Agricultural Economics* 74:163–72.
- Badstue, L. B., M. Bellon, J. Berthaud, A. Ramirez, D. Flores, and X. Juarez. 2007. "The dynamics of seed flow among maize growing small-scale farmers in the central valleys of Oaxaca, Mexico". *World Development* 35:1579–93.
- Bai, Y., and P. Lindhout. 2007. "Domestication and breeding of tomatoes: What have we gained and what can we gain in the future?" *Annals of Botany* 100:1085–94.
- Bailey-Serres, J., and L. A. C. J. Voesenek. 2008. "Flooding stress: acclimations and genetic diversity". *Annual Review of Plant Biology* 59:313–39.
- Bajracharya, J., K. A. Steele, D. I. Jarvis, B. R. Sthapit, and J. R. Witcombe, 2005. "Rice landrace diversity in Nepal: variability of agro-morphological traits and SSR markers in landraces from a high-altitude site". *Field Crops Research* 95:327–35.
- Baldwin, J. F. 1981. "Fuzzy logic and fuzzy reasoning". In *Fuzzy Reasoning and Its Applications* (E. H. Mamdani and B. R. Gaines, Eds.) Academic Press, London.
- 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". Pp. 171–75 in *On-Farm Management of Agricultural Biodiversity in Nepal*, Proceedings of a national workshop. NARC/LIBIRD/IPGRI.
- Barnaud, A., M. Deu, E. Garine, J. Chantreau, J. Bolteu, E. O. Koïda, D. McKey, and H. Joly. 2009. "A weed-crop complex in sorghum: the dynamics of genetic diversity in a traditional farming system". *American Journal of Botany* 96:1869–79.

- Barnaud, Adeline, Monique Deu, Eric Garine, Doyle McKey, and Hélène I. Joly. 2007. "Local genetic diversity of sorghum in a village in northern Cameroon: structure and dynamics of landraces". *Theoretical and Applied Genetics* 114:237–48.
- Barry, M. B., J.-L. Pham, S. Béavogui, A. Ghesquière, and N. Ahmadi. 2008. "Diachronic (1979–2003) analysis of rice genetic diversity in Guinea did not reveal genetic erosion". *Genetic Resources and Crop Evolution* 55:723–33.
- Beierle, T. C. 2002. "The quality of stakeholder-based decisions". *Risk Analysis* 22:739–49.
- Bela, G., B. Balazs, and G. Pataki. 2006. "Institutions, stakeholders and the management of crop biodiversity on Hungarian family farms". Pp. 251–69 in *Valuing Crop Biodiversity, on Farm Genetic Resources and Economic Change* (M. Smale, Ed.) CABI Publishing, Wallingford, UK.
- Bellon, M. R., and J. Hellin. 2010. "Planting hybrids, keeping landraces: agricultural modernization and tradition among small-scale maize farmers in Chiapas, Mexico". *World Development* 39:1434–43.
- Bellon, M. R., and J. Risopulos. 2001. "Small-scale farmers expand the benefits of improved maize germplasm: a case study from Chiapas, Mexico". *World Development* 29:799–811.
- Bellon, M. R., and J. E. Taylor. 1993. "'Folk' soil taxonomy and the partial adoption of new seed varieties". *Economic Development and Cultural Change* 41:763–86.
- Benin, S., M. Smale, and J. Pender. 2006. "Explaining the diversity of cereal crops and varieties grown on household farms in the highlands of northern Ethiopia". Pp. 78–96 in *Valuing Crop Biodiversity: On-Farm Genetic Diversity and Economic Change* (M. Smale, Ed.) CABI Publishing, Wallingford, UK.
- Benin, S., M. Smale, J. Pender, B. Gebremehdin, and S. Ehui. 2004. "The economic determinants of cereal crop diversity on farms in the Ethiopian highlands". *Agricultural Economics* 31:197–208.
- Bennett, E. 1970. "Adaptation in wild and cultivated plant populations". Pp. 115–29 in *Genetic Resources in Plants: Their Exploration and Conservation* (O. H. Frankel and E. Bennett, Eds.) IBP Handbook No. 11. Blackwell Scientific Publishers, Oxford.
- Bentley, J. W., E. R. Boa, P. Kelly, M. Harun-Ar-Rashid, A. K. M. Rahman, F. Kabeere, and J. Herbas. 2009. "Ethnopathology: local knowledge of plant health problems in Bangladesh, Uganda and Bolivia". *Plant Pathology* 58:773–81.
- Berkes, F. 2008. *Sacred Ecology*. Routledge, New York.
- Berkes, F., J. Colding, and C. Folke. 2000. "Rediscovery of traditional ecological knowledge as adaptive management". *Ecological Applications* 10:1251–62.
- Bezançon, G., J.-L. Pham, M. Deu, Y. Vigouroux, F. Sagnard, C. Mariac, I. Kapran, A. Mamadou, B. Gerard, J. Ndjeunga, and J. Chantreau. 2009. "Changes in the diversity and geographic distribution of cultivated millet (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.) and sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) varieties in Niger between 1976 and 2003". *Genetic Resources and Crop Evolution* 56:223–36.
- Biggs, S. 1990. "A multiple source of innovation model of agricultural research and technology promotion". *World Development* 18:1481–99.
- Birol, E. 2004. "Valuing Agricultural Biodiversity on Home Gardens in Hungary: An Application of Stated and Revealed Preference Methods". PhD dissertation, University of London.

- Birol, E., A. Kontoleon, and M. Smale. 2006. "Farmer demand for agricultural biodiversity in Hungary's transition economy: a choice experiment approach". Pp. 32–47 in *Valuing Crop Biodiversity: On-Farm Genetic Diversity and Economic Change* (M. Smale, Ed.) CABI Publishing, Wallingford, UK.
- Birol, E., E. R. Villaba, and M. Smale. 2009. "Farmer preferences for milpa diversity and genetically modified maize in Mexico: a latent class approach". *Environment and Development Economics* 14:521–40.
- Blum, A. 2004. "The physiological foundation of crop breeding for stress environments". Pp.456–58 in *Proceedings of a World Rice Research Conference*, Tsukuba, Japan, November 2004. International Rice Research Institute, Manila, The Philippines.
- 2011a. *Plant Breeding for Water Limited Environments*. Springer-Verlag, New York.
- 2011b. "Drought resistance—is it really a complex trait?" *Functional Plant Biology* 38:753–57.
- Bocci, R., and V. Chablé. 2009. "Peasant seeds in Europe: stakes and prospects". *Journal of Agriculture and Environment for International Development* 17:81–93.
- Bonan, G. B. 2008. *Ecological Climatology*, 2nd ed. Cambridge University Press, Cambridge.
- Bonifacio, A. 2006. "Frost and hail tolerance in quinoa crop and traditional knowledge to handle these adverse factors". Pp. 68–71 in *Enhancing the Use of Crop Genetic Diversity to Manage Abiotic Stress in Agricultural Production Systems* (D. I. Jarvis, I. Mar, and L. Sears, Eds.) Proceedings of an IPGRI Workshop, Budapest, Hungary. IPGRI, Rome.
- Bousset, L., and A. M. Chèvre. 2013. "Stable epidemic control in crops based on evolutionary principles: Adjusting the metapopulation concept to agro-ecosystems". *Agriculture, Ecosystems and Environment* 165:118–29.
- Brady, N. C., and R. R. Weil. 2007. *The Nature and Properties of Soils*, 14th ed. Prentice-Hall, Upper Saddle River, NJ.
- Bromley, D. J. 1991. *Environment and Economy: Property Rights and Public Policy*. Basil Blackwell, New York.
- Brown, A. H. D. 2008. "Indicators of genetic diversity, genetic erosion and genetic vulnerability for plant genetic resources for food and agriculture". *Thematic Back-ground Study, State of Worlds Plant Genetic Resources*. FAO, Rome. <http://www.fao.org/docrep/013/i1500e/i1500e20.pdf>.
- 2012. "The disease damage, genetic diversity, genetic vulnerability diagram—some reflections". Pp. 318–29 in *Damage, Diversity and Genetic Vulnerability: The Role of Crop Genetic Diversity in the Agricultural Production System to Reduce Pest and Disease Damage*, Proceedings of an international symposium, 15–17 February 2011, Rabat, Morocco)D. I. Jarvis, C. Fadda, P. De Santis, and J. Thompson, Eds. (Bioersivity International, Rome Italy.
- Brown, A., and L. Rieseberg. 2006. "Genetic features of populations from stressprone environments". Pp. 2–10 in *Enhancing the Use of Crop Genetic Diversity to Manage Abiotic Stress in Agricultural Production Systems* (D. I. Jarvis, I. Mar, and L. Sears, Eds.) Proceedings of an IPGRI Workshop, Budapest, Hungary. IPGRI, Rome.
- Browning, J. A. 1997. "A unifying theory of the genetic protection of crop plant populations from diseases". In *Disease Resistance from Crop Progenitors and Other Wild Relatives* (I. Wahl, G. Fischbeck, and J. A. Browning, Eds.) Springer Verlag, Berlin.
- Brugarolas, M., L. Martinez-Carrasco, A. Martinez-Poveda, and J. J. Ruiz. 2009. "A competitive strategy for vegetable products: traditional varieties of tomato in the local market". *Spanish Journal of Agricultural Research* 7:294–304.

- Brush, S. 1995. "In situ conservation of landraces in centres of crop diversity". *Crop Science* 35:346–54.
- . 2000. "Ethnoecology, biodiversity and modernization in Andean potato agriculture". Pp. 283–306 in *Ethnobotany: A Reader* (P. Minnis, Ed.) University of Oklahoma Press, Oklahoma.
- 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* 9:1189–98.
- Brush, S. B., and H. R. Perales. 2007. "A maize landscape: ethnicity and agrobiodiversity in Chiapas Mexico". *Agriculture, Ecosystems and Environment* 121:211–21.
- Brush, S. B., J. E. Taylor, and M. R. Bellon. 1992. "Technology adoption and biological diversity in Andean potato agriculture". *Journal of Development Economics* 39:365–87.
- Buddenhagen, I. W. 1983. "Breeding strategies for stress and disease resistance in developing countries". *Annual Review of Phytopathology* 21:385–410.
- Bunce, J. A. 2008. "Contrasting responses to elevated carbon dioxide under field conditions within *Phaseolus vulgaris*". *Agriculture, Ecosystems and Environment* 128:219–24.
- Burger, J. C., M. A. Chapman, and J. M. Burke. 2008. "Molecular insights into the evolution of crop plants". *American Journal of Botany* 95:113–22.
- Cabello, R., F. De Mendiburu, M. Bonierbale, P. Monneveux, W. Roca, and E. Chujoy. 2012. "Large-scale evaluation of potato improved varieties, genetic stocks and landraces for drought tolerance". *American Journal of Potato Research* 89:400–10.
- Cairns, M., and D. P. Garrity. 1999. "Improving shifting cultivation in Southeast Asia by building on indigenous fallow management strategies". *Agroforestry Systems* 47:37–48.
- Calderone, N. W. 2012. "Insect Pollinated Crops, Insect Pollinators and US Agriculture: Trend Analysis of Aggregate Data for the Period 1992–2009". *PLoS ONE* 7:e37235.
- Caneva, G. 1992. *il Mondo di Cerere nella Loggoia di Psiche*. Fratelli Palombi Editori, Roma.
- Carpenter, S. R., and W. A. Brock. 2008. "Adaptive capacity and traps". *Ecology and Society* 13:40.
- Carrasco-Tauber, C., and L. J. Moffitt. 1992. "Damage control econometrics: functional specification and pesticide productivity". *American Journal of Agricultural Economics* 74:158–62.
- Causton, David R. 1988. *An Introduction to Vegetation Analysis*. Unwin Hyman, London.
- Cavatassi, R., L. Lipper, and U. Narloch. 2011. "Modern variety adoption and risk management in drought prone areas: insight from the sorghum farmers of Eastern Ethiopia". *Agricultural Economics* 42:279–92.
- Caviglia, J. L., and J. R. Kahn. 2001. "Diffusion of sustainable agriculture in the Brazilian tropical rain forest: a Discrete Choice Analysis". *Economic Development and Cultural Change* 49:311–33.
- Ceccarelli, S. 1994. "Specific adaptation and breeding for marginal conditions". *Euphytica* 77:205–19.
- . 2009. "Evolution, plant breeding and biodiversity". *Journal of Agriculture and Environment for International Development* 103:131–45.
- Ceccarelli, S., and S. Grandó. 2005. "Decentralized-Participatory Plant Breeding: A Case from Syria". Pp. 193–99 in *Participatory Research and Development for Sustainable Agriculture and Natural Resource Management. Volume 1* (J. Gonsalves, T. Becker, A. Braun, D. Campilan, H. De Chavez, E. Fajber, M. Kapiriri, J. Rivaca-Caminade, and R. Vernooy, Eds.) IDRC, Ottawa.

- Ceccarelli, S., S. Grando, E. Bailey, A. Amri, M. El-Felah, F. Nassif, S. Rezgui, and A. Yahyaoui. 2001. "Farmer participation in barely breeding in Syria, Morocco and Tunisia". *Euphytica* 122:521–36.
- Ceccarelli, S., et al. 2003. "A methodological study on participatory barley breeding. II. • Response to selection". *Euphytica* 133:185–200.
- Chablé, V., M. Conseil, E. Serpolay, and F. Le Lagadec. 2008. "Organic varieties for cauliflowers and cabbages in Brittany: from genetic resources to participatory plant breeding". *Euphytica* 164:521–29.
- Chacón, S. M. I., B. Pickersgill, and D. G. Debouck. 2005. "Domestication patterns in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) and the origin of the Mesoamerican and Andean cultivated races". *Theoretical and Applied Genetics* 110:432–44.
- Chambers, K. J., and S. B. Brush. 2010. "Geographic influences on maize seed exchange in the Bajío, Mexico". *Professional Geographer* 62:305–22.
- Chavez-Servia, J. L., L. Burgos-May, J. Canul-Ku, T. C. Camacho, J. Vidal-Cob, and L. M. AriasReyes. 2000. "Análisis de la diversidad en un proyecto de conservación *in situ* en Mexico] Diversity analysis of an *in situ* conservation project in Mexico]" In *Proceedings of the XII Scientific Seminar*, November 14–17, 2000, Havana, Cuba.
- 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.
- Cororaton, C., and E. Corong. 2000. "Philippine agricultural and food policies: implications for poverty and income distribution". *IFPRI Research Report 161*, Washington, DC. Retrieved from <http://www.ifpri.org/publication/philippine-agricultural-and-food-policies>.
- Crosby, A. 2003. *The Columbian Exchange: Biological and Cultural Consequences of 1492*. Praeger Publishers, Westport.
- Dalton, T. J., C. L. Anderson, L. Lipper, and A. Keleman. 2010. "Markets and access to crop genetic resources". Pp. 2–30 in *Seed Trade in Rural Markets: Implications for Crop Diversity and Agricultural Development* (L. Lipper, C. L. Anderson, and T. J. Dalton, Eds.) FAO, Rome/ Earthscan, London.
- 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* 44:101–8.
- David, C. C. 2007. "Philippine hybrid rice program: a case for redesign and scaling down". *Research Paper Series No. 2006-03*, Philippine Institute of Development Studies. Philippines Development, Manila.
- Davis-Case, D. 1990. *The Community's Tool Box: The Idea, Methods, and Tools for Participatory Assessment, Monitoring, and Evaluation in Community Forestry*. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) Rome.
- Dawson, J. C., and I. Goldringer. 2012. "Breeding for genetically diverse populations: variety mixtures and evolutionary populations". Pp. 77–98 in *Organic Crop Breeding* (E. T. Lammerts van Bueren and J. R. Myers, Eds.) Wiley-Blackwell, Oxford, UK.
- de Haan, S., and H. Juarez. 2010. "Land use and potato genetic resources in Huancavelica, central Peru". *Journal of Land Use Science* 5:179–95

- De Mita, S., A.-C. Thuillet, L. Gay, N. Ahmadi, S. Manel, J. Ronfort, and Y. Vigouroux. 2013. "Detecting selection along environmental gradients: analysis of eight methods and their effectiveness for outbreeding and selfing populations". *Molecular Ecology* Doi 10.1111/mec.12182.
- Deu, M., F. Sagnard, J. Chantreau, C. Calatayud, Y. Vigouroux, J.-L. Pham, C. Mariac, I. Kapran, A. Mamadou, B. Gérard, J. Ndjeung, and G. Bezançon. 2010. "Spatio-temporal dynamics of genetic diversity in Sorghum bicolor in Niger". *Theoretical and Applied Genetics* 120:1301–13.
- De Vaus, D. 2013. *Surveys in social research*. Routledge, Milton Park, Abingdon, Oxon.
- Development Fund. 2011. *Banking for the Future: Savings, Security and Seeds*. The Development Fund, Oslo.
- Diaz, S., and S. Cabido. 2001. "Vive la difference: plant functional diversity matters to ecosystem processes". *Trends in Ecology and Evolution* 16:646–55.
- Di Falco, S., and J. P. Chavas. 2006. "Rainfall shocks, resilience and the dynamic effects of crop biodiversity on the production of agroecosystems". Paper presented at the 8th International BIOECON Conference, Economic Analysis of Ecology and Biodiversity, Kings College, Cambridge, UK, August 29–30, 1999.
- Di Falco, S., J. P. Chavas, and M. Smale. 2006. "Farmer management of production risk on degraded lands: the role of wheat genetic diversity in Tigray region, Ethiopia". *IFPRI-EPT Discussion Paper 153*. International Food Policy Research Institute, Washington, DC.
- . 2007. "Farmer management of production risk on degraded lands: the role of wheat variety diversity in the Tigray Region, Ethiopia". *Agricultural Economics* 36:147–56.
- Di Falco, S., and C. Perrings. 2006. "Cooperatives, wheat farming and crop productivity in southern Italy". Pp. 270–79 in *Valuing Crop Biodiversity: On-Farm Genetic Diversity and Economic Change* (M. Smale, Ed.) CABI Publishing, Wallingford, UK.
- Dileone, J. A., and C. C. Mundt. 1994. "Effect of wheat cultivar mixtures on populations of *Puccinia striiformis* races". *Plant Pathology* 43:917–30.
- Dinis, I., O. Simoes, and J. Moreira. 2011. "Using sensory experiments to determine consumers' willingness to pay for traditional apple varieties". *Spanish Journal of Agricultural Research* 9:351–62.
- Dobuzinskis, L. 1992. "Modernist and postmodernist metaphors of the policy process: control and stability vs chaos and reflexive understanding". *Policy Science* 25:355–80.
- Dodig, D., M. Zoric', V. Kandic, D. Perovic, and G. Šurlan-Momirovic. 2012. "Comparison of responses to drought stress of 100 wheat accessions and landraces to identify opportunities for improving wheat drought resistance". *Plant Breeding* 131:369–79.
- Doing, L. B. Y. 2011. *Farmer Field Schools*. http://www.bangladesh.ipm-info.org/library/documents/aec_ffs_process_documentation.pdf.
- Döring, T. F., S. Knapp, G. Kovacs, K. Murphy, and M. S. Wolfe. 2011. "Evolutionary plant breeding in cereals—into a new era". *Sustainability* 3:1944–71.
- Döring, T. F., M. Pautasso, M. R. Finckh, and M. S. Wolfe. 2012. "Concepts of plant health reviewing and challenging the foundations of plant protection". *Plant Pathology* 61:1–15.
- Dossou, B., D. Balma, and M. Sawadogo. 2004. "Le role et la participation des femmes dans le processus de la conservation *in situ* de la biodiversité biologique agricole au Burkina Faso". Pp 38–44 in *La gestion de la diversité des plantes agricoles dans les agro-écosystèmes*, Compte-Rendu des Travaux d'un Atelier Abrité par CNRST, Ouagadougou, Burkina Faso, 27–28

- Décembre, 2002 (D. Balma, B. Dossou, M. Sawadogo, R. G. Zangre, J. T. Ouédraogo, and D. I. Jarvis, Eds.) International Plant Genetic Resources Institute, Rome. (in French)
- Dove, M. R. 1999. "The agronomy of memory and the memory of agronomy: ritual conservation of archaic cultigens in contemporary farming systems". Pp. 45–70 in *Ethnoecology: Situated Knowledge/Located Lives* (V. D. Nazarea, Ed.) University of Arizona Press, Tucson.
- Dubcovsky, J., and J. Dvorak. 2007. "Genome plasticity a key factor in the success of polyploid wheat under domestication". *Science* 316:1862.
- Du Bois, M., et al. 2008. *The World of Soy*. University of Illinois Press, Urbana, IL.
- Duc, G., S. Bao, M. Baum, et al. 2010. "Diversity maintenance and use of *Vicia faba* L. genetic resources". *Field Crops Research* 115:270–78.
- Edmeades, S., M. Smale, and D. Karamura. 2006. "Demand for cultivar attributes and the biodiversity of bananas on farms in Uganda". Pp. 97–118 in *Valuing Crop Biodiversity: On-Farm Genetic Diversity and Economic Change* (M. Smale, Ed.) CABI Publishing, Wallingford, UK.
- Egan, A. N., J. Schleuter, and D. M. Spooner. 2012. "Applications of next-generation sequencing in plant biology". *American Journal of Botany* 99:175–85.
- Engelmann, F. 1997. "In vitro germplasm conservation". Pp. 41–48 in *International Symposium on Biotechnology of Tropical and Subtropical Species*, Brisbane, Queensland, Australia, 29 September–3 October 1997 (R. A. Drew, Compiler/Editor) *ISHS Acta Horticulturae* 461.
- Erickson, D. L., B. D. Smith, A. C. Clarke, D. H. Sandweiss, and N. Tuross. 2006. "An Asian origin for a 10,000-year-old domesticated plant in the Americas". *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* 102:18315–20.
- European Patent Office. 2009. *Guidelines for the Examination in the European Patent Office*. EPO, The Hague.
- Eyzaguirre, P., and E. M. Dennis. 2007. "The impact of collective action and property rights on plant genetic resources". *World Development* 35:1489–98.
- Eyzaguirre, P., and O. Linares, Eds. 2004. *Home Gardens and Agrobiodiversity*. Smithsonian Books, Washington, DC.
- FAO. 1990. *Guidelines for Soil Profile Description*, 3rd ed., Revised. FAO, Rome.
- FAO. 1993. "Quality declared seed system". *FAO Plant Production and Production Paper No. 117*. FAO, Rome.
- FAO. 2006. "Quality declared seed system". *FAO Plant Production and Protection Paper No. 185*. FAO, Rome.
- FAO. 2010. "Quality declared planting material". *FAO Plant Production and Protection Paper 195*. Protocols and standards for vegetatively propagated crops. FAO, Rome.
- FAO. 2011. *Payments for Ecosystem Services and Food Security*. United Nations Food and Agricultural Organization (FAO), Rome Italy.
- Finckh, M. R. 2008. "Integration of breeding and technology into diversification strategies for disease control in modern agriculture". *European Journal of Plant Pathology* 121:399–409
- Finckh, M. R., and M. S. Wolfe. 2006. "Diversification strategies". Pp. 269–308 in *The Epidemiology of Plant Disease* (B. M. Cooke et al., Eds.) Springer, New York.
- Fischer, F. 1990. *Technocracy and the Politics of Expertise*. Sage Publications Inc., Newbury Park, CA.

- . 2000. *Citizens, Experts and the Environment. The Politics of Local Knowledge*. Duke University Press, London.
- Flitner, M. 2003. "Genetic geographies: a historical comparison of agrarian modernization and eugenic thought in Germany, the Soviet Union and the United States". *Geoforum* 34:175–86.
- Frankel, O. H. 1970. "Genetic conservation in perspective". In *Genetic Resources in Plants: Their Exploration and Conservation* (O. H. Frankel and E. Bennett, Eds.) IBP Handbook 11. Blackwell Scientific Publications, Oxford, UK.
- Frankel, O. H., A. H. D. Brown, and J. J. Burdon. 1995. *The Conservation of Plant Biodiversity*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Frankel, O. H., and M. E. Soulé. 1981. *Conservation and Evolution*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Frankfort-Nachmias, C., and D. Nachmias. 1996. *Research Methods in the Social Sciences*. St. Martin's Press, New York.
- Frankham, R., J. D. Ballou, and D. A. Briscoe. 2010. *Introduction to Conservation Genetics*. Cambridge University Press.
- Free, J. 1993. *Crop Pollination by Insects*. Academic Press, London.
- Freudenberger, K. S., and B. Gueye. 1990. *RRA Notes to Accompany Introductory Training Manual*. International Institute for Environment and Development, London.
- Frison, E. A., I. F. Smith, T. Johns, J. Cherfas, and P. B. Eyzaguirre. 2006. "Agricultural biodiversity, nutrition, and health: making a difference to hunger and nutrition in the developing world". *Food and Nutrition Bulletin* 27:167–79.
- Fuller, D. Q. 2007. "Contrasting patterns of crop domestication and domestication rates: recent archaeobotanical insights from the old world". *Annals of Botany* 100:903–24.
- Galluzzi, G., P. Eyzaguirre, and V. Negri. 2010. "Home gardens: neglected hotspots of agrobiodiversity and cultural diversity". *Biodiversity and Conservation* 19:3635–54.
- Garnett, T., V. Conn, and B. N. Kaiser. 2009. "Root based approaches to improving nitrogen use efficiency in plants". *Plant, Cell and Environment* 32:1272–83.
- Garrett, K. A., et al. 2006. "Ecological genomics and epidemiology". *European Journal of Plant Pathology* 115:35–51.
- Garrett, K., G. Forbes, S. Savary, P. Skelsey, H. Sparks, C. Valdivia, H. C. van Bruggen, et al. 2011. "Complexity in climate-change impacts: an analytical framework for effects mediated by plant disease". *Plant Pathology* 60:15–30.
- Gauch, Hugh G. Jr. 1982. *Multivariate Analysis in Community Ecology*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Gauchan, D., M. Smale, N. Maxted, and M. Cole. 2008. "Managing rice biodiversity on farms: the choices of farmers and breeders in Nepal". Pp. 162–76 in *Valuing Crop Biodiversity: On-Farm Genetic Diversity and Economic Change* (M. Smale, Ed.) CABI Publishing, Wallingford, UK
- Gautam, R., B. Sthapit, A. Subedi, D. Poudel, P. Shrestha, and P. Eyzaguirre. 2009. "Home gardens management of key species in Nepal: a way to maximize the use of useful diversity for the well-being of poor farmers". *Plant Genetic Resources: Characterization and Utilization* 7:142.
- Gbetibouo, G. A. 2009. "Understanding farmers' perceptions and adaptations to climate change and variability". IFPRI Discussion Paper 00849. International Food Policy Research Institute, Washington, DC.

- Gepts, P. 1998. "Origin and evolution of common bean: past events and recent trends". *HortScience* 33:1124–30.
- Giuliani, A. 2007. *Developing Markets for Agrobiodiversity. Securing Livelihoods in Dryland Areas*. Earthscan Research Editions, London.
- Gleissman, S. 2015. *Agroecology: The Ecology of Sustainable Food Systems*, 3rd ed. CRC Press, Boca Raton, FL.
- Goldringer, I., J. Dawson, A. Vettoretti, and F. Rey. 2010. "Breeding for resilience: a strategy for organic and low-input farming systems?" Eucarpia 2nd conference of the Organic and Low-Input Section, 1–3 Dec. 2010, Paris, France, http://orgprints.org/18171/1/Breeding_for_resilience%2DBook_of_abstracts.pdf (accessed 2011-06-01)
- Gonsalves, J., T. Becker, A. Braun, D. Campilan, H. De Chavez, E. Fajber, M. Kapiriri, J. Riveca-Caminade, and R. Vernooy (Eds.) 2005. *Participatory Research and Development for Sustainable Agriculture and Natural Resource Management: A Sourcebook. Volume 1: Understanding Participatory Research and Development*. CIP-upward, Laguna, Philippines and IDRC, Ottawa, Canada.
- Go-Science/Foresight. 2011. *The Future of Food and Farming*. UK Government.
- Grain. 2005. "Africa's seed laws: red carpet for the corporations". *Seedling* July 2005.
- Greenwood, D. J., W. F. Whyte, and I. Harkavy. 1993. "Participatory action research as a process and as a goal". *Human Relations* 46:175–92.
- Gregory, P. J., S. N. Johnson, A. C. Newton, and J. S. I. Ingram. 2009. "Integrating pests and pathogens into the climate change/food security debate". *Journal of Experimental Botany* 60:2827–38.
- Gunderson, L., and C. S. Holling, Eds. 2002. *Panarchy: Understanding Transformations in Human and Natural Systems*. Island Press, Washington, DC.
- Gusta, L. V., and M. Wisniewski. 2013. "Understanding plant cold hardiness: an opinion". *Physiologia plantarum* 147:4–14.
- Gutiérrez, M., and J. Penna. 2004. "Derechos de obtentor y estrategias de marketing en la generación de variedades públicas y privadas". *Documento de trabajo no. 31*. INTA, Buenos Aires, Argentina.
- Gyawali, S., B. R. Sthapit, B. Bhandari, J. Bajracharya, P. K. Shrestha, M. P. Upadhyay, and D. I. Jarvis. 2010. "Participatory crop improvement and formal release of Jethobudho rice landrace in Nepal". *Euphytica* 176:59–78.
- Hadado, T. T., D. Rau, E. Bitocchi, and R. Papa. 2009. "Genetic diversity of barley (*Hordeum vulgare* L.) landraces from the central highlands of Ethiopia: comparison between the Belg and Meher growing seasons using morphological traits". *Genetic Resources and Crop Evolution* 56:1131–48.
- Hajjar, R., D. I. Jarvis, and B. Gemmill. 2008. "The utility of crop genetic diversity in maintaining ecosystem services". *Agriculture, Ecosystems, and the Environment* 123:261–70.
- Halewood, M., and K. Nnadozie. 2008. "Giving priority to the commons: the International Treaty on Plant Genetic Resources for Food and Agriculture". Pp. 115–40 in *The Future Control of Food: A Guide to International Negotiations and Rules on Intellectual Property, Biodiversity and Food Security* (G. Tansey and T. Rajotte, Eds.) Earthscan, London.
- Hammer, K. 1984. "Das domestikationssyndrom". *Die Kulturpflanze* 32:11–34.

- Hamrick, J. L., and M. J. W. Godt. 1997. "Allozyme diversity in cultivated crops". *Crop Science* 37:26–30.
- Hancock, J. F. 2004. *Plant Evolution and the Origin of Crop Species*, 2nd ed. CABI Publishing, Wallingford.
- Hanemann, W. M. 1994. "Valuing the environment through contingent valuation". *Journal of Economic Perspectives* 8:19–43.
- Harlan, H. V., and M. L. Martini. 1936. "Problems and Results in Barley Breeding". Pp. 303–46 in *Yearbook of Agriculture*. U.S. Department of Agriculture, Government Printing Office, Washington, DC.
- Harlan, J. R. 1961. "Geographic origin of plants useful in agriculture". Pp. 3–19 in *Germ plasm Resources* (R. E. Hodgson, Ed.) A symposium presented at the Chicago meeting of the American Association of the Advancement of Science, 28–31 December 1959. AAAS, Washington.
- 1971. "Agricultural origins: centers and noncenters". *Science* 174:468–74.
- 1972. "Genetics of disaster". *Journal of Environmental Quality* 1:212–15.
- 1975. *Crops and Man*. American Society of Agronomy, Madison, WI.
- Harlan, J. R., and J. M. J. deWet. 1971. "Toward a rational classification of cultivated plants". *Taxon* 20:509–17.
- Hatfield, Jerry L., and John H. Prueger. 2010. "Value of using different vegetative indices to quantify agricultural crop characteristics at different growth stages under varying management practices". *Remote Sensing* 2:562–78.
- He, X. H., Y. Sun, D. Gao, F. Wei, L. Pan, C. W. Guo, R. Z. Mao, Y. Xie, C. Y. Li, and Y. Y. Zhu. 2011. "Comparison of agronomic traits between rice landraces and modern varieties at different altitudes in the paddy fields of Yuanyang Terrace, Yunnan Province". *Journal of Resources and Ecology* 2:46–50.
- Headley, J. C. 1968. "Estimating productivity of agricultural pesticides". *Agricultural Economics* 50:13–23.
- Hein, L. 2009. "The economic value of the pollination service, a review across scales". *Open Ecology Journal* 2:74–82.
- Hermida, C. 2011. "Sumak Kawsay: Ecuador builds a new health paradigm". *MEDICC Review* 13:60.
- Hijmans, R. J., L. Guarino, M. Cruz, and E. Rojas. 2001. "Computer tools for spatial analysis of plant genetic resources data: 1. DIVA-GIS". *Plant Genetic Resources Newsletter* 127:15–19.
- Hillman, G. C., and M. S. Davies. 1990. "Measured domestication rates in wild wheats and barley under primitive cultivation and their archaeological implications". *Journal of World Prehistory* 4:157–222.
- Hodgkin, T., and P. Bordonni. 2012. "Climate change and the conservation of plant genetic resources". *Journal of Crop Improvement* 26:329–45.
- Hodgkin, T., N. Demers, and E. Frison. 2012. "The evolving global system of conservation and use of plant genetic resources for food and agriculture". In *Crop Genetic Resources as a Global Commons: Challenges in International Law and Governance* (M. Halewood, I. López Noriega, and S. Louafi, Eds.) Routledge, NY.

- Hodgkin, T., R. Rana, J. Tuxill, B. Didier, A. Subedi, I. Mar, D. Karamura, R. Valdivia, L. Colledo, L. Latournerie, M. Sadiki, M. Sawadogo, A. H. D. Brown, and D. Jarvis. 2007. "Seed systems and crop genetic diversity in agroecosystems". Pp. 77–116 in *Managing Biodiversity in Agricultural Ecosystems* (D. I. Jarvis, C. Padoch, and D. Cooper, Eds.) Columbia University Press, New York.
- Hogwood, B., and L. Gunn. 1984. *Policy Analysis for the Real World*. Oxford University Press, Oxford.
- Hue, N. T. N., and *In situ* Project staff. 2006. "Enhancing the use of crop genetic diversity to manage abiotic stress in agricultural production systems". Pp. 49–54 in *Enhancing the Use of Crop Genetic Diversity to Manage Abiotic Stress in Agricultural Production Systems* (D.I. Jarvis, I. Mar, and L. Sears, Eds.) Proceedings of an IPGRI workshop, Budapest, Hungary. IPGRI, Rome.
- Humphries, S., O. Gallardo, J. Jimenez, F. Sierra with members of the Association of CIALs of Yorito, Sulaco and Victoria. 2005. "Linking small farmers to the formal research sector: lessons from a participatory bean breeding programme in Honduras". *AgREN Network Paper No. 142*, ODI, UK.
- Hunn, E. H. 1993. "The ethnobiological foundation for TEK". Pp. 16–20 in *Traditional Ecological Knowledge: Wisdom for Sustainable Development* (N. W. Williams and G. Baines, Eds.) Center for Resource and Environmental Studies, Australian National University, Canberra.
- IFAD. 2001. *IFAD and NGOs, dynamic partners to fight rural poverty*. IFAD, Rome.
- IPGRI. 2001. "Design and analysis of evaluation trials of genetic resources collections. A guide for genebank managers". *Technical Bulletin No. 4*. IPGRI, Rome.
- Jackson, J., and G. Clarke. 1991. "Gene flow in an almond orchard". *Theoretical and Applied Genetics* 82:1432–2242.
- Jackson, L. E., M. Burger, and T. R. Cavagnaro. 2008. "Roots, nitrogen transformations, and ecosystem services". *Annual Review of Plant Biology* 59:341–63.
- Jaffé, W., and J. Van Wijk. 1995. *The Impact of Plant Breeders Rights in Developing Countries: Debate and Experience in Argentina, Chile, Colombia, Mexico and Uruguay*. Inter-American Institute for Cooperation on Agriculture, University of Amsterdam, Amsterdam, the Netherlands.
- Jarvis, D. I., A. H. D. Brown, P. H. Cuong, et al. 2008. "A global perspective on the richness and evenness of traditional crop-variety diversity maintained by farming communities". *Proceedings of National Academy of Sciences USA* 105:5326–31.
- Jarvis, D. I., A. H. D. Brown, V. Imbruce, et al. 2007a. "Managing crop disease in traditional ecosystems: the benefits and hazards of genetic diversity". Pp. 292–319 in *Managing Biodiversity in Agricultural Ecosystems* (D. I. Jarvis, C. Padoch, and H. D. Cooper, Eds.) Bioversity International/Columbia University Press, NY.
- Jarvis, D. I., and D. M. Campilan. 2006. "Crop genetic diversity to reduce pests and diseases on farm: participatory diagnosis guidelines, version 1". *Bioversity Technical Bulletin No. 12*. Bioversity International, Rome.
- Jarvis, D. I., P. De Santis, P. Colangelo, and T. Murray. 2012. "Introduction: linking diversity and field resistance". Pp. 32–37 in *Damage, Diversity and Genetic Vulnerability: The Role of Crop Genetic Diversity in the Agricultural Production System to Reduce Pest and Disease*

- Damage*. Proceedings of an international symposium, 15–17 February 2011, Rabat, Morocco (D. I. Jarvis, C. Fadda, P. De Santis, and J. Thompson, Eds.) Bioversity International, Rome.
- 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–S173.
- Jarvis, D. I., T. Hodgkin, B. R. Sthapit, C. Fadda, and I. López Noriega. 2011. “An heuristic framework for identifying multiple ways of supporting the conservation and use of traditional crop varieties within the agricultural production system”. *Critical Reviews in Plant Science* 30:125–76.
- Jarvis, D. I., C. Padoch, and H. D. Cooper, Eds. 2007b. *Managing Biodiversity in Agricultural Ecosystems*. Bioversity International/Columbia University Press, NY.
- Joshi, A., and J. R. Witcombe. 1996. “Farmer participatory crop improvement. II. Participatory varietal selection, a case study in India”. *Experimental Agriculture* 32:461–77.
- Kahane, R., T. Hodgkin, H. Jaenicke, C. Hoogendoorn, M. Hermann, J. D. H. Keatinge, J. d’Arros Hughes, S. Padulosi, and N. Looney. 2013. “Agrobiodiversity for food security, health and income”. *Agronomy for Sustainable Development* 33:671–93.
- Kaplan, L., and T. F. Lynch. 1999. “*Phaseolus* (Fabaceae) in archaeology: AMS radiocarbon dates and their significance for Pre-Columbian agriculture”. *Economic Botany* 53:261–72.
- Kaplinsky, R., and M. Morris. 2001. *A Handbook for Value Chain Research*. Institute of Development Studies (IDS), University of Sussex, UK.
- Karl, Marilee. 2002. “Participatory policy reform from a sustainable livelihoods perspective. Review of concepts and practical experiences”. *Livelihood Support Programme, Working Paper 3*. FAO, Rome.
- Kassam, K. A. 2009. “Viewing change through the prism of indigenous human ecology: findings from the Afghan and Tajik Pamirs”. *Human Ecology* 37:677–90.
- Keeley, James. 2001. “Influencing policy processes for sustainable livelihoods: strategies for change”. *Lessons for Change in Policy and Organisations, no. 2*. Institute of Development Studies, Brighton.
- Keleman, A., and J. Hellin. 2009. “Specialty maize varieties in Mexico: a case study in market-driven agro-biodiversity conservation”. *Journal of Latin American Geography* 8:147–74.
- Kendall, M., and J. K. Ord. 1990. *Time Series*, 3rd ed. Griffin, London.
- Kesavan, P. C., and M. S. Swaminathan. 2008. “Strategies and models for agricultural sustainability in developing Asian countries”. *Philosophical Transactions of the Royal Society B-Biological Sciences* 363:877–91.
- Klein, A. M., B. C. Vaissière, J. H. Cane, I. Stefan-Dewenter, S. A. Cunningham, C. Kremen, and T. Tscharntke. 2007. “Importance of pollinators in changing landscapes for world crops”. *Proceedings of the Royal Society B-Biological Sciences* 274:303–13.
- Koinage, E. M. K., S. P. Singh, and P. Gepts. 1996. “Genetic control of the domestication syndrome of common bean”. *Crop Science* 36:1037–45.
- 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* 81:237–39.

- Koo, B., C. Nottenburg, and P. G. Pardey. 2004. "Plants and intellectual property: an international appraisal". *Science* 306:1295–97.
- Kruijssen, F., M. Keizer, and A. Giuliani. 2009. "Collective action for small-scale producers of agricultural biodiversity products". *Food Policy* 34:46–52.
- Krutilla, J. 1967. "Conservation reconsidered". *American Economic Review* 57:777–86.
- Labeyrie, V., M. Deu, A. Barnaud, C. Calatayud, M. Buiron, et al. 2014. "Influence of ethnolinguistic diversity on the sorghum genetic patterns in subsistence farming systems in eastern Kenya". *PLoS ONE* 9: e92178. doi:10.1371/journal.pone.0092178.
- Labeyrie, V., B. Rono, and C. Leclerc. 2014. "How social organization shapes crop diversity: an ecological anthropology approach among Tharaka farmers of Mount Kenya". *Agriculture and Human Values*, 31:97–107.
- Lammerts van Bueren, E. T., and J. R. Myers. 2011. *Organic Crop Breeding*. WileyBlackwell, Wageningen. <http://documents.plant.wur.nl/cgn/literature/reports/Fieldguide.pdf>.
- Lammerts van Bueren, E. T., H. Østergård, I. Goldringer, and O. Scholten. 2008. "Plant breeding for organic and sustainable, low-input agriculture: dealing with genotype—environment interactions". *Euphytica* 163:321–22.
- 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.
- Lang, N., B. Tu, N. C. Thanh, B. C. Buu, and A. Ismail. 2009. "Genetic diversity of salt tolerance rice landraces in Vietnam". *Journal of Plant Breeding and Crop Science* 1:230–43.
- Lapeña, I., I. López, and M. Turdieva. 2012. *Guidelines: Access and Benefit Sharing in Research Projects*. Bioersivity International, Rome.
- Lapeña, I., M. Turdieva, and I. López Noriega. 2013. "Conservation of fruit diversity in Central Asia: an analysis of policy options and challenges". In *Conservation of Fruit Diversity in Central Asia: Policy Options and Challenges* (I. Lapeña, M. Turdieva, I. López Noriega, R. Azimov, and W. G. Ayad, Eds.) Bioersivity International, Rome.
- Larson Guerra, J. 2010. "Geographical indications, *in situ* conservation and traditional knowledge". *ICTSD Policy Brief No. 3*. ICTSD, Geneva, Switzerland.
- Latournerie Moreno, L., J. Tuxill, E. Y. Moo, L. A. Reyes, J. E. Alejo, and D. I. Jarvis. 2006. "Traditional maize storage methods of Mayan farmers in Yucatan, Mexico: implications for seed selection and crop diversity". *Biodiversity and Conservation* 15:1771–95.
- Leakey, A. D. B., K. A. Bishop, and E. A. Ainsworth. 2012. "A multi-biome gap in understanding of crop and ecosystem responses to elevated CO₂". *Current Opinion in Plant Biology* 15:228–36.
- 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* 26:221–40.
- Leclerc, C., and G. Coppens d'Eeckenbrugge. 2012. "Social organization of crop genetic diversity. The $g \times e \times s$ interaction model". *Diversity* 4:1–32.
- Legendre, Pierre, and Louis Legendre. 2012. *Numerical Ecology*. Elsevier.
- Leskien, D., and M. Flitner. 1997. "Intellectual property rights and plant genetic re-sources: options for a sui generis system". *Issues in Genetic Resources* 6. IPGRI, Rome.
- Levins, R. A. 1968. *Evolution in Changing Environments*. Princeton University Press, Princeton, NJ.

- Lewis, V., and P. M. Mulvany. 1997. *A Typology of Community Seed Banks*. Natural Resource Institute, Chatham, UK, Project A, 595:47.
- Li, S., Y. Zeng, and S. Shen. 2004. "Cold tolerance of core collection at booting stage associated with eco-geographic distribution in Yunnan rice landrace (*Oryza sativa*)" *Rice Science* 11:261–68.
- Lichtenberg, E., and D. Zilberman. 1986. "The econometrics of damage control: why specification matters". *American Journal of Agricultural Economics* 68:261–73.
- Liebman, Matt, and Eric R. Gallandt. 1997. "Many little hammers: ecological management of crop-weed interactions". Pp. 291–343 in *Ecology in Agriculture* (Louise E. Jackson, Ed.) Academic Press, London.
- Lipper, L., C. L. Anderson, T. J. Dalton, and A. Keleman. 2010. "Conclusions and policy implications". Pp. 209–22 in *Seed Trade in Rural Markets: Implications for Crop Diversity and Agricultural Development* (L. Lipper, C. L. Anderson, and T. J. Dalton, Eds.) Earthscan.
- Lipper, L., R. Cavatassi, and J. Hopkins. 2009. "The role of crop genetic diversity in coping with drought: insights from eastern Ethiopia". Pp. 183–203 in *Agrobiodiversity, Conservation and Economic Development* (A. Kontoleon, W. Pascual, and M. Smale, Eds.) Routledge, New York.
- Lipper, L., R. Catavassi, and P. Winters. 2012. "Seed supply in local markets: supporting sustainable use of crop genetic resources". *Environment and Development Economics* 17:507–21.
- Lisa, L. A., Z. I. Seraj, C. M. Fazle Elahi, K. C. Das, K. Biswas, M. R. Islam, M. A. Salam, et al. 2004. "Genetic variation in microsatellite DNA, physiology and morphology of coastal saline rice (*Oryza sativa* L.) landraces of Bangladesh". *Plant and Soil* 263:213–28.
- Lope, D. 2004. "Gender relations as a basis for varietal selection in production spaces in Yucatan, Mexico". M.S. thesis, Wageningen University, the Netherlands.
- López Noriega, I., G. Galuzzi, M. Halewood, R. Vernooy, E. Bertacchini, D. Gauchan, and E. Welch. 2012. "Flows under stress: availability of plant genetic resources in times of climate and policy change". *Working Paper no. 18*. CCAFS, Copenhagen.
- Loskutov, I. G. 1999. *Vavilov and His Institute. A History of the World Collection of Plant Genetic Resources in Russia*. International Plant Genetic Resources Institute, Rome.
- Louette, D. 1999. "Traditional management of seed and genetic diversity: what is a landrace?" Pp. 109–42 in *Genes in the Field* (S. B. Brush, Ed.) IPGRI, IDRC, Lewis.
- Louwaars, N., and F. Burgaud. (In press.) "Variety registration: the evolution of registration systems with a special emphasis on agrobiodiversity conservation". In *Farmers' Varieties and Farmers' Rights: Addressing Challenges in Taxonomy, Culture and Law* (M. Halewood, Ed.) Routledge, London.
- Loveless, M. D., and J. L. Hamrick. 1984. "Ecological determinants of genetic structure in plant populations". *Annual Review of Ecology and Systematics* 15:65–95
- MA, 2005. *Ecosystems and Human Well-Being: Current Status and Trends*, Vol. 1. World Resources Institute, Washington, DC.
- Madamombe-Manduna, I., H. Vibrans, and L. Lopez-Mata. 2009. "Diversity of coevolved weeds in smallholder maize fields of Mexico and Zimbabwe". *Biodiversity and Conservation* 18:1589–1610.

- Mahajan, S., and N. Tutejan. 2005. "Cold, salinity and drought stresses: an overview". *Archives of Biochemistry and Biophysics* 444:139–58.
- Mangelsdorf, P. C. 1966. "Genetic potentials for increasing yields of food crops and animals". *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* 56:370–75.
- Manzella, D. 2012. "The design and mechanics of the multilateral system of access and benefit-sharing". Pp. 150–64 in *Crop Genetic Resources as a Global Commons: Challenges in International Law and Governance* (M. Halewood, I. López Noriega, and S. Louafi, Eds) Routledge, New York.
- Marfo, K. A., P. T. Dorward, P. Q. Crawford, F. Ansere-Bioh, J. Haleegoah, and R. Bam. 2008. "Identifying seed uptake pathways: the spread of Agya amoah rice cultivar in southwestern Ghana". *Experimental Agriculture* 44:257–69.
- Marshall, D. R. 1977. "The advantages and hazards of genetic homogeneity". *Annals of the New York Academy of Sciences* 287:1–20.
- Marshall, D. R., and A. H. D. Brown. 1975. "Optimum sampling strategies in genetic conservation". Pp. 369–77 in *Crop Genetic Resources for Today and Tomorrow* (O. H. Frankel and J. G. Hawkes, Eds.) International Biological Programme 2, CUP, Cambridge.
- Martin, A., and J. Sherington. 1997. "Participatory research methods: implementation, effectiveness and institutional context". *Agricultural Systems* 55:195–216.
- McNeely, J. A., and S. J. Scherr. 2002. *Ecoagriculture: Strategies to Feed the World and Save Wild Biodiversity*. Island Press.
- Meinzen-Dick, R., and P. Eyzaguirre. 2009. "Non-market institutions for agrobiodiversity conservation". Pp. 82–91 in *Agrobiodiversity, Conservation and Economic Development* (A. Kontoleon, W. Pascual, and M. Smale, Eds.) Routledge, London.
- Mekbib, F. 2008. "Genetic erosion in sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) in the centre of diversity, Ethiopia". *Genetic Resources and Crop Evolution* 55:351–64.
- Meng, E. C. H. 1997. "Land allocation decisions and *in situ* conservation of crop genetic resources: the case of wheat landraces in Turkey". PhD dissertation, University of California at Davis, CA.
- Mijatović, D., F. Van Oudenhoven, P. Eyzaguirre, and T. Hodgkin. 2012. "The role of agricultural biodiversity in strengthening resilience to climate change: towards an analytical framework". *International Journal of Agricultural Sustainability* (June 2012):1–13.
- Milgroom, M. G., K. Sotirovski, D. Spica, J. E. Davis, M. T. Brewer, M. Milev, and P. Cortesi. 2008. "Clonal population structure of the chestnut blight fungus in expanding ranges in southeastern Europe". *Molecular Ecology* 1720:4446–58.
- Molden, D., Ed. 2007. *Water for Food, Water for Life. A Comprehensive Assessment of Water Management in Agriculture*. Earthscan, London.
- Molina, J., M. Sikora, N. Garud, J. M. Flowers, S. Rubinstein, A. Reynolds, Pu Huang, S. Jackson, B. A. Schaal, C. D. Bustamante, A. R. Boyko, and M. D. Purugganan. 2011. "Molecular evidence for a single evolutionary origin of domesticated rice". *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* 108:8351–56.
- Mooney, P. R. 1979. *Seeds of the Earth: A Private or Public Resource?* Inter Pares, Ottawa.
- Moreira, F. M. S., E. J. Huising, and D. E. Bignell, Eds. 2008. *A Handbook of Tropical Soil Biology*. Earthscan, London.

- 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.
- Morris, M. L., and M. R. Bellon. 2004. "Participatory plant breeding research: opportunities and challenges for the international crop improvement system". *Euphytica* 136:21–35.
- Moslonka-Lefebvre, M., A. Finley, I. Dorigatti, K. Dehnen-Schmutz, T. Harwood, M. J. Jeger, X. Xu, et al. 2011. "Networks in plant epidemiology: from genes to landscapes, countries, and continents". *Phytopathology* 101:392–403.
- Mulder, C., D. Uliassi, and D. Doak. 2001. "Physical stress and diversity-productivity relationships: the role of positive interactions". *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* 98:6704–8.
- Mulumba, J. W., R. Nankya, J. Adokorach, C. Kiwuka, C. Fadda, P. De Santis, and D. I. Jarvis. 2012. "A risk-minimizing argument for traditional crop varietal diversity use to reduce pest and disease damage in agricultural ecosystems of Uganda". *Agriculture, Ecosystems and Environment* 157:70–86.
- Mundt, C. C. 1990. "Probability of mutation to multiple virulence and durability of resistance gene pyramids". *Phytopathology* 80:221–23.
- . 1991. "Probability of mutation to multiple virulence and durability of resistance gene pyramids; further comments". *Phytopathology* 81:240–42.
- Munns, R. 2005. "Genes and salt tolerance: bringing them together". *New Phytologist* 167:645–63.
- Nabhan, G. 2000. "Interspecific relationships affecting endangered species recognized by O’odham and Comcaac cultures". *Ecological Applications* 10:1288–95.
- Næss, A. 1989. *Ecology, Community and Lifestyle*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Nassar, N. M. A., and R. Ortiz. 2007. "Cassava improvement: challenges and impacts". *Journal of Agricultural Science* 145:163–71.
- National Academy of Sciences. 1975. *Underexploited tropical plants with promising economic value*. National Academy of Sciences, Washington, DC.
- National Research Council. 1993 "Genetic vulnerability and crop diversity". Pp. 47–83 in *Managing Global Genetic Resources*. National Academy Press, Washington, DC.
- Nazarea-Sandoval, V. 1998. *Cultural Memory and Biodiversity*. University of Arizona Press, Tucson, AZ.
- Neelin, J. D. 2011. *Climate Change and Climate Modeling*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Negassa, A., J. Hellin, and B. Shiferaw. 2012. "Determinants of adoption and spatial diversity of wheat varieties on household farms in Turkey". *CIMMYT SocioEconomics Working Paper 2*. CIMMYT, Mexico, D.F.
- Newton, A. C., T. Akar, J. P. Baresel, et al. 2010. "Cereal landraces for sustainable agriculture. A review". *Agronomy for Sustainable Development* 30:237–69.
- Nordblom, T. L. 1987. "The importance of crop residues as feed resources in West Africa and North Africa". In *Plant Breeding and the Nutritive Value of Crop Residues*, Proceedings of a workshop (J. D. Read, B. S. Cropper, and P. J. H. Neate, Eds.) ILCA, Addis Ababa.
- Nuijten, E., and C. J. M. Almekinders. 2008. "Mechanisms explaining variety naming by farmers and name consistency of rice varieties in the Gambia". *Economic Botany* 62:148–60.

- OECD. 2001. *Citizens as Partners: OECD Handbook on Information, Consultation and Public Participation in Policy-Making*. OECD, Paris.
- Oerke, E. C. 2006. "Crop losses to pests". *Journal of Agricultural Science-Cambridge* 144:31.
- Olsson, P., C. Folke, and F. Berkes. 2004. "Adaptive comanagement for building resilience in socioecological systems". *Environmental Management* 34:75–90.
- Ortiz, R. 2011. "Agrobiodiversity management for climate change". Pp. 189–210 in *Agrobiodiversity Management for Food Security* (J. M. Lenné and D. Wood, Eds.) CABI Publishing, New York.
- Oude Lansink, A., and A. Carpentier. 2001. "Damage control productivity: an input damage abatement approach". *Journal of Agricultural Economics* 52:11–22.
- Pallottini, L., E. Garcia, J. Kami, G. Barcaccia, and P. Gepts. 2004. "The genetic anatomy of a patented yellow bean". *Crop Science* 44:968–77.
- Pascual, U., and C. Perrings. 2007. "Developing incentives and economic mechanisms for *in situ* biodiversity conservation in agricultural landscapes". *Agriculture, Ecosystems and Environment* 121:256–68.
- Paul, E., Ed. 2007. *Soil Microbiology, Ecology, and Biochemistry*, 3rd ed. Elsevier, Amsterdam.
- Pearce, D., and D. Moran. 1994. *The Economic Value of Biodiversity*. Earthscan, London.
- Pemsl, D., H. Waibel, and A. P. Gutierrez. 2005. "Why do some Bt-cotton farmers in China continue to use high levels of pesticides?" *International Journal of Agricultural Sustainability* 3:44–56.
- Perales, H. R., B. F. Benz, and S. B. Brush. 2005. "Maize diversity and ethnolinguistic diversity in Chiapas, Mexico". *Proceedings of the National Academy of Sciences* 102:949–54.
- Perriera, X., E. De Langheb, M. Donohuec, C. Lentferd, L. Vrydaghse, F. Bakrya, F. Carreelf, I. Hippolytea, J.-P. Horrya, C. Jennyg, V. Leboth, A.-M. Risteruccia, K. Tomekpea, H. Doutreleponte, T. Balli, J. Manwaringi, P. de Maretj, and T. Denhamk. 2011. "Multidisciplinary perspectives on banana (*Musa* spp.) domestication". *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*. www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.1102001108.
- 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 workshop Safeguarding and Preserving the Biodiversity of the Rice Genepool. Component II: On-Farm Conservation. International Rice Research Institute, Los Baños, Philippines, May 17–22, 1999.
- Phichit, S., Noppornphan, M. Yoovatana, S. Somsri, B. R. Sthapit, V. R. Rao, M. Kaur, and H. Lamers. 2012. *Combination of Side Grafting Technique and Informal Scion Exchange System for Mango Diversity Management in Non-Irrigated Orchards*. Bioersivity International, New Delhi, India.
- Pimbert, M. P., B. Boukary, and E. Holt-Giménez. 2010. "Democratising research for food sovereignty in West Africa". *Journal of Peasant Studies* 37:220–26.
- Pimentel, D. 2011. "Food for thought: a review of the role of energy in current and evolving agriculture". *Critical Reviews in Plant Sciences* 30:35–44.
- Pimentel, D., and M. V. Cilveti. 2007. "Reducing pesticide use: successes". Pp. 551–52 in *Encyclopedia of Pest Management, Volume 2* (D. Pimentel, Ed.) Taylor and Francis, Boca Raton, FL.

- Pingali, P. L., Y. Khwaja, and M. Meijer. 2006. "The role of the public and private sector in commercializing small farms and reducing transaction costs". In *Global Supply Chains, Standards, and the Poor* (J. F. M. Swinnen, Ed.) CABI Publishing, Wallingford, UK.
- Piperno, D., A. Ranere, I. Holst, and P. Hansell. 2000. "Starch grains reveal early root crop horticulture in the Panamanian tropical forest". *Nature* 407:894–97.
- Plaster, E. 2009. *Soil Science and Management*, 5th ed. Delmar, Clifton Park, NY.
- Poland, J. A., and T. W. Rife. 2012. "Genotyping by sequencing for plant breeding and genetics". *Plant Genome* 5:92–102.
- Practical Action. 2011. *Hunger, Food and Agriculture: Responding to the Ongoing Challenges*. The Schumacher Centre for Technology and Development, Rugby, Warwickshire.
- Pradhan, N., I. Providoli, B. Regmi, and G. Kafle. 2010. "Valuing water and its ecological services in rural landscapes: a case study from Nepal". *Mountain Forum Bulletin* January 2010:32–34.
- Pretty, J. 2008. "Agricultural sustainability: concepts, principles and evidence". *Philosophical Transactions of the Royal Society B-Biological Sciences* 363:447–65.
- Qaim, M., and A. de Janvry. 2005. "Bt cotton and pesticide use in Argentina: economic and environmental effects". *Environment and Development Economics* 10:179–200.
- Qualset, C. O. 1975. "Sampling germplasm in a center of diversity: an example of disease resistance in Ethiopian barley". Pp. 81–96 in *Crop Genetics Resources for Today and Tomorrow* (O. H. Frankel and J. G. Hawkes, Eds.) Cambridge University Press, Cambridge.
- Rana, R. B., C. Garforth, D. Jarvis, and B. Sthapit. 2007. "Influence of socioeconomic and cultural factors in rice varietal diversity management on-farm in Nepal". *Agriculture and Human Values* 24:461–72.
- Rana, R. B., C. J. Garforth, B. R. Sthapit, and D. I. Jarvis. 2011. "Farmers' rice seed selection and supply system in Nepal: understanding a critical process for conserving crop diversity". *International Journal of AgriScience* 1:252–74.
- Rana, R. B., D. Gauchan, D. K. Rijal, S. P. Ktatiwada, C. L. Paudel, P. Chaudhary, and P. R. Tiwari. 2000. "Socioeconomic data collection: Nepal". Pp. 54–59 in *Conserving Agricultural Biodiversity In situ: A Scientific Basis for Sustainable Agriculture* (D. Jarvis, B. Sthapit, and L. Sears, Eds.) International Plant Genetic Resources Institute, Rome.
- Rana, R. B., and B. R. Sthapit. 2011. "Sustainable conservation and use of neglected and underutilized species: a Nepalese perspective". Pp. 225–40 in *On-Farm Conservation of Neglected and Underutilized Species: Status, Trends and Novel Approaches to Cope with Climate Change* (S. Padulosi, N. Bergamini, and T. Lawrence, Eds.) Proceedings of the international conference, Friedrichsdorf, Frankfurt, 14–16 June 2001. *Bioversity International*, Rome.
- Reed, M. 2008. "Stakeholder participation for environmental management: a literature review". *Biological Conservation* 141:2417–31.
- Rhouma, A., N. Nasr, A. Zirari, and M. Belguedj. 2006. "Indigenous knowledge in management of abiotic stress: date palm genetic resources diversity in the oases of Maghreb region". Pp. 55–61 in *Enhancing the Use of Crop Genetic Diversity to Manage Abiotic Stress in Agricultural Production Systems* (D. I. Jarvis, I. Mar, and L. Sears, Eds.) Proceedings of an IPGRI workshop, Budapest, Hungary. IPGRI, Rome.

- Richards, P. 1986. *Coping with Hunger: Hazard and Experiment in an African Rice Farming System*. Allen and Unwin, London.
- Richards, P., and G. Ruivenkamp. 1997. *Seeds and Survival. Crop Genetic Resources in War and Reconstruction in Africa*. IPGRI, Rome.
- Rietbergen-McCracken, Jennifer. 1996. Participation in Practice. *The Experience of the World Bank and Other Stakeholders*. World Bank, Washington.
- Rijal, D. K. 2007. "On-farm conservation and use of local crop diversity: adaptations of taro (*Colocasia esculenta*) and rice (*Oryza sativa*) diversity to varying ecosystems of Nepal". PhD dissertation, University of Life Science (UMB), Norway.
- Rodriguez, M., D. Rau, D. O'Sullivan, A. H. D. Brown, R. Papa, and G. Attene. 2012. "Genetic structure and linkage disequilibrium in landrace populations of barley in Sardinia". *Theoretical and Applied Genetics* 125:171–84.
- Rosenfield, Patricia L. 1992. "The potential of transdisciplinary research for sustaining and extending linkages between the health and social sciences". *Social Science & Medicine* 35:1343–57.
- Roubik, D. W. 1995. *Pollination of Cultivated Plants in the Tropics, Vol. 118*. Food and Agriculture Organization, Rome.
- Ruiz, M. 2009. *Agrobiodiversity Zones and the Registry of Native Crops in Peru: Learning from Ourselves*. Bioversity International and Sociedad Peruana de Derecho Ambiental, Lima, Peru.
- Sadiki, M. 1990. "Germplasm development and breeding of improved biological nitrogen fixation of faba bean in Morocco". PhD dissertation, University of Minnesota, Minneapolis, MN.
- 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". Pp. 8387 in *Seed Systems and Crop Genetic Diversity On-Farm*. Proceedings of a workshop, 16–20 September 2003, Pucallpa, Peru (D. I. Jarvis, R. Sevilla-Panizo, J.-L. Chavez-Servia, and T. Hodgkin, Eds.) International Plant Genetic Resources Institute, Rome.
- Sadiki, M., D. I. Jarvis, D. Rijal, J. Bajracharya, N. N. Hue, T. C. Camacho-Villa, L. A. BurgosMay, M. Sawadogo, D. Balma, D. Lope, L. Arias, I. Mar, D. Karamura, D. Williams, J.L. Chavez-Servia, B. Sthapit, and V. R. Rao. 2007. "Variety names: an entry point to crop genetic diversity and distribution in agroecosystems?" Pp. 34–76 in *Managing Biodiversity in Agricultural Ecosystems* (D. I. Jarvis, C. Padoch, and H. D. Cooper, Eds.) Columbia University Press, New York.
- Sakamoto, S. 1996. "Glutinous-endosperm starch food culture specific to eastern and southeast Asia". Pp. 215–31 in *Redefining Nature: Ecology, Culture and Domestication* (R. Ellen and K. Fukui, Eds.) Berg Publishers, Oxford, UK.
- Salick, J., N. Cellinese, and S. Knapp. 1997. "Indigenous diversity of Cassava: generation, maintenance, use and loss among the Amuesha, Peruvian upper Amazon". *Journal of Economic Botany* 51:6–19.
- Sarkar, R. K. 2010. "An overview of submergence tolerance in rice: farmers' wisdom and amazing science". *Journal of Plant Biology* 37:191–99.
- Sauer, J. D. 1993. *Historical Geography of Crop Plants: A Selected Roster*. CRC Press, Boca Raton, FL.

- Sawadogo, M., J. Ouedraogo, M. Belem, D. Balma, B. Dossou, and D. I. Jarvis. 2005a. "Components of the ecosystem as instruments of cultural practices in the *in situ* conservation of agricultural biodiversity". *Plant Genetic Resources Newsletter* 141:19–25.
- Sawadogo, M., J. T. Ouedraogo, R. G. Zangre, and D. Balma. 2005b. "Diversité biologique agricole et les facteurs de son maintien en milieu paysan". Pp. 52–64 in *La gestion de la diversité des plantes agricoles dans les agro-écosystèmes* (D. B. Balma, M. Dossou, R. G. Sawadogo, J. T. Zangre, M. Ouédraogo, and D. I. Jarvis, Eds.) Compte-rendu des travaux d'un atelier abrité par CNRST, Burkina Faso et International Plant Genetic Resources Institute, Ouagadougou, Burkina Faso, 27–28 December 2001.
- Scarcelli, N., S. Tostain, C. Mariac, C. Agbangla, O. Da, J. Berthaud, and J.-L. Pham. 2006a. "Genetic nature of yams (*Dioscorea* spp.) domesticated by farmers in W Africa (Benin)" *Genetic Resources and Crop Evolution* 53:121–30.
- Scarcelli, N., S. Tostain, Y. Vigouroux, C. Agbangla, O. Daïnou, and J.-L. Pham. 2006b. "Farmers' use of wild relative and sexual reproduction in a vegetatively propagated crop. The case of yam in Benin". *Molecular Ecology* 15:2421–31.
- Scholthof, K.-B. G. 2007. "The disease triangle: pathogens, the environment and society". *Nature Reviews Microbiology* 5:152–56.
- Seki, M., J. Ishida, M. Nakajima, A. Enju, K. Iida, M. Satou, M. Fujita, Y. Narusaka, M. Narusaka, T. Sakurai, K. Akiyama, Y. Oono, A. Kamei, T. Umezawa, S. Mizukado, K. Maruyama, K. Yamaguchi-Shinozaki, and K. Shinozaki. 2007. "Genomic analysis of stress response". In *Plant Abiotic Stress* (M. A. Jenks and P. M. Hasegawa, Eds.) Blackwell Publishing Ltd., Oxford, UK.
- Semagn, K., A. Bjørnstad, and M. N. Ndjiondjop. 2006. "An overview of molecular marker methods for plants". *African Journal of Biotechnology* 5:2540–68.
- Serpolay, E., J. C. Dawson, V. Chable, E. L. Van Bueren, A. Osman, S. Pino, and I. Goldringer. 2011. "Diversity of different farmer and modern wheat varieties cultivated in contrasting organic farming conditions in western Europe and implications for European seed and variety legislation". *Organic Agriculture* 1:127–45.
- Shah, Tushaar, Madar Samad, Ranjith Ariyaratne, and K. Jinapala. 2013. "Ancient small-tank irrigation in Sri Lanka: continuity and change". *Economic and Political Weekly* XLVIII:58.
- Sherwin, W. B., F. Jabot, R. Rush, and M. Rossetto. 2006. "Measurement of biological information with applications from genes to landscapes". *Molecular Ecology* 15:2857–69.
- Showstack, R. 2013. "Carbon dioxide tops 400 ppm at Mauna Loa, Hawaii". *Eos, Transactions American Geophysical Union* 94:192.
- Shrestha, P., S. Sthapit, I. Paudel, S. Subedi, A. Subedi, and B. Sthapit. 2012. *A Guide to Establishing a Community Biodiversity Management Fund for Enhancing Agricultural Biodiversity Conservation and Rural Livelihoods*. LI-BIRD, Pokhara, Nepal.
- Singh, N., T. T. M. Dang, G. V. Vergara, et al. 2010. "Molecular marker survey and expression analyses of the rice submergence-tolerance gene SUB1A". *Theoretical and Applied Genetics* 121:1441–53.
- Skinner, D. Z., T. Loughin, and D. E. Obert. 2000. "Segregation and conditional probability association of molecular markers with traits in autotetraploid alfalfa". *Molecular Breeding* 6:295–306.

- Slatkin, M. 1977. "Gene flow and genetic drift in a species subject to frequent local extinctions". *Theoretical Population Biology* 12:253–62.
- Smale, M., Ed. 2006a. *Valuing Crop Biodiversity: On-Farm Genetic Resources and Economic Change*. CABI Publishing, Wallingford, UK.
- 2006b. "Introduction: concepts, metrics and plan of the book". Pp. 1–16 in *Valuing Crop Biodiversity: On-Farm Genetic Diversity and Economic Change* (M. Smale, Ed.) CABI Publishing, Wallingford, UK.
- Smale, M., M. R. Bellon, and J. A. Aguirre Gomez. 2001. "Maize diversity, variety attributes and farmers' choices in southeastern Guanajuato, Mexico". *Economic Development and Cultural Change* 50:201–25.
- Smale, M., L. Diakitè, and M. Grum. 2010. "When grain markets supply seed: village markets for millet and sorghum in the Malian Sahel". Pp. 53–74 in *Seed Trade in Rural Markets: Implications for Crop Diversity and Agricultural Development* (L. Lipper, C. L. Anderson, and T. J. Dalton, Eds.) Earthscan, London.
- Smale, M., L. Diakite, A. Sidibe, M. Grum, H. Jones, I. S. Traore, and H. Guindo. 2009. "The impact of participation in diversity field fora on farmer management of millet and sorghum varieties in Mali". *African Journal for Agricultural and Resource Economics* 4:23–47.
- Smale, M., J. Hartell, P. W. Heisey, and B. Senauer. 1998. "The contribution of genetic resources and diversity to wheat production in the Punjab of Pakistan". *American Journal of Agricultural Economics* 80:482–93.
- Smale, M., R. E. Just, and H. D. Leathers. 1994. "Land allocation in HYV adoption models: an investigation of alternative explanations". *American Journal of Agricultural Economics* 76:535–46.
- Smith, C. M., and S. L. Clement. 2012. "Molecular bases of plant resistance to Arthropods". *Annual Review of Entomology* 57:309–28.
- Smith, M. E., F. G. Castillo, and F. Gómez. 2001. "Participatory plant breeding with maize in Mexico and Honduras". *Euphytica* 122:551–63.
- Smolders, H., and E. Caballeda, Eds. 2006. *Field Guide for Participatory Plant Breeding in Farmer Field Schools*. PEDIGREA publication. Centre for Genetic Resources, the Netherlands.
- Snapp, S. 2002. "Quantifying farmer evaluation of technologies: the mother and baby trial design". *Quantitative Analysis of Data from Participatory Methods in Plant Breeding*, 9.
- Snapp, S., G. Kanyama-Phiri, B. Kamanga, R. Gilbert, and K. Wellard. 2002. "Farmer and researcher partnerships in Malawi: developing soil fertility technologies for the near-term and far-term". *Experimental Agriculture* 38:411–31.
- Sokal, R. R., and F. J. Rohlf. 2012. *Biometry: The Principles and Practice of Statistics in Biological Research*, 4th ed. W. H. Freeman and Co., New York.
- Soler, C., A.-A. Saidoua, T. V. C. Hamadoua, M. Pautassoa, J. Wenceliusa, and H. Joly. 2013. "Correspondence between genetic structure and farmers' taxonomy—a case study from dryseason sorghum landraces in northern Cameroon". *Plant Genetic Resources* 11:36–49.
- Soleri, D., S. E. Smith, and D. A. Cleveland. 2000. "Evaluating the potential for farmer and plant breeder collaboration: a case study of farmer maize selection in Oaxaca, Mexico". *Euphytica* 116:41–57.

- SOLIBAM. 2011. *Strategies for Organic and Low-Input Integrated Breeding and Management*. Newsletter 1. http://www.avanzi.unipi.it/ricerca/ricerca_news/docu menti_ri c_news/solibam/newsletter_1.pdf.
- Sperling, L., M. Loevinsohn, and B. Ntabomvura, 1993. "Rethinking farmers' role in plant breeding: local bean experts and on-station selection in Rwanda". *Experimental Agriculture* 29:509–19.
- Sperling, L., and S. McGuire. 2010. "Persistent myths about emergency seed aid". *Food Policy*. Doi: 10.1016/j.foodpol.2009.12.004.
- Sperling, L., U. Scheidegger, and R. Buruchara. 1996. "Designing seed systems with small farmers: principles derived from bean research in the Great Lakes Region of Africa". *Network Paper-Agricultural Administration* 60. Overseas Development Institute (ODI), London.
- Spillane, C., J. Engels, H. Fassil, L. Withers, and D. Cooper. 1999. "Strengthening national programmes for plant genetic resources for food and agriculture". *Issues in Genetic Resources* No. 8. IPGRI, Rome.
- Ssekandi, W., J. W. Mulumba, P. Colangelo, R. Nankya, C. Fadda, J. Karungi, M. Otim, P. De Santis, and D. I. Jarvis. 2015. "The use of common bean (*Phaseolus vulgaris*) traditional varieties 1 and their mixtures with 2 commercial varieties to manage bean fly (*Ophiomyia spp.*) infestations in Uganda". *Journal of Pest Science* (accepted for publication)
- Stanchi, S., M. Freppaz, A. Agnelli, T. Reinsch, and E. Zanini. 2012. "Properties, best management practices and conservation of terraced soils in southern Europe (from Mediterranean areas to the Alps): a review". *Quaternary International* 265:90–100.
- Stannard, C. 2012. "The multilateral system of access and benefit sharing: could it have been constructed another way?" In *Crop Genetic Resources as a Global Commons: Challenges in International Law and Governance* (M. Halewood, I. Lopez Noriega, and S. Louafi, Eds.) Routledge, London.
- Sthapit, B. R. 1994. "Genetics and physiology of chilling tolerance in Nepalese rice". PhD dissertation, University of North Wales, Bangor, UK.
- Sthapit, B. R., K. D. Joshi, R. B. Rana, M. P. Upadhyaya, P. Eyzaguirre, and D. Jarvis. 2001. "Enhancing biodiversity and production through participatory plant breeding: setting breeding goals". Pp. 29–54 in *An Exchange of Experiences from South and South East Asia: Proceedings of the International Symposium on PPB and Participatory Plant Genetic Resource Enhancement, Pokhara, Nepal, 1–5 May 2000*, PRGA, CIAT, Cali.
- Sthapit, B. R., K. D. Joshi, and J. R. Witcombe. 1996. "Farmer participatory crop improvement. III. Participatory plant breeding, a case study for rice in Nepal". *Experimental Agriculture* 32:479–96.
- Sthapit, B. R., and V. R. Rao. 2009. "Consolidating community's role in local crop development by promoting farmer innovation to maximise the use of local crop diversity for the well being of people". *Acta Horticulturae* 806:669–76.
- Sthapit, B. R., P. K. Shrestha, and M. P. Upadhyaya. 2006. *Good Practices: On-Farm Management of Agricultural Biodiversity*. NARC, LI-BIRD, IPGRI.
- Stringer, L. C., C. Prell, M. S. Reed, K. Hubacek, E. D. G. Fraser, and A. J. Dougill. 2006. "Unpacking 'participation' in the adaptive management of socio-ecological systems: a critical review". *Ecology and Society* 11:39.

- Stringer, L. C., and M. S. Reed. 2007. "Land degradation assessment in southern Africa: integrating local and scientific knowledge bases". *Land Degradation and Development* 18:99–116.
- Stukenbrock, E. H., and B. A. McDonald. 2008. "The origin of plant pathogens in agroecosystems". *Annual Review of Phytopathology* 46:75–100.
- Subedi, A., P. Chaudhary, B. Baniya, R. Rana, R. Tiwari, D. Rijal, D. Jarvis, and B. Sthapit. 2003. "Who maintains crop genetic diversity and how: implications for on-farm conservation and utilization". *Culture and Agriculture* 25:41–50.
- Subedi, A., P. Shrestha, M. Upadhyay, and B. Sthapit. 2013. "The evolution of community biodiversity management as a methodology for implementing *in situ* conservation of agrobiodiversity in Nepal". In *Community Biodiversity Management: Promoting Resilience and the Conservation of Plant Genetic Resources* (Walter S. de Boef, Abishkar Subedi, Nivaldo Peroni, and Marja Thijssen, Eds.) Earthscan, Routledge, UK.
- 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 hypogea*, Fabaceae)". *Economic Botany* 43:444–55.
- Suneson, C. A. 1956. "An evolutionary plant breeding method". *Agronomy Journal* 48:188–91.
- Suso, M., M. Moreno, F. Mondragao-Rodrigues, and J. Cubero. 1996. "Reproductive biology of *Vicia faba*: role of pollination conditions". *Field Crops Research* 46:81–91.
- Susskind, L., A. E. Camacho, and T. Schenk. 2012. "A critical assessment of collaborative adaptive management in practice". *Journal of Applied Ecology* 49:47–51.
- Sutton, Rebecca. 1999. "The policy process: an overview". *Working Paper 118*. Overseas Development Institute, London.
- Swallow, B. M., D. P. Garrity, and M. van Noordwijk. 2001. "The effects of scales, flows and filters on property rights and collective action in watershed management". *Water Policy* 3:457–74.
- Swift, M., and D. Bignell. 2001. *Standard Methods for Assessment of Soil Biodiversity and Land Use Practice*. International Centre for Research in Agroforestry, Bogor, Indonesia.
- Sylvia, D. M., J. J. Fuhrmann, P. G. Hartel, and D. A. Zuberer. 2004. *Principles and Applications of Soil Microbiology*, 2nd ed. Prentice-Hall, Upper Saddle River, NJ.
- Taiz, L., and E. Zeiger. 2010. *Plant Physiology*, 5th ed. Sinauer Associates, Inc.
- Taleb, N. N. 2012. *Antifragile: Things That Gain from Disorder*. Random House Incorporated, New York.
- Tapia, M. E. 2000. "Mountain agrobiodiversity in Peru: seed fairs, seed banks, and mountain-to-mountain exchange". *Mountain Research and Development* 20:220–25.
- Tapia, M. E., and A. Rosa. 1993. "Seed fairs in the Andes: a strategy for local conservation of plant genetic resources". Pp. 111–18 in *Cultivating Knowledge: Genetic Diversity, Farmer Participation and Crop Research* (W. de Boef, K. Amanor, K. Wellard, and A. Beddington, Eds.) IT Publications, UK.
- Teshaye, Y., T. Berg, B. Tsegaye, and T. Tanto. 2005. "Farmers' management of finger millet (*Eleusine coracana* L.) diversity in Tigray, Ethiopia and implications for on farm conservation". *Biodiversity and Conservation* 15:4289–308.
- Teshome, A., A. H. D. Brown, and T. Hodgkin. 2001. "Diversity in landraces of cereal and legume crops". *Plant Breeding Reviews* 21:221–61.

- Teshome, A., J. D. Torrance, J. D. H. Lambert, et al. 1999. "Traditional farmers' knowledge of sorghum (*Sorghum bicolor* (Poaceae)) landrace storability in Ethiopia". *Economic Botany* 53:69–78.
- The Crucible Group. 1994. *People, Plants and Patents*. IDRC, Ottawa.
- Thinlay, X., M. R. Finckh, A. C. Bordeos, and R. S. Zeigler. 2000. "Effects and possible causes of an unprecedented rice blast epidemic on the traditional farming system of Bhutan". *Agriculture, Ecosystems and Environment* 78:237–48.
- Thirtle, C., L. Beyers, Y. Ismael, and J. Piesse. 2003. "Can GM-technologies help the poor? The impact of Bt cotton in Makhatini Flats, KwaZulu-Natal". *World Development* 31:717–32.
- Thomas, M., J. C. Dawson, I. Goldringer, and C. Bonneuil. 2011. "Seed exchanges, a key to analyze crop diversity dynamics in farmer-led on-farm conservation". *Genetic Resources and Crop Evolution* 58:321–38.
- Tooker, J. R., and S. D. Frank. 2012. "Genotypically diverse cultivar mixtures for insect pest management and increased crop yields". *Journal of Applied Ecology* 49:974–85.
- Turdieva, M., F. Van Oudonhoven, and D. Jarvis. 2010. "Fruits of heritage: Central Asia fruit tree diversity as a basis for coping with change". Pp. 152–53 in *Biodiversity and Climate Change: Achieving the 2020 Targets, Abstracts of Posters Presented at the 14th Meeting of the Subsidiary Body on Scientific, Technical and Technological Advice of the Convention on Biological Diversity*, 10–21 May 2010, Nairobi, Kenya, CBD Technical Series No. 51.
- Turner, N. J., L. J. Luczaj, P. Migliorini, A. Pieroni, A. L. Dreon, L. E. Sacchetti, and M. G. Paoletti. 2011. "Edible and Tended Wild Plants, Traditional Ecological Knowledge and Agroecology". *Critical Reviews in Plant Sciences* 30:198–225.
- Tuxill, J. 2005. "Agrarian change and crop diversity in Mayan milpas of Yucatan, Mexico: implications for on-farm conservation". PhD dissertation, Yale University, New Haven, CT.
- Tuxill, J., and G. P. Nabhan. 2000. *Plants, Communities, and Protected Areas: A Guide to In situ Management*. Earthscan, London.
- Tuxill, J., L. A. Reyes, L. L. Moreno, V. C. Uicab, and D. I. Jarvis. 2010. "All maize is not equal: maize variety choices and Mayan foodways in rural Yucatan, Mexico". Pp. 467–86 in *Pre-Columbian Foodways* (J. E. Staller and M. D. Carrasco, Eds.) Springer, New York.
- Vaissière, B. E., B. M. Freitas, and B. Gemmill-Herren. 2011. *Protocol to Detect and Assess Pollination Deficits in Crops: A Handbook for Its Use*. Food and Agriculture Organization, Rome.
- Valdivia, R. F. 2005. "The use and distribution of seeds in areas of traditional agriculture". Pp. 17–21 in *Seed Systems and Crop Genetic Diversity On-Farm*, Proceedings of a workshop, 16–20 September 2003, Pucallpa, Peru (D. I. Jarvis, R. Sevilla- Panizo, J.-L. Chavez-Servia, and T. Hodgkin, Eds.) IPGRI, Rome
- Van der Berg, H., and J. Jiggins. 2007. "Investing in farmers—the impacts of farmers field schooling relation to integrated pest management". *World Development* 35:663–86.
- Vandermeulen, V., and G. Van Huylenbroeck. 2008. "Designing trans-disciplinary research to support policy formulation for sustainable agricultural development". *Ecological Economics* 67:352–61.
- van de Wouw, M., C. Kik, T. van Hintum, R. van Treuren, and B. Visser. 2010. "Genetic erosion in crops: concept, research results and challenges". *Plant Genetic Resources: Characterization and Utilization* 8:1–15.

- Van Dusen, M. E. 2000. “*In situ* conservation of crop genetic resources in the Mexican *Milpa* system”. PhD dissertation, University of California at Davis, CA.
- . 2006. “Missing markets, migration and crop biodiversity in the *Milpa* system of Mexico: a household-farm model”. Pp. 63–77 in *Valuing Crop Biodiversity: On-Farm Genetic Diversity and Economic Change* (M. Smale, Ed.) CABI Publishing, Wallingford, UK.
- Van Dusen, M. E., E. Dennis, J. Ilyasov, M. Lee, S. Treshkin, and M. Smale. 2006. “Social institutions and seed systems: the diversity of fruits and nuts in Uzbekistan”. Pp. 192–210 in *Valuing Crop Biodiversity: On-Farm Genetic Diversity and Economic Change* (M. Smale, Ed.) CABI Publishing, Wallingford, UK.
- van Heerwarden, J., F. A. van Eeuwijk, and J. Ross-Ibarra. 2010. “Genetic diversity in a crop metapopulation”. *Heredity* 104:28–39.
- Van Lenteren, J. C. 2011. “The state of commercial augmentative biological control: plenty of natural enemies, but a frustrating lack of uptake”. *BioControl* 57:1–20.
- van Oudenhoven, F. J. W., D. Mijatovic, and P. B. Eyzaguirre. 2011. “Social-ecological indicators of resilience in agrarian and natural landscapes”. *Management of Environmental Quality: An International Journal* 22:154–73.
- Vaughan, D. A., E. Balazs, and J. S. Heslop-Harrison. 2007. “From crop domestication to superdomestication”. *Annals of Botany* 100:893–902.
- Vavilov, N. I. 1929. “Studies on the origin of cultivated plants”. *Bulletin of Applied Botany, Genetics and Plant Breeding* 16:1–248.
- . 1945–1950. “The origin, variation, immunity and breeding of cultivated plants”. *Chronica Botanica* 13:1–366.
- . I. 1997. *Five Continents*. IPGRI, Rome.
- Vigouroux, Y., A. Barnaud, N. Scarcelli, and A-C. Thuillet. 2011a. “Biodiversity, evolution and adaptation in cultivated crops”. *Comptes Rendus Biologies* 334:450–57.
- Vigouroux, Y., C. Mariac, S. De Mita, J.-L. Pham, B. Gérard, I. Kapran, F. Sagnard, et al. 2011b. “Selection for earlier flowering crop associated with climatic variations in the Sahel”. *PLoS ONE* 6:e19563.
- Virk, D. S., and J. R. Witcombe. 2008. “Evaluating cultivars in unbalanced on-farm participatory trials”. *Field Crops Research* 106:105–15.
- Vitousek, P. M., R. Naylor, T. Crews, M. B. David, L. E. Drinkwater, E. Holland, P. J. Johnes, et al. 2009. “Nutrient imbalances in agricultural development”. *Science* 324:1519–20.
- Wahid, A., S. Gelani, M. Ashraf, and M. R. Foolad. 2007. “Heat tolerance in plants: An overview”. *Environmental and Experimental Botany* 61:199–223.
- Weeden, N. F. 2007. “Genetic changes accompanying the domestication of *Pisum sativum*: is there a common genetic basis to the domestication syndrome for legumes?” *Annals of Botany* 100:1017–26.
- Weisdorf, J. L. 2005. “From foraging to farming: explaining the Neolithic revolution”. *Journal of Economic Surveys* 19:561–26.
- Weiss, E., W. Wetterstrom, D. Nadel, and O. Bar-Yosef. 2004. “The broad spectrum revisited: evidence from plant remains”. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* 101:9551–55.

- Weltzien, E., and A. Christinck. 2009. "Methodologies for priority setting". Pp. 75–106 in *Plant Breeding and Farmer Participation* (S. Ceccarelli, E. P. Guimarães, and E. Weltzien, Eds.) FAO, Rome.
- Weltzien, E., H. F. W. Rattunde, B. Clerget, S. Siart, A. Toure, and F. Sagnard. 2006. "Sorghum diversity and adaptation to drought in West Africa". Pp. 31–38 in *Enhancing the Use of Crop Genetic Diversity to Manage Abiotic Stress in Agricultural Production Systems* (D. I. Jarvis, I. Mar, and L. Sears, Eds.) Proceedings of an IPGRI Workshop, Budapest, Hungary. IPGRI, Rome.
- Weltzien, E., and K. vom Brocke. 2001. "Seed systems and their potential for innovation: conceptual framework for analysis". Pp. 9–13 in *Targeted Seed Aid and Seed-System Interventions: Strengthening Small Farmer Seed Systems in East and Central Africa* (L. Sperling, Ed.) CIAT.
- Weltzien, E., K. Vom Brocke, and H. F. W. Rattunde. 2005. "Planning plant breeding activities with farmers". Pp. 123–52 in *Setting Breeding Objectives and Developing Seed Systems with Farmers: A Handbook for Practical Use in Participatory Plant Breeding Projects* (A. Christinck, E. Weltzien, and V. Haffman, Eds.) Margraf Publishers, Weikersheim/CTA, Wageningen.
- Whittaker, R. H. 1972. "Evolution and measurement of species diversity". *Taxon* 21:213–51.
- Widawsky, D., S. Rozelle, S. Jin, and J. Huang. 1998. "Pesticide productivity, host-plant resistance and productivity in China". *Agricultural Economics* 19:203–17.
- Witcombe, J. R., P. A. Hollington, C. J. Howarth, S. Reader, and K. A. Steele. 2008. "Breeding for abiotic stresses for sustainable agriculture". *Philosophical Transactions of the Royal Society B-Biological Sciences* 363:703–16.
- Witcombe, J. R., A. Joshi, K. D. Joshi, and B. R. Sthapit. 1996. "Farmer participatory crop improvement. I: varietal selection and breeding methods and their impact on biodiversity". *Experimental Agriculture* 32:445–60.
- Witcombe, J. R., K. D. Joshi, S. Gyawali, A. Musa, C. Johanssen, D. S. Virk, and B. R. Sthapit. 2005. "Participatory plant breeding is better described as highly client-oriented plant breeding. I. Four indicators of client-orientation in plant breeding". *Experimental Agriculture* 41:1–21.
- Wolfe, M. S. 1985. "The current status and prospects of multiline cultivars and variety mixtures for disease resistance". *Annual Review of Phytopathology* 23:251–73.
- Wolfe, M. S., J. P. Baresel, D. Desclaux, I. Goldringer, S. Hoad, G. Kovacs, F. Löschenberger, T. Miedaner, H. Østergård, and E. T. Lammerts Van Bueren. 2008. "Developments in breeding cereals for organic agriculture in Europe". *Euphytica* 163:323–46.
- Wolfe, M. S., and M. R. Finckh. 1997. "Diversity of host resistance within the crop: effects on host, pathogen and disease". Pp. 378–400 in *Plant Resistance to Fungal Diseases* (H. Hartleb, R. Heitefuss, and H. H. Hoppe, Eds.) Fischer Verlag, Jena, Germany.
- World Bank. 2008. *World Development Report: Agriculture for Development*. World Bank, Washington, DC. Retrieved from <http://web.worldbank.org/WBSITE/EXTERNAL/EXTDEC/EXTRESEARCH/EXTWDRS/0,,contentMDK:23062293~pagePK:478093~piPK:477627~theSitePK:477624,00.html>.
- Xie, Yichun, Z. Sha, and M. Yu. 2008. "Remote sensing imagery in vegetation mapping: a review". *Journal of Plant Ecology* 1:9–23.

- Yen, D. 1989. "The domestication of environment". Pp. 55–78 in *Foraging and Farming: The Evolution of Plant Exploitation* (D. Harris and G. Hillman, Eds.) Unwin Hyman, London.
- Zeder, M. A., E. Emshwiller, B. D. Smith, and D. G. Bradley. 2006. "Genetics, archeology and the origins of domestication". *Trends in Genetics* 22:139–55.
- Zhang, H., Y. Zeng, and L. Bian. 2010. "Simulating multi-objective spatial optimization allocation of land use based on the integration of multi-agent system and genetic algorithm". *International Journal of Environmental Research* 4:765–76.
- Zimmerer, K. S. 1996. *Changing Fortunes: Biodiversity and Peasant Livelihood in the Peruvian Andes*. University of California Press, Berkeley.
- 2003a. "Geographies of seed networks for food plants (potato, ulluco) and approaches to agrobiodiversity conservation in the Andean countries". *Society & Natural Resources* 16:583–601.
- 2003b. "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* 20:107–23.
- 2010. "Biological diversity in agriculture and global change". *Annual Review of Environment and Resources* 35:137–66.
- Zohary, D., and M. Hopf. 1988. *Domestication of Plants in the Old World*. Clarendon Press, Oxford.
- Zolli, A., and A. M. Healy. 2012. *Resilience: Why Things Bounce Back*. Free Press, Simon Schuster Inc., New York.

A Propos des Auteurs

Devra Jarvis est Scientifique Principale sur la Diversité Génétique, la Productivité et la Résilience, à Bioversity International (anciennement l'Institut International des Ressources Phytogénétiques—IPGRI) Elle est également Professeur Adjoint au Département des Sciences des Cultures et des Sols de l'université Pullman de l'État de Washington, et Professeur Adjoint à l'Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II de Rabat au Maroc. Elle dirige les travaux scientifiques interdisciplinaires de Bioversity International sur le développement de pratiques qui utilisent la diversité génétique des cultures locales pour maintenir et améliorer la productivité et la résilience des systèmes de production des petits agriculteurs. Elle a largement copublié avec des partenaires des pays du Nord et du Sud impliqués dans ces travaux.

Toby Hodgkin est le Coordinateur de la Plateforme pour la Recherche sur l'Agrobiodiversité et Chercheur Honoraire à Bioversity International. Après avoir travaillé comme généticien/sélectionneur de cultures maraîchères, il a rejoint le Conseil International des Ressources Phytogénétiques (devenu IPGRI puis Bioversity International) pour travailler sur le maintien et l'utilisation de la diversité génétique des plantes cultivées. Depuis 1990, il travaille sur la conservation *in situ* des cultures et de leurs parents sauvages, publiant de nombreux ouvrages sur les différents aspects de la conservation et de l'utilisation des cultures. Il a coédité des livres sur les principales collections de ressources génétiques et sur l'élargissement de la base génétique des cultures.

Anthony Brown est Chercheur Honoraire (anciennement Chercheur en Chef) au CSIRO Plant Industry en Australie, et à Bioversity International à Rome en Italie. Ses recherches ont porté sur la génétique des populations végétales, la sélection végétale, la génétique de conservation, l'évolution et la

systématique moléculaire. Il a participé à des missions de collecte de plantes sauvages apparentées à des cultures, deux pour l'orge sauvage (Israël, Iran) et six pour la Glycine sauvage et le *Gossypium* dans de nombreuses régions d'Australie.

John Tuxill est Professeur Associé au Collège d'études interdisciplinaires au Fairhaven, à l'université Western Washington, à Bellingham, à Washington. Outre l'ethnobotanique, il donne des cours d'ethnoécologie, de science de la biodiversité, d'agriculture durable, de restauration écologique et de langue Maya Yucatec. Il a vécu au Yucatan, au Mexique, et dans la province de Darién, au Panama.

Isabel López Noriega a travaillé en tant que Chercheur à la Chaire UNESCO pour l'environnement, à l'université Juan Carlos, à Madrid, en Espagne. Elle a rejoint Bioversity International, à Rome, en tant qu'expert juridique, et a coordonné et participé à un grand nombre de projets internationaux sur les ressources génétiques végétales, en examinant les questions juridiques et politiques liées à la conservation et à l'utilisation durable de ces ressources.

Melinda Smale est Professeur de Développement International au Département d'Economie Agricole, Alimentaire et des Ressources de l'Université de l'État du Michigan. Ses recherches ont mis l'accent sur le développement de méthodes d'évaluation de la valeur de la biodiversité des cultures et l'identification de politiques visant à améliorer l'utilisation et la gestion des ressources génétiques des cultures, en particulier dans les économies en développement.

Bhuwon Sthapit est Scientifique Senior dans le domaine de la Conservation *in situ* à Bioversity International, où il coordonne les activités de conservation à la ferme/*in situ* dans la région de l'Asie, du Pacifique et de l'Océanie. Il a été Sélectionneur Principal de riz au Conseil de Recherche Agricole du Népal, à Khumaltar, et Directeur de Programme de l'ONG Népalaise Initiatives locales pour la biodiversité, la recherche et le développement. Il a largement publié sur la sélection végétale participative et les approches communautaires de gestion de la biodiversité.