

Technologies pour L'Adaptation au Changement Climatique

– Le Secteur de l'Agriculture –



Technologies pour L'Adaptation au Changement Climatique

– Le Secteur de l'Agriculture –

Auteurs

Rebecca Clements

Practical Action Latin America

Jeremy Haggard

Université de Greenwich

Alicia Quezada

Practical Action Amérique Latine

Juan Torres

Practical Action Amérique Latine

Editeur

Xianli Zhu

Le Centre PNUE de Risoe

Réviseurs

Bernd R. Eggen

Abdul Rasack Houssein Nayamuth

Jørgen Eivind Olsen

Sara Lærke Meltofte Trærup

Août 2011



Le Centre du PNUE à Risoe pour l'Énergie, le Climat et le Développement Durable
Laboratoire National DTU à Risoe pour les Énergies Renouvelables
Boîte Postale 49
4000 Roskilde
Danemark
Téléphone +45 4677 5129
Fax +45 4632 1999
<http://www.uneprisoe.org/>
<http://tech-action.org/>

ISBN: 978-87-93130-42-5

Design et production:

Magnum Custom Publishing
New Delhi, Inde
info@magnumbooks.org

Photos:

Photo de Couverture — Rizièr en terrasses à Bali, Indonésie. Photo utilisée avec la permission de Chensiyuan, Creative Commons
3.0 Unported

Photo au dos du livret – Un troupeau de vaches en train de paître à Hawaii, USA. Photo utilisée avec la permission de Forest & Kim Starr, Creative Commons
3.0 Unported

Ce livret peut être téléchargé à l'adresse suivante: <http://tech-action.org/>

Veuillez bien vouloir utiliser la référence suivante si vous désirez citer le guide:

Clements, R., J. Haggard, A. Quezada, et J. Torres (2011). Les Technologies pour l'Adaptation au Changement Climatique —Le Secteur de l'Agriculture. X. Zhu (Ed.). Roskilde, Centre du PNUE à Risoe, 2011

Clause de Non-Responsabilité:

Ce livret vise à assister les gouvernements des pays en voie de développement, les praticiens dans le domaine de l'agriculture, et toutes les parties prenantes, à mener des Evaluations sur les Besoins en Technologie (EBT) et à préparer les plans d'actions pour l'adaptation au changement climatique dans le secteur de l'agriculture dans le cadre du projet EBT financé par le Fonds pour l'Environnement Mondial (FEM). Ce projet est mis en œuvre par le PNUE et l'URC. Les observations, les suggestions et les conclusions présentées dans cette publication appartiennent entièrement à leurs auteurs et ne sont aucunement attribuables au FEM ou au PNUE.

Table des matières

<i>Table des matières</i>	<i>iii</i>
<i>Liste des Tableaux, des Figures et des Encadrés</i>	<i>v</i>
<i>Abréviations</i>	<i>ix</i>
<i>Préface</i>	<i>xiii</i>
<i>Remerciements</i>	<i>xv</i>
<i>Résumé</i>	<i>xvii</i>
1. Introduction et contenu du livret	1
2. Contexte	5
2.1 Concepts clés	5
2.2 Les systèmes de production agricole	17
2.3 Niveaux d'adaptation	24
3. Processus décisionnel relatif à l'adaptation et hiérarchisation des technologies	29
3.1 Vulnérabilité et évaluation du risque	29
3.2 Identification des options d'adaptation	31
3.3 Critères clés pour la priorisation des technologies d'adaptation	34
4. Technologies et pratiques concrètes d'adaptation dans le secteur agricole	37
4.1 La planification pour le changement et la variabilité climatique	38
4.1.1 Système de suivi du changement climatique	38
4.1.2 Prévisions saisonnières à interannuelles	47
4.1.3 Systèmes d'alerte précoce communautaires et décentralisés	54
4.1.4 Assurance indicielle climatique	59
4.2 Technologies pour la gestion et l'utilisation durable de l'eau	65
4.2.1 Irrigation par aspersion et goutte-à-goutte	65
4.2.2 Captage de brouillard	77
4.2.3 Collecte des eaux de pluie	84

4.3	Gestion des sols	93
4.3.1	Terrasses de formation lente	93
4.3.2	Agriculture de conservation/Conservation des sols	99
4.3.3	Gestion intégrée des éléments nutritifs	106
4.4	Gestion durable de la santé des cultures	113
4.4.1	Diversification des cultures et utilisation de nouvelles variétés	113
4.4.2	Création de nouvelles variétés grâce à la biotechnologie	120
4.4.3	Lutte antiparasitaire écologique	128
4.4.4	Stockage des graines et des semences	135
4.5	Gestion durable du bétail	143
4.5.1	Gestion des maladies du bétail	144
4.5.2	Élevage sélectif via un accouplement contrôlé	150
4.6	Systèmes agricoles durables	154
4.6.1	Agriculture mixte/polyculture	155
4.6.2	Agroforesterie	159
4.7	Renforcement des capacités et organisation des parties prenantes	169
4.7.1	Agents de vulgarisation communautaires	169
4.7.2	Écoles pratiques d'agriculture	174
4.7.3	Groupes communautaires d'utilisateurs des forêts	179
4.7.4	Associations des usagers de l'eau	183
5.	Conclusions	189
6.	Références	193
Annexe I – Glossaire		209
Annexe II – Sources additionnelles d'informations recommandées		211

Liste des Tableaux, des Figures et des Encadrés

Liste des Tableaux

- Tableau 1.1 Vue d'ensemble des technologies couvertes dans ce livret
- Tableau 2.1 Les impacts du changement climatique sur l'agriculture
- Tableau 2.2 Exemples de ressources affectant la capacité d'adaptation
- Tableau 4.1 Technologies d'adaptation
- Tableau 4.2 Variables climatiques essentielles
- Tableau 4.3 Décisions agricoles et prévisions climatiques
- Tableau 4.4 Pays utilisant des données SI fournies par des acteurs mondiaux
- Tableau 4.5 Coûts estimatifs pour la mise place et l'entretien d'un système d'alerte précoce communautaire
- Tableau 4.6 Sommaire des produits d'assurance climatique agricole
- Tableau 4.7 L'efficacité de l'irrigation par aspersion selon les conditions climatiques
- Tableau 4.8 Effets de l'irrigation par aspersion sur les différentes cultures
- Tableau 4.9 Taux de collecte d'eau avec les capteurs de brouillard
- Tableau 4.10 Répartition budgétaire du projet de collecte des eaux de pluie au Bhoutan
- Tableau 4.11 Coûts des activités du programme pilote au Burundi
- Tableau 4.12 Rendement (kg/ha) pour les principales cultures à La Encañada, Pérou
- Tableau 4.13 Rendements des cultures (t/ha) dans la communauté de Chullpa K'asa, Bolivie
- Tableau 4.14 Coût moyen de l'engrais par tonne métrique en Afrique
- Tableau 4.15 Termes liés à la biotechnologie
- Tableau 4.16 Produits/procédés biotechnologiques montrant une adaptation à long terme au changement climatique
- Tableau 4.17 Caractéristiques d'entreposage des produits alimentaires sélectionnés
- Tableau 4.18 Les méthodes d'entreposage traditionnelles et améliorées
- Tableau 4.19 Diagnostic et conception agro-forestière
- Tableau 4.20 Les institutions clés de l'agroforesterie
- Tableau 4.21 Coût du programme agroforestier en Érythrée
- Tableau 4.22 Coûts du programme agroforestier au Sénégal

Liste des Figures

- Figure 2.1 Les liens entre les services fournis par les écosystèmes et le bien-être humain
- Figure 2.2 La vulnérabilité au changement climatique subdivisée en trois éléments qui la composent: l'exposition, la sensibilité et la capacité d'adaptation
- Figure 2.3 Pratiques agricoles traditionnelles

- Figure 2.4 Relation entre l'agro-biodiversité de la culture de pommes de terre et les risques
- Figure 2.5 Culture diversifiée et conservation des variétés autochtones: une adaptation individuelle au changement climatique dans un écosystème de haute latitude
- Figure 3.1 Comment l'adaptation à base communautaire (ABC) peut être implantée en engageant la société civile dans le processus de planification, d'implantation et de suivi
- Figure 4.1 Centres mondiaux de l'OMM de prévisions à long terme
- Figure 4.2 Système d'irrigation par aspersion en Cajamarca, Pérou
- Figure 4.3 Irrigation goutte-à-goutte sur une culture d'oliviers dans la vallée d'Ica, au Pérou
- Figure 4.4 Champs de câpres irrigués par un système d'arrosage goutte-à-goutte sur sols sableux dans la vallée de Pisco, au Pérou
- Figure 4.5 Schéma d'un système classique de captage des eaux de pluie
- Figure 4.6 Système de collecte des eaux de pluie enfoui sous le sol
- Figure 4.7 Collecte des eaux sur des surfaces rocheuses
- Figure 4.8 Structure des terrasses de formation lente
- Figure 4.9 Plantation de haies le long des terres agricoles en pente aux Philippines
- Figure 4.10 Binage en Inde
- Figure 4.11 La traction animale au Népal
- Figure 4.12 Agriculture de conservation utilisant des disques et des fourchons
- Figure 4.13 Culture sur crêtes
- Figure 4.14 Effet de l'application du potassium sur les dommages aux cultures de pommes de terre causés par le gel
- Figure 4.15 Production LAI de légumes au Nicaragua
- Figures 4.16 et 4.17 Approches holistiques pour la prévention et le contrôle des maladies
- Figure 4.18 Centre agricole au Pérou où sont formés les animateurs/agents locaux de vulgarisation agricole

Liste des Encadrés

- Encadré 2.1 Les caractéristiques communes des agricultures bio-diversifiées
- Encadré 2.2 Les approches agro-écologiques qui renforcent la résilience
- Encadré 2.3 Le processus du PANA
- Encadré 3.1 Ressources supplémentaires sur l'évaluation des risques et de la vulnérabilité
- Encadré 3.2 Intégrer la culture locale dans les stratégies d'adaptation: récolte de poissons et jardins flottants au Bangladesh
- Encadré 4.1 La prévision traditionnelle à l'aide de bio-indicateurs
- Encadré 4.2 Les initiatives de modélisation des impacts du changement climatique sur l'agriculture de la FAO
- Encadré 4.3 Zonage climatique des espaces agricoles à risque au Brésil
- Encadré 4.4 Le suivi du changement climatique au Kenya
- Encadré 4.5 Prévisions climatiques saisonnières au Lesotho
- Encadré 4.6 La prévision saisonnière au Burkina Faso

- Encadré 4.7 Changement des périodes de plantation et de récolte basé sur les informations des systèmes EWS
- Encadré 4.8 Assurance ENSO au Pérou
- Encadré 4.9 L'assurance contre les coûts supplémentaires d'irrigation du café au Vietnam
- Encadré 4.10 Assurance indicielle de mortalité du bétail en Mongolie
- Encadré 4.11 Les Fondos au Mexique
- Encadré 4.12 Irrigation par aspersion au Zimbabwe
- Encadré 4.13 Irrigation goutte-à-goutte des oliviers dans le désert de la vallée d'Acari, au Pérou
- Encadré 4.14 Applications potentielles de la technique de captage de brouillard
- Encadré 4.15 Informations requises pour évaluer la faisabilité/pertinence de la mise en place d'un système de captage de brouillard
- Encadré 4.16 Développement des systèmes de captage de brouillard au Népal
- Encadré 4.17 Système de collecte des eaux de pluie à la surface du sol au Paraguay
- Encadré 4.18 Informations nécessaires pour la sélection d'un système de collecte des eaux de pluie
- Encadré 4.19 Collecte des eaux de pluie aux Philippines
- Encadré 4.20 La collecte des eaux de pluie pour réaliser le plein potentiel de l'agriculture pluviale en Inde
- Encadré 4.21 Conservation et restauration des sols volcaniques détériorés dans les Andes équatorielles
- Encadré 4.22 L'agriculture sur les terres en pente
- Encadré 4.23 La conservation du sol au Brésil
- Encadré 4.24 Culture en crêtes et bandes de végétation naturelle comme des obstacles à l'érosion aux Philippines
- Encadré 4.25 Essais dans les exploitations agricoles de stratégies de gestion intégrée des éléments nutritifs du sol en Ouganda de l'Est
- Encadré 4.26 Promotion de la gestion intégrée des éléments nutritifs en Inde
- Encadré 4.27 Gestion équilibrée des éléments nutritifs organiques sur les plantations de café au Nicaragua
- Encadré 4.28 Sélection des variétés de pommes de terre résistantes (*Solanum spp*) comme semence
- Encadré 4.29 Une diversification des cultures résistantes à la sécheresse au Zimbabwe
- Encadré 4.30 Coton génétiquement modifié résistant aux insectes
- Encadré 4.31 Maïs tolérant à la sécheresse pour l'Asie
- Encadré 4.32 Riz tolérant à la sécheresse pour l'Asie
- Encadré 4.33 École pratique d'agriculture: approche de référence pour l'enseignement de l'EPM aux agriculteurs
- Encadré 4.34 La gestion écologique des parasites à grande échelle en Indonésie
- Encadré 4.35 Mobiliser la lutte intégrée des parasites pour lutter contre la cochenille du manioc en Afrique
- Encadré 4.36 Plantation d'arbres fruitiers dans et autour des champs cultivés pour attirer les oiseaux prédateurs en Inde
- Encadré 4.37 La méthode « push-pull » au Kenya
- Encadré 4.38 Expérience du Kenya (l'entreposage dans un récipient à fermeture étanche avec la cendre de bouses de vache augmente la longévité des graines/semences)
- Encadré 4.39 Des techniques améliorées pour réduire les pertes après récolte en Afghanistan
- Encadré 4.40 Entreposage à lumière diffuse
- Encadré 4.41 Contrôle des mammites

- Encadré 4.42 Le rôle des savoirs traditionnels dans la gestion de la maladie du bétail sous l'influence du changement climatique
- Encadré 4.43 Contrôle des maladies des animaux liées aux changements climatiques: fièvre de la vallée du Rift
- Encadré 4.44 Élevage contrôlé d'alpagas au Pérou
- Encadré 4.45 Avantages des systèmes de polyculture pour l'environnement
- Encadré 4.46 Systèmes d'exploitation mixte cultures/élevage et changement climatique en Afrique
- Encadré 4.47 Avantages de l'agriculture mixte au sud du Honduras
- Encadré 4.48 Les systèmes agricoles arborés améliorent la sécurité alimentaire et les moyens d'existence
- Encadré 4.49 Introduction des pratiques agroforestières axées sur les cactus dans les zones arides
- Encadré 4.50 Agroforesterie de café pour l'adaptation au changement climatique au Chiapas, Mexique
- Encadré 4.51 Expériences des animateurs ruraux au Bangladesh et au Kenya
- Encadré 4.52 Centre de formation pratique sur la production de patates douces en Afrique de l'Est
- Encadré 4.53 Centre de formation pratique pour la lutte antiparasitaire du cacao
- Encadré 4.54 Livelihoods and Forestry Programme (programme sur les moyens de subsistance et la foresterie) au Népal
- Encadré 4.55 Suivi participatif des ressources hydriques, gestion des eaux du bassin de Pangani, en Tanzanie
- Encadré 4.56 Adaptation au changement climatique avec les Associations d'usagers de l'eau du Ruaha, Tanzanie

Abréviations

ABC	Adaptation à base communautaire
ADN	Acide désoxyribonucléique
AUE	Association des Usagers de l'Eau
BAD	Banque africaine de développement
CCD	Durée du nuage froid Cold Cloud Duration
CCNUCC	Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques
CDB	Convention sur la diversité biologique
CIMMYT	Centre international de recherche sur le blé et le maïs International Maize and Wheat Research Centre
CIP	Centre international de la Pomme de terre au Pérou International Potato Centre in Peru
CIUS	Conseil International pour la Science
CO ₂	Dioxyde de carbone
COI	Commission océanographique intergouvernementale
CRA	Evaluation du risqué à base communautaire Community risk assessment
CRDI	Centre de recherche pour le développement international
CVCA	Analyse de la vulnérabilité et des capacités d'adaptation face au climat Climate Vulnerability and Capacity Analysis
DFID	Département de développement international du Royaume-Uni Department for International Development, UK
DIP	Processus délibératif inclusif Deliberative inclusive processes
DLS	Stockage à lumière diffuse Diffuse light storage
ECV	Variables climatiques essentielles Essential Climate Variables
ENSO	Phénomènes d'oscillation australe d'El Niño El Niño Southern Oscillation
EPM	Lutte antiparasitaire écologique Ecological Pest Management
EWS	Système d'alerte précoce Early Warning System

FAO	Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture United Nations Food and Agriculture Organisation
FFS	Ecole pratiques d'agriculture Farmer Field Schools
FICR	Fédération internationale de la Croix-Rouge et du Croissant-Rouge
FUG	Groupes d'utilisateurs des forêts Forest User Groups
GCRAI	Groupe consultatif pour la recherche agricole internationale en agriculture
GEOSS	Système mondial des systèmes d'observation de la terre Global Earth Observation System of Systems
GHF	Le Forum humanitaire mondial Global Humanitarian Forum
GIEC	Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat
IAAST	L'Evaluation Internationale des Sciences et Technologies Agricoles au service du Développement International Assessment of Agricultural, Science and Technology for Development
IDS	Institut des sciences du développement, Université de Sussex Institute of Development Studies, University of Sussex, UK
IFAD	Fond international pour le développement agricole International Fund for Agricultural Development
IFPRI	Institut international de recherche en politique nutritionnelle International Food Policy Research Institute
INC	Première Communication Nationale Initial National Communication
INM	Gestion intégrée des éléments nutritifs Integrated Nutrient Management
IRRI	Institut international de recherche sur le riz International Rice Research Institute
LAI	Lutte anti-parasitaire intégrée
NDVI	Indice différentiel normalisé de végétation Normalised Difference Vegetation Index
OBC	Organisations à base communautaire
OGM	Organisme génétiquement modifié
OMD	Objectifs du Millénaire pour le développement
OMM	Organisation Météorologique Mondiale
ONG	Organisation non-gouvernemental
PANA	Programme d'Action National d'Adaptation
PCVA	Evaluation des capacités participatives et des vulnérabilités Participatory Capacities and Vulnerabilities Assessment
PFNL	Produits forestiers non ligneux
PIB	Produit intérieur brut

PMA	Pays les moins avancés
PNUE	Programme des Nations Unies pour l'Environnement
PVA	Analyse participative de la vulnérabilité Participatory Vulnerability Analysis
SARD	Développement agricole et rural durable Sustainable Agriculture and Rural Development
SFC	Capteurs standards de brouillard Standard Fog Collectors
SI	Prévision saisonnière à interannuelle
SIG	Système d'information géographique Geographic Information System
SMHN	Services Météorologiques et Hydrométéorologiques Nationaux
SMOC	Système Mondial d'Observation du Climat
STCP	Programme pour le développement durable des cultures d'arbres pérennes The Sustainable Tree Crops Programme (STCP)
USAID	Agence de développement international des Etats-Unis United States Agency for International Development
WWF	Fonds Mondial pour la Nature World Wildlife Fund

Préface

Le secteur de l'agriculture est confronté à l'immense défi d'assurer une alimentation suffisante, ainsi que d'autres nécessités, à une population mondiale croissante que l'on estime atteindre 9 milliards en 2050. Il n'existe que des possibilités limitées d'expansion des terres arables et la nouvelle menace du changement climatique à l'encontre de l'agriculture, qui prend la forme de conditions météorologiques imprévisibles, d'inondations, et d'autres événements catastrophiques, rend encore plus difficile la tâche de sécuriser une alimentation suffisante à la population mondiale. Étant donné que le secteur de l'agriculture représente encore un des secteurs économiques les plus importants dans de nombreux pays en développement (constitue la source principale d'emploi et de revenus des pauvres), il n'est pas surprenant que la plupart des pays en développement soient intéressés par les technologies pour l'adaptation de l'agriculture au changement climatique.

Les technologies et les pratiques existent bien, ou celles-ci ont été développées dans différentes parties du monde, afin de faciliter l'adaptation au changement climatique dans le secteur de l'agriculture. Elles vont de simples prévisions météorologiques à la conservation de l'eau, l'irrigation goutte à goutte, la gestion durable des sols, une meilleure gestion de l'élevage, et aux changements dans les types de cultures et de plantations, entre autres. Certaines de ces mesures nécessitent des investissements, tandis que les autres exigent principalement une amélioration de la sensibilisation à ces nouvelles pratiques, ainsi que le renforcement des capacités dans ce domaine.

Ce livret, ou guide, fournit des informations sur 22 technologies et options d'adaptation au changement climatique dans le secteur de l'agriculture. Il décrit ce que les décideurs, les planificateurs du développement, les experts agricoles et les autres intervenants des pays, devraient prendre en compte lorsqu'ils déterminent une direction de développement pour les technologies dans le secteur de l'agriculture. Les ONG, les communautés rurales et les praticiens agricoles pourraient examiner et inclure les options appropriées dans leur portefeuille de technologies et d'options pour l'agriculture. Le but de ce livret est de stimuler la poursuite des travaux dans différentes parties du monde sur l'identification des options pour l'adaptation au changement climatique dans le secteur agricole.

Ce livret a été co-écrit par Rebecca Clements, Alicia Quezada et Juan Torres de l'organisation Practical Action - Amérique Latine, et Jeremy Haggar de l'Université de Greenwich au Royaume-Uni. Practical Action, qui est l'organisation qui a le plus largement contribué à la rédaction de ce guide, possède beaucoup d'expérience dans les activités d'aide à la réduction de la pauvreté dans le secteur de l'agriculture dans les pays en voie de développement d'Afrique, d'Asie et d'Amérique Latine. Jeremy Haggar est le Directeur du Programme Agriculture, Santé et Environnement à l'Institut des Ressources Naturelles de l'Université de Greenwich; il a plus de 20 ans d'expérience en recherches et en renforcement des capacités en matière de conception et gestion durables des écosystèmes agricoles d'Amérique Centrale et du Mexique. Il a également participé à la révision du livret.

Ce livret fut révisé par Abdul Rasack Houssein Nayamuth, consultant indépendant basé à l'Île Maurice, Jørgen Eivind Olsen de la Faculté d'Agro-écologie et de l'Environnement de l'Université d'Aarhus, Bernd R. Eggen – consultant en changement climatique, et Sara Lærke Meltofte Trærup du Centre du PNUE à

Risoe pour l'Énergie, le Climat et le Développement Durable (URC). Nous les remercions tous vivement pour les précieuses contributions qu'ils ont apportées à ce projet. Xianli Zhu de l'URC a coordonné la préparation de ce livret.

Ce livret fait partie d'une série de livrets techniques produite par l'URC dans le cadre du projet sur l'évaluation des besoins technologiques (EBT) (<http://tech-action.org/>). Le PNUE et l'URC mènent à bien le projet EBT dans 36 pays en voie de développement. Le financement de ce projet est assuré par le Fonds pour l'environnement mondial (FEM).

Jyoti Prasad Painuly
Chef de projet
Centre PNUE à Risoe

Mark Radka
Coordinateur de Programme sur l'Energie
PNUE DTIE

Août, 2011

Remerciements

Ce livret est le fruit d'une coopération et d'un dévouement continu de plusieurs personnes, en particulier des auteurs et des réviseurs. J'aimerais les remercier pour leur dévouement et le fantastique travail qu'ils ont réalisés. C'est grâce à leur grande expérience et leur riche expertise dans le secteur de l'agriculture et sur l'adaptation au changement climatique que nous avons pu parvenir à écrire ce guide.

Les auteurs et moi-même aimerais remercier Rafael Galván, Dalia Carbonel, Stuart Coupe, Gregory Damman, Jon Ensor, Carlos de la Torre Postigo, Emiliano Mar, Roberto Montero, Daniel Rodriguez, Giannina Solari, Mark Turner, Juan Vargas, Alcides Vilela, et Nadya Villavicencio pour l'aide qu'ils ont apportée aux trois auteurs dans les bureaux de Practical Action en Amérique Latine. Ximena Vidal nous a aidé avec les photos et les figures; elle nous a également aidé à obtenir l'autorisation de la part des détenteurs des droits d'auteurs.

Je voudrais exprimer ma gratitude à Derek Russell de l'Institut des Ressources Naturelles de l'Université de Greenwich, pour avoir contribué à la section sur la biotechnologie, ainsi qu'à Graham Thiele du Centre Internationale de la Pomme de terre pour avoir contribué à la section sur les centres internationaux de recherches. Jessa Boanas-Dewes a réalisé la relecture et les révisions de langage du livret.

Je voudrais également remercier mes collègues du Centre PNUE à Risoe pour leur soutien à la préparation de ce livret. Maija Bertule et Susanne Haunstrup Kirkegaard travaillent au Centre et m'ont assisté dans l'accomplissement de cette tâche.

Editeur
Xianli Zhu
Centre PNUE à Risoe

Résumé

Ce livret présente une sélection de technologies pour l'adaptation au changement climatique dans le secteur agricole. Un ensemble de 22 technologies d'adaptation y sont présentées. Celles-ci sont basées principalement sur les principes de l'agro-écologie, mais incluent aussi des méthodes scientifiques météorologiques ou biologiques, suppléées par des processus de renforcement des capacités institutionnelles et sociologiques nécessaires à l'adaptation au changement climatique. Ces technologies couvrent:

- La planification pour le changement et la variabilité climatique
- L'utilisation et la gestion durable des ressources en eau
- La gestion des sols
- La gestion durable des cultures
- La gestion durable du bétail
- Les systèmes agricoles durables
- Le renforcement des capacités et l'organisation des parties prenantes.

Les technologies qui tendent à homogénéiser l'environnement naturel et la production agricole ont peu de chances de succès dans des conditions de fortes pressions environnementales que le changement climatique risque de créer. Par contre, les technologies qui permettent et favorisent la diversité sont plus susceptibles de permettre une stratégie qui renforce la production agricole face à des scénarios incertains du changement climatique. Les 22 technologies présentées dans ce livret ont été sélectionnées car elles facilitent la préservation et la restauration de la biodiversité, tout en offrant des possibilités d'accroître la productivité agricole. Beaucoup de ces technologies ne sont pas nouvelles aux pratiques de production agricole, mais elles sont mises en œuvre sur la base d'une évaluation des impacts actuels et éventuels du changement climatique dans un endroit donné. L'agro-écologie est une approche qui englobe les concepts de production durable et de promotion de la biodiversité et fournit ainsi un cadre utile pour identifier et sélectionner les technologies appropriées à l'adaptation au changement climatique dans le secteur agricole.

Le livret fournit une analyse systématique des informations les plus pertinentes disponibles sur les technologies possibles d'adaptation au changement climatique pour le secteur agricole. Il a été compilé sur la base d'une revue de littérature de publications clés, d'articles de journaux, et d'articles disponibles sur les plates-formes électroniques, ainsi qu'en s'appuyant sur les expériences documentées provenant d'un éventail d'organisations travaillant sur des projets et programmes d'adaptation au changement climatique dans le secteur agricole. Sa portée géographique se concentre sur les pays en développement où des niveaux élevés de pauvreté, de production agricole, de variabilité du climat et de la biodiversité se croisent.

Les concepts clés autour de l'adaptation au changement climatique ne sont pas universellement acceptés. Il est donc important de comprendre les contextes locaux - en particulier les normes sociales et culturelles - lorsque l'on travaille avec les parties prenantes nationales et locales afin de prendre des décisions

éclairées sur les options technologiques appropriées. Ainsi, les processus décisionnels doivent être participatifs, orientés vers le consensus, et basés sur les principes directeurs suivants:

- Sensibiliser davantage et développer les connaissances
- Renforcer les institutions
- Protéger les ressources naturelles
- Fournir une assistance financière
- Développer des stratégies spécifiques au contexte.

Pour assister la démarche de prise de décision, le modèle d'Adaptation à Base Communautaire (ABC) est proposé afin de créer une gouvernance inclusive. Le modèle ABC lie les parties prenantes directement avec les autorités locales ou de district et les organes nationaux de coordination, et facilite ainsi la planification participative, la mise en œuvre et le suivi des activités d'adaptation. Sept critères sont proposés pour la priorisation des technologies d'adaptation: (i) la mesure dans laquelle la technologie maintient ou renforce la biodiversité et dans laquelle elle est respectueuse de l'environnement; (ii) la mesure dans laquelle la technologie facilite l'accès aux systèmes d'information et de sensibilisation sur le changement climatique; (iii) la mesure dans laquelle la technologie tient compte des cycles de l'eau, du carbone et des nutriments, et permet ainsi une productivité stable voire une augmentation de la productivité; (iv) le revenu potentiel de la production, l'analyse coût-bénéfice et sa contribution à atteindre une certaine équité sociale; (v) le respect de la diversité culturelle et la facilitation de l'échange interculturel; (vi) le potentiel d'intégration dans les politiques régionales et nationales et leur amélioration; et finalement (vii) la mesure dans laquelle la technologie favorise la création d'institutions formelles, informelles et de réseaux sociaux.

Enfin, ce livret fait les recommandations suivantes aux praticiens et aux décideurs:

- Il y a un besoin urgent d'améliorer la modélisation et les prévisions climatiques, car elles peuvent servir de base pour une prise de décision éclairée et la mise en œuvre de stratégies d'adaptation. Elles devraient inclure également les connaissances traditionnelles
- Des informations sont également nécessaires pour mieux comprendre le comportement des plantes, des animaux, des parasites et des maladies, étant donné que ceux-ci réagissent au changement climatique
- Les changements potentiels dans les systèmes économiques et sociaux selon différents scénarios climatiques devraient également être étudiés, de façon à ce que les implications des choix de stratégie d'adaptation et de planification soient mieux comprises et maîtrisées
- Il est important de sécuriser les flux d'informations via des canaux de diffusion appropriés. Cela est vital pour le renforcement des capacités d'adaptation et les processus décisionnels
- L'amélioration de l'analyse des technologies d'adaptation est nécessaire pour montrer comment elles peuvent contribuer au renforcement des capacités d'adaptation et à la résilience dans le secteur de l'agriculture. Cette information doit être compilée et ensuite diffusée aux parties prenantes au niveau local et national

Les relations entre les décideurs politiques, les chercheurs et les communautés locales devraient être construites de manière à ce que les technologies et les processus de planification soient développés en partenariat, répondant ainsi aux besoins des producteurs et intégrant leurs connaissances.

1. Introduction et contenu du livret

Ce livret, ou guide, a pour objectif d'assister les pays en développement à mieux sélectionner les technologies et les pratiques d'adaptation au changement climatique dans le secteur agricole. Il partage les définitions établies par le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) dans leur Quatrième rapport d'évaluation sur le changement climatique (GIEC GT II, 2007) concernant: (i) le secteur agricole qui comprend aussi bien les cultures vivrières, les pâturages et l'élevage, les cultures industrielles et des biocarburants, la foresterie, l'aquaculture et la pêche, les petits producteurs et les exploitations vivrières ainsi que les pêcheurs artisanaux; et (ii) l'adaptation au changement climatique qui comprend des initiatives et des mesures visant à réduire la vulnérabilité des hommes et de l'environnement naturel face aux effets réels et/ou attendus du changement climatique. Les technologies décrites dans ce livret sont pertinentes principalement pour les secteurs de la production agricole, de l'élevage et de la foresterie. Elles mettent particulièrement l'accent sur les petits producteurs qui sont considérés comme étant les plus vulnérables face au changement climatique.

Les producteurs agricoles ont modifié leurs pratiques pour faire face à la variabilité du climat et au changement climatique depuis des siècles. Cependant, le changement climatique menace leurs moyens de subsistance à cause des phénomènes climatiques extrêmes de plus en plus imprévisibles, fréquents et intenses, tels que les sécheresses, les inondations ou les gelées du sol. Des efforts ont été faits pour documenter ces expériences et cette information est principalement disponible sur des plates-formes électroniques. Une large gamme de documents est également disponible sur les projets et programmes mis en œuvre par les gouvernements, les organisations non-gouvernementales (ONG) et d'autres acteurs. Ce livret a été développé sur la base des informations représentant cet éventail d'expériences et fournit une évaluation équilibrée des différentes technologies d'adaptation.

Le public cible de ce livret est large et comprend aussi bien les individus dans les institutions gouvernementales que les ONG et le secteur privé. Ce livret est destiné à offrir une source d'information essentielle, mais il ne représente pas un ensemble exhaustif d'informations clés sur le changement climatique et sur les moyens d'adaptation pour le secteur agricole. Il est concis et explicite, avec des référencements clairs, afin que le public cible puisse facilement comprendre l'information et les concepts présentés, sans avoir besoin d'avoir lu d'autres documentations au préalable ou de connaître les sujets abordés. Pour cette raison, les principaux termes techniques spécifiques au secteur agricole sont expliqués dans le glossaire.

Le livret est structuré de la façon suivante:

Le chapitre 2 explique les concepts clés, comprenant le secteur agricole, les moyens de subsistance, le changement climatique, les écosystèmes, les impacts du changement climatique sur les écosystèmes, l'agriculture et les impacts sociaux (sécurité alimentaire, pauvreté, eau, déplacements des populations et sécurité), la vulnérabilité et l'adaptation au changement climatique, la gestion des risques de catastrophes naturelles, la technologie (hardware, software et orgware) et la biotechnologie. Il explore également les liens entre les activités de subsistance rurales, l'agriculture, la biodiversité, le risque lié au changement climatique, le développement et les technologies d'adaptation. Le livret examine les quatre niveaux auxquels les technologies d'adaptation au changement climatique peuvent être mises en œuvre dans

le contexte national: au niveau individuel et au niveau des ménages; au niveau des communautés et du gouvernement local; au niveau des institutions intermédiaires; et au niveau des gouvernements nationaux ou des institutions internationales.

Le chapitre 3 décrit le processus de prise de décision et la hiérarchisation des technologies d'adaptation. Il explique premièrement le processus de l'évaluation de la vulnérabilité et des risques face au changement climatique. Les caractéristiques de ce processus, ainsi qu'une proposition de méthodologies, sont également incluses. Deuxièmement, différentes options pour les technologies d'adaptation sont explorées en décrivant deux scénarios de stratégies distinctes: lorsque le renforcement de la résistance face aux futurs impacts possibles du changement climatique et l'augmentation de la diversité sont recommandés, et lorsque les vulnérabilités actuelles sont examinées et que des mesures spécifiques peuvent être mises en œuvre. Troisièmement, un processus de sélection de stratégie d'adaptation et de prise de décision est proposé. Il comprend les caractéristiques d'une stratégie nationale d'adaptation, les principes directeurs pour la sélection de technologies d'adaptation, et un processus de prise de décision en trois phases. Le rôle important que joue la culture y est également examiné. Enfin, le chapitre 3 fournit des indicateurs clés pour évaluer l'efficacité des mesures et des actions d'adaptation.

Le chapitre 4 présente 22 technologies d'adaptation appropriées pour le secteur agricole dans les pays en développement. Les processus de recherche et de développement jouent un rôle crucial pour les essais, l'émergence et la diffusion des nouvelles technologies d'adaptation. Ce livret met l'accent sur les technologies existantes et n'est pas exhaustif. Cela implique que certaines technologies d'adaptation qui sont importantes pour certaines régions ou par rapport à certains impacts du changement climatique, risquent de ne pas abordées dans ce livret. Les technologies d'adaptation sont regroupées selon sept catégories: (i) la planification de la variabilité du climat et des changements climatiques, (ii) la gestion et l'utilisation durable de l'eau, (iii) la gestion des sols, (iv) la gestion durable des cultures, (v) la gestion durable du bétail, (vi) les systèmes agricoles durables, et (vii) le renforcement des capacités et l'organisation des parties prenantes. Le tableau 1.1 répertorie les technologies couvertes dans ce guide.

Tableau 1.1 Vue d'ensemble des technologies couvertes dans ce livret

Catégories des technologies	Technologies
Planification de la variabilité et des changements climatiques	1. Système de suivi national du changement climatique
	2. Prévisions saisonnières à interannuelles
	3. Systèmes d'alerte précoce communautaires et décentralisés
	4. Assurance climatique
Gestion et utilisation durable de l'eau	1. Irrigation par aspersion et goutte-à-goutte
	2. Captage de brouillard
	3. Collecte des eaux de pluie

Contd...

Gestion des sols	1. Terrasses de formation lente
	2. Systèmes de conservation des sols
	3. Gestion intégrée des éléments nutritifs des sols
Gestion durable de la santé des cultures	1. Diversification des cultures et utilisation de nouvelles variétés
	2. Création de nouvelles variétés grâce à la biotechnologie
	3. Lutte antiparasitaire écologique
	4. Stockage des semences et des graines
Gestion durable du bétail	1. Élevage sélectif via un accouplement contrôlé
	2. Gestion des maladies du bétail
Systèmes agricoles durables	1. Polyculture
	2. Agroforesterie
Renforcement des capacités et organisation des parties prenantes	1. Écoles pratiques d'agriculture
	2. Vulgarisateurs communautaires
	3. Groupes communautaires d'utilisateurs des forêts
	4. Associations d'utilisateurs d'eau

Pour chaque technologie, les éléments suivants sont traités: (i) définition et description, (ii) comment la technologie contribue à l'adaptation au changement climatique, (iii) autres avantages ou limites, (iv) le suivi des connaissances institutionnelles et organisationnelles nécessaires, ainsi que le coût et les besoins financiers pour la mise en œuvre, (v) les opportunités et les obstacles pour la mise en œuvre, et enfin (vi) un exemple concret de son application en Amérique latine, en Asie, en Afrique ou en Europe de l'Est. Les encadrés fournissent plus de détails sur certaines questions et invitent les lecteurs à explorer des sources d'information additionnelles.

Le chapitre 5 est consacré aux conclusions et aux recommandations.

Les références utilisées dans le livret sont présentées aux côtés d'un **glossaire** des termes techniques et d'une liste de sources d'informations supplémentaires.

2. Contexte

2.1 Concepts clés

Secteur agricole

Ce livret, ou guide, se réfère à la définition du secteur agricole telle que donnée par le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du changement climatique (GIEC). La portée du secteur agricole, tel que défini dans le **quatrième rapport d'évaluation du GIEC** sur l'évolution du climat (GIEC GT II, 2007), comprend les cultures alimentaires, les pâturages et l'élevage, les cultures industrielles et des biocarburants, la foresterie (forêts commerciales), l'aquaculture et la pêche, les petits producteurs et l'agriculture vivrière, ainsi que les pêcheurs artisanaux.

L'agriculture est un secteur clé pour assurer le développement économique et social dans les pays en développement étant donné que la production agricole est la principale source de revenus de la majorité des personnes pauvres dans le monde (FAO, 1995). Plus de 60 pour cent des africains dépendent directement de l'agriculture pour leur subsistance (FAO, 2003). Plus de 75 pour cent des personnes pauvres d'Asie du Sud vivent dans des zones rurales et dépendent de l'agriculture pluviale, de l'élevage et des forêts pour leur subsistance (Sapkota, 2010). En Amérique latine, le pourcentage des populations qui mène des activités agricoles est beaucoup plus faible, mais le secteur est encore crucial pour environ 70 pour cent de la population rurale pauvre (Muchnik et al, 1997).

Le rapport 2008 de la Banque mondiale met en évidence la pertinence de l'agriculture¹ pour le développement. Le rapport montre comment, en parallèle à d'autres secteurs, l'agriculture peut contribuer à une croissance économique plus rapide, une réduction de la pauvreté et à la préservation environnementale. Le rapport indique que l'agriculture contribue directement au développement de trois façons:

- en tant qu'activité économique, non seulement parce qu'elle est source de revenus pour la majorité de la population rurale pauvre, mais aussi parce qu'elle peut être une source de croissance nationale puisqu'elle représente une opportunité pour l'investissement privé et un moteur pour le développement de l'industrie agro-alimentaire;
- en tant que source de revenus pour environ 86 pour cent des populations rurales à l'échelle mondiale, dont la plupart vivent dans des situations de pauvreté. Dans les régions rurales pauvres, il faut donc accorder une haute importance à la mobilisation de l'agriculture pour la réduction de la pauvreté; et
- en tant que fournisseur de services environnementaux.

Bien que les mauvaises pratiques agricoles peuvent contribuer à l'appauvrissement des sols, à la pollution agro-chimique, à l'épuisement des sources d'eau et au changement climatique mondial, des technologies appropriées peuvent aussi promouvoir la séquestration du carbone sur les terres dégradées, la gestion des bassins hydrauliques et la conservation de la biodiversité (Banque mondiale, 2008; 2-4).

Il est démontré que des améliorations de la production agricole peuvent conduire à une réduction de la pauvreté dans tous les contextes. Les prévisions faites pour plusieurs pays montrent que la part du Produit Intérieur Brut (PIB) provenant de l'agriculture est au moins deux fois plus efficace à la réduction

de la pauvreté que la croissance du PIB provenant de tout autre secteur (Banque mondiale, 2008; 6). Cependant, la façon dont l'agriculture contribue au développement varie selon sa contribution à la croissance économique d'un pays et le pourcentage de la population impliqué dans les activités agricoles. On distingue:

- les pays agricoles (l'agriculture génère en moyenne 29 pour cent du PIB et emploie 5 pour cent de la population active);
- les pays en mutation (l'agriculture contribue à seulement 7 pour cent de la croissance du PIB, mais 82 pour cent des populations vivent encore dans les zones rurales); et
- les pays urbanisés (l'agriculture contribue à seulement 5 pour cent du PIB et bien que la pauvreté soit principalement urbaine, 45 pour cent des personnes pauvres vivent toujours dans les zones rurales) (Banque mondiale 2008, 4).

On peut également parvenir à réduire la pauvreté en garantissant aux petits producteurs le droit à l'alimentation. Aujourd'hui, environ un milliard de personnes souffrent de sous-alimentation dans le monde (FAO, 2009). La grande majorité de cette sous-alimentation est liée à un mauvais approvisionnement alimentaire; trois quarts des personnes sous-alimentées se trouvent pourtant dans des communautés rurales (FIDA, 2002) où l'agriculture emploie près de 90 pour cent des personnes (Banque mondiale, 2008). Les petits producteurs comprennent (Groupe ETC, 2009):

- 190 millions de bergers qui élèvent du bétail
- 100 millions de pêcheurs artisanaux ou de personnes engagées dans la transformation de près de la moitié de tous les poissons capturés pour la consommation humaine
- 800 millions de personnes qui sont impliquées dans l'agriculture urbaine, dont 200 millions qui produisent pour les marchés urbains
- Au moins 410 millions de personnes qui tirent une grande partie de leur nourriture et de leurs moyens de subsistance des forêts.

Les petits producteurs sont souvent négativement affectés par les conditions défavorables du marché. Ils vendent leurs marchandises à bas prix, alors qu'ils sont obligés d'acheter à des prix élevés pendant les périodes de pénurie. La dépendance face aux engrains et à des ensembles de technologies coûteux, ainsi que le manque de soutien financier et technique du secteur public ou privé, contribuent également à rendre de nombreux petits producteurs encore plus vulnérables.

L'agriculture est un secteur clé pour la lutte contre la faim et la réduction de la pauvreté, en particulier dans les pays en développement. Comme l'agriculture est directement touchée par le changement climatique, les stratégies, les technologies et les pratiques d'adaptation deviennent de plus en plus importantes pour la promotion du développement.

Activités de subsistance

Les activités de subsistance sont la gamme des activités que les gens pratiquent pour gagner leur vie et s'assurer un certain niveau de vie. Ceci concerne non seulement leur principale source d'emploi ou de revenu, mais aussi toute autre activité pratiquée au sein du ménage et de la communauté qui fournit de la nourriture, apporte une certaine assurance santé, un revenu, un abri, ou tout autre avantage matériel ou immatériel tel que le confort, la sécurité, le respect ou l'accomplissement de soi. Ces activités peuvent comprendre: la production agricole (comme la culture, l'élevage ou la pêche) pour la consommation ou pour la vente (céréales, légumes, lait, œufs ou poisson); les activités non agricoles telles que la couture, la poterie ou la transformation des aliments; les salaires gagnés localement ou en migrant vers une autre région pour chercher un emploi, par exemple, en tant que conducteur de pousse-pousse, en tant

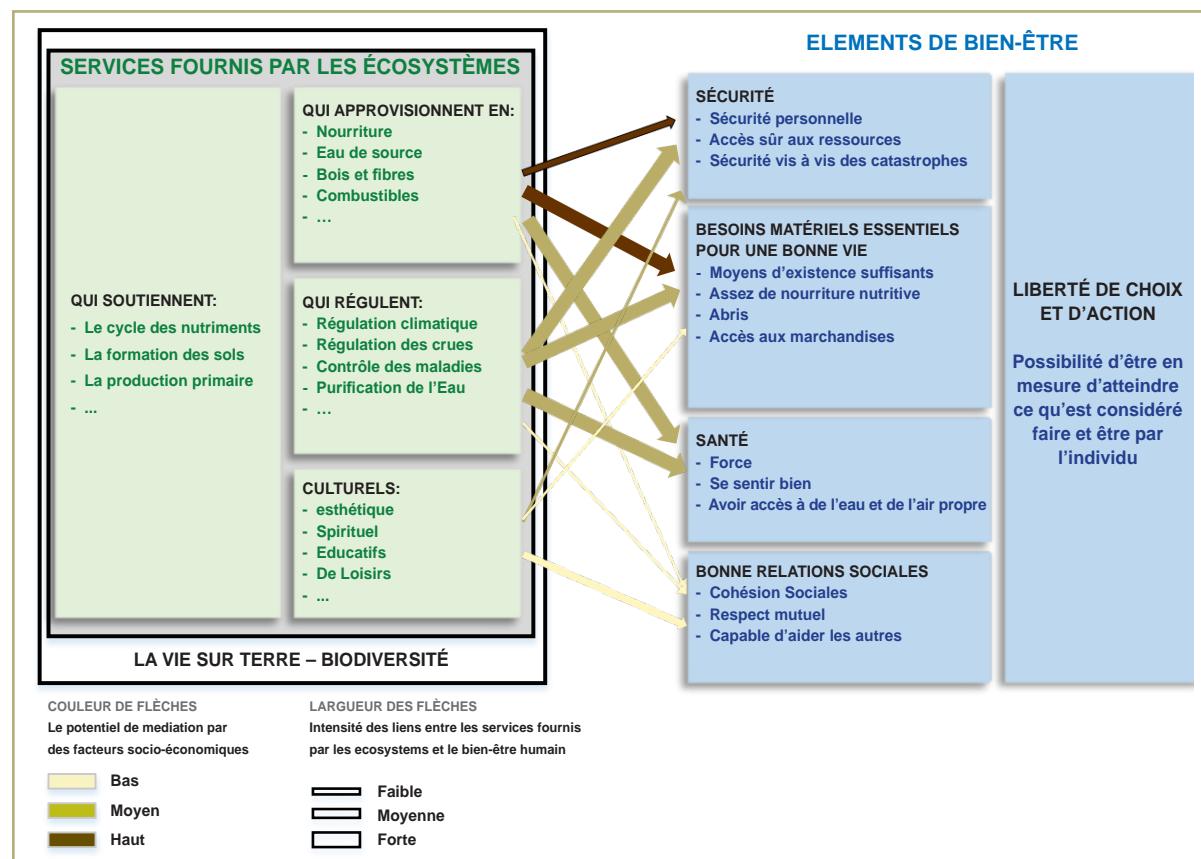
qu'ouvrier dans une usine ou dans la construction; la gestion des produits de l'exploitation forestière, telles que l'extraction du bois ou l'apiculture.

Les activités de subsistance peuvent être constituées de n'importe quel nombre d'activités différentes – dont certaines jouent un rôle plus important que d'autres. Les activités de subsistance sont vulnérables si elles sont fondées sur un nombre limité d'activités et exposent ainsi les ménages à un risque plus élevé si une activité échoue (par exemple par la perte d'un emploi ou une mauvaise récolte). Les activités de subsistance sont également vulnérables si elles ne sont pas ou si elles sont faiblement protégées contre des menaces éventuelles; par exemple quand la qualité du bétail est pauvre et qu'il n'est pas vacciné, les rendant ainsi vulnérables aux maladies, ou quand les techniques de conservation des sols et de l'eau ne sont pas utilisées sur les terres agricoles, les exposant ainsi à l'érosion et à la sécheresse. La diversification des activités de subsistance au niveau des ménages ou à l'échelle communautaire peut renforcer la résilience.

L'écosystème

Selon la Convention sur la Diversité Biologique (CDB), un écosystème est « un complexe dynamique formé de communautés de plantes, d'animaux et de micro-organismes et de leur environnement non vivant qui, par leur interaction, forment une unité fonctionnelle. » Les écosystèmes correspondent à des échelles spatiales très variables. Un exemple d'un petit écosystème est un étang, tandis qu'une forêt tropicale est un très grand écosystème. Les écosystèmes offrent une gamme de services pour les êtres humains tels que l'approvisionnement en nourriture, en énergie et en combustibles, la purification de l'eau, la formation des sols, et ils représentent des avantages récréatifs et spirituels (Figure 2.1).

Figure 2.1 Les liens entre les services fournis par les écosystèmes et le bien-être humain



La structure des écosystèmes de la planète a été considérablement transformée par l'activité humaine, en particulier du fait de la conversion des terres pour satisfaire la demande en nourriture, en eau douce, en bois, en fibres et en carburant. Aujourd'hui, environ un quart de la surface de la Terre est utilisée pour l'agriculture (WRI, 2005). Un écosystème agricole (ou agroécosystème) est une unité contrôlée, conçue et gérée par les hommes pour la production de denrées alimentaires (cultures et élevage), de carburant et de fibres. La durabilité de la productivité de ces écosystèmes dépend d'un équilibre entre les variétés des espèces, des organismes et de la matière non-vivante, donc principalement entre les cultures, les animaux, les sols, l'eau et l'atmosphère.

Conserver la biodiversité des écosystèmes agricoles est indispensable pour soutenir la production agricole et garantir la sécurité alimentaire (Ensor, 2009).

Changement climatique

Changement climatique: tout changement du climat qui persiste pendant des décennies ou plus, résultant de causes naturelles ou de l'activité humaine (IPCC WG II, 2007; 30).

Il est aujourd'hui universellement accepté que le climat mondial est en train de changer, principalement en raison des combustibles fossiles et des changements d'utilisation des terres liés à l'agriculture, ce qui contribue à l'augmentation de l'effet de serre. Selon le Quatrième rapport d'évaluation du GIEC (GIEC GT II, 2007), il est prévu que la température de la surface de la terre augmente entre 2 et 5 °C au cours du prochain siècle, si on estime que les émissions des gaz à effet de serre continuent d'augmenter au rythme actuel. Cela engendre un réchauffement progressif de la planète qui crée un certain nombre d'effets en matière de variations des régimes pluviométriques, de l'élévation du niveau de la mer, et d'autres événements météorologiques imprévisibles. Le changement climatique pourrait conduire à l'apparition plus fréquente, plus extrême, ou plus imprévisible de catastrophes naturelles (telles que les inondations, les sécheresses, les ouragans ou les cyclones). Il peut également conduire à l'émergence de nouveaux dangers tels que de nouveaux types d'épidémies de parasites ou de maladies, résultant de l'augmentation de la température. Les changements progressifs du climat et de l'environnement naturel créent des pressions sur les activités de subsistance et sur les ressources naturelles.

Les implications précises du changement climatique restent floues: les estimations des taux, du nombre et des régimes de précipitations, la fréquence probable des événements météorologiques extrêmes et les changements des conditions météorologiques régionales, ne peuvent pas être établis avec certitude. Les modèles climatiques régionaux deviennent de plus en plus précis mais malheureusement trop peu d'efforts ont été investis dans la recherche sur les modèles climatiques régionaux dans les pays en développement et dans les régions de basse latitude. Dans le quatrième rapport d'évaluation sur le changement climatique du GIEC (GIEC GT II, 2007), le scénario d'émissions les plus élevées prévoit une augmentation moyenne de la température la plus probable de 4°C d'ici la fin du 21e siècle. Cependant, il est également possible que l'augmentation soit aussi élevée que 6,4°C ou aussi basse que 2,4°C (Meehl et al, 2007). Actuellement, les effets de cette incertitude se font ressentir surtout au niveau des modèles climatiques qui ne permettent pas d'aboutir à des conclusions similaires à l'échelle régionale, en particulier sur les niveaux futurs des précipitations. En Afrique de l'Ouest par exemple, l'impact du changement climatique sur les précipitations n'est pas clair. Les modèles climatiques ne parviennent pas toujours aux mêmes résultats quant à savoir si les précipitations vont augmenter ou diminuer à une saison particulière (Christensen et al. 2007). Le changement climatique pose donc un défi particulier: nous savons que le changement est à venir, et nous pouvons même connaître la direction du changement dans de nombreux

cas, mais notre capacité à prévoir ce changement dépend d'un certain nombre de facteurs. Le degré de confiance avec lequel les prédictions peuvent être faites dépend de l'échelle temporelle et spatiale, de la région dans laquelle nous nous trouvons, si nous voulons des prédictions régionales ou nationales, si nous nous intéressons à la température, aux précipitations ou aux événements extrêmes, etc. Tous ces facteurs ont un impact sur le degré de confiance avec lequel les prédictions peuvent être faites. Nous avons besoin de différencier les projections du changement climatique à court terme (10-20 ans), à moyen terme (20 à 40 ans) et à long terme (> 40 années) car cela aura des impacts différents sur les choix concernant l'adaptation.

Le changement climatique contribue à la vulnérabilité en créant une plus grande incertitude pour les populations défavorisées. Mais il est surtout en train de changer les anciens systèmes de prévisions, mettant à mal les connaissances traditionnelles. Pour la majorité des risques et contraintes liés aux conditions météorologiques, il existe une quantité considérable de connaissances et de certitudes concernant leurs caractéristiques, basée sur l'expérience historique (par exemple, le moment des pluies de mousson, les modèles de cyclones, les saisons de forte probabilité de gel). Mais le changement climatique rend la prévision des futures caractéristiques du climat en se basant uniquement sur des preuves historiques beaucoup plus difficile. Au niveau mondial et pour les projections à long terme (> 40 années), les prévisions du changement climatique varient considérablement, selon que les hypothèses aient été faites sur l'évolution des tendances d'industrialisation et de consommation (résultant à une augmentation des émissions de CO₂), ou au contraire selon des hypothèses plus optimistes quant à l'adoption de méthodes plus propres et de lignes politiques plus fortes pour la réduction des émissions (stabilisation du niveau de CO₂). Les prédictions d'impacts au niveau national et local sont extrêmement difficiles à réaliser en raison d'un ensemble de facteurs pouvant affecter le climat, mais aussi à cause d'une insuffisance de la capacité à recueillir et à analyser les données pour toutes les régions. À toutes les échelles, les prévisions sur les précipitations – qui sont essentielles à l'agriculture - sont plus difficiles à faire que celles concernant les changements de température.

Plus d'un demi milliard de personnes sont exposés à un risque extrême face aux impacts du changement climatique, et six personnes sur dix sont vulnérables dans un sens physique et socio-économique (GHF, 2009; 3). Les communautés pauvres et isolées sont particulièrement vulnérables au changement climatique car elles ont tendance à ne pas être capables (ou moins aptes) d'accéder aux informations pertinentes sur les changements possibles du climat ou aux avertissements de phénomènes météorologiques imprévisibles. Ces communautés ont tendance à s'appuyer sur les indicateurs traditionnels de modèles climatiques et météorologiques, comme l'apparence des oiseaux migratoires, ou la floraison de certains arbres. Comme ces indicateurs deviennent de moins en moins fiables, les agriculteurs sont très vulnérables aux pertes de production. Par exemple, de fortes pluies survenant peu après la plantation emportent les semences du sol et les tempêtes de grêle peuvent détruire des cultures. D'autres sources d'information, comme les rapports des bureaux météorologiques, sont souvent inaccessibles à ces communautés en raison de mauvais canaux de communication, ou du fait que l'on ait échoué à donner la priorité aux besoins des plus pauvres.

Les impacts du changement climatique

Les écosystèmes

La capacité des écosystèmes à s'adapter naturellement au changement climatique est susceptible d'être fortement réduite au cours du siècle à venir. Ceci est dû à une combinaison sans précédent d'événements climatiques tels que de graves inondations et sécheresses, l'acidification des océans, et l'émergence de nouveaux parasites. Cela inclut également le changement d'utilisation des terres et la surexploitation des ressources naturelles due aux activités humaines (GIEC GT II, 2007; 213).

L'agriculture

L'activité agricole est très sensible au changement climatique, en grande partie parce qu'elle dépend de la biodiversité et des conditions environnementales. Des réserves d'eau douce suffisantes, un sol fertile, les justes équilibres entre prédateurs et polliniseurs, une température de l'air et des conditions météorologiques moyennes, contribuent au maintien de la productivité agricole. L'agriculture dépend directement des conditions environnementales, et les impacts du changement climatique sur l'agriculture sont de plus en plus évidents. Les changements dans les cycles de précipitations ont un impact direct sur les rendements agricoles puisque la disponibilité de l'eau baisse dans des zones déjà arides, tandis qu'elle est en excès (inondations) dans d'autres zones. Un climat plus chaud avec des changements dans les taux de précipitations affectera la production agricole dans de grandes parties de l'Amérique latine, de l'Asie et de l'Afrique. Certaines terres agricoles deviendront infertiles, les saisons de croissance vont changer et la productivité va diminuer, particulièrement en Afrique. Aux latitudes moyennes et hautes de l'hémisphère nord, des saisons de croissance plus longues pourraient avoir un effet positif sur les rendements des cultures (si les cycles de précipitations ne sont pas affectés négativement).

Les petits producteurs sont parmi les premiers à ressentir les effets du changement climatique en raison de leur plus grande dépendance face à l'environnement naturel. L'extrême variabilité climatique (sécheresse, inondations et gel) peut détruire les économies et le bien-être des familles rurales pauvres parce qu'il leur manque des technologies sociales, des mécanismes de protection sociale (comme les prestations sociales, l'assurance ou l'épargne) et ne dispose pas de protection adéquate pour leurs cultures et leurs animaux.

Tableau 2.1 Les impacts du changement climatique sur l'agriculture

Phénomène climatique	Impacts sur l'agriculture	Probabilité
Dans la plupart des zones terrestres, les jours et les nuits deviennent plus chauds (moins fréquemment froid et plus fréquemment très chaud)	Meilleures récoltes dans les environnements froids et mauvaises récoltes dans les environnements chauds; les insectes nuisibles deviennent plus fréquents	Presque certain
Vagues de chaleur plus fréquentes et plus de périodes chaudes	Appauvrissement des cultures dans les régions chaudes en raison de fortes pressions thermiques; risque accru de feux de forêt incontrôlables. Dans les zones climatiques froides des montagnes, des rendements plus importants	Très probable
Précipitations intenses plus fréquentes dans la plupart des régions	Dégâts aux cultures, érosion des sols, incapacité de cultiver la terre en raison d'engorgement d'eau	Très probable
Augmentation des zones touchées par la sécheresse	Baisse des rendements, dégâts aux cultures et mauvaise récolte. Pertes importantes de bétail; augmentation du risque de feux de brousse incontrôlables	Probable
Augmentation de l'intensité des cyclones tropicaux	Dégâts aux cultures, déracinement d'arbres, dommages aux récifs coralliens	Probable

Source: basé sur IPCC WG II, 2007; 13

Le changement des quantités et des types de précipitations met déjà les agriculteurs dans une situation difficile. Il est très probable que les précipitations augmenteront dans les hautes latitudes tandis qu'elles diminueront probablement dans la plupart des régions subtropicales, suivant l'évolution observée récemment; il est prévu que d'ici le milieu du siècle, le ruissellement annuel des rivières et la disponibilité de l'eau augmenteront dans les hautes latitudes (et dans certaines zones tropicales humides), alors qu'ils diminueront dans certaines régions sèches et dans les régions tropicales (GIEC GT II, 2007; 8-9).

Sécurité alimentaire

Le changement climatique contribue, avec la surpopulation locale et la mauvaise gestion des terres, à la sous-alimentation et à la malnutrition d'environ 45 millions de personnes dans le monde en raison de la réduction des rendements des cultures céralières, des fruits, des légumes, du bétail et des produits laitiers, et des cultures commerciales comme le coton ou le poisson (GHF, 2009; 24). Les personnes pauvres, en particulier les enfants, les personnes âgées et les malades, souffrent de faim et de malnutrition lorsque les rendements de l'agriculture, de l'élevage et de la pêche baissent. En créant des conditions de croissance moins favorables, le changement climatique affecte la capacité des petits producteurs à produire suffisamment de nourriture. Beaucoup ne produisent pas assez pour nourrir leur familles et ce manque risque de les forcer à acheter de la nourriture au moment où les prix sur le marché sont élevés (GHF, 2009; 23).

La pauvreté

Les catastrophes climatiques et la désertification détruisent les moyens de subsistance des personnes pauvres lorsque leurs revenus dépendent de l'agriculture (surtout en ce qui concerne les agricultures vivrières), du tourisme et de la pêche. Les personnes pauvres n'ont souvent pas ou peu d'actifs ou d'économies sur lesquelles ils pourraient s'appuyer en cas de catastrophe (GHF, 2009; 34). On s'attend à ce que le changement climatique réduise le potentiel de gains des générations futures parce qu'il réduit les revenus familiaux actuels et augmente le nombre d'enfants souffrant de faim et augmente la main d'œuvre enfantine (réduction des possibilités d'éducation) (GHF, 2009; 36). En outre, de nombreuses personnes risquent de tomber dans la pauvreté en raison de leur incapacité à se remettre des catastrophes naturelles dues au changement climatique.

L'eau

De plus en plus de preuves laissent croire que les changements dans les cycles hydrologiques peuvent générer des sécheresses plus longues et des pluies plus intenses dans les régions humides, rendant les zones humides encore plus humides et les zones sèches encore plus arides (GHF, 2009; 40). Les changements dans les taux de précipitations et la disparition des glaciers se traduiront par une réduction considérable de la quantité et de la qualité de l'eau pour la consommation humaine et pour l'agriculture. Cela aura une incidence sur la production agricole et la sécurité alimentaire. L'élévation du niveau de la mer provoque l'intrusion d'eau salée dans les eaux souterraines et les cours d'eau douce et le réchauffement de l'eau accélérera davantage la pollution de l'eau (GHF, 2009; 40). La pénurie d'eau devrait devenir l'une des principales causes de conflit social dans le monde en développement. Les populations pauvres dans les zones rurales souffriront le plus du manque accru de l'eau, étant donné qu'ils parcourent déjà des distances considérables pour accéder à cette nécessité humaine de base.

Les déplacements des populations (involontaires, qu'ils soient permanents ou temporaires)

Il est difficile d'isoler l'influence du changement climatique sur les déplacements des populations car d'autres facteurs y contribuent tels que la pauvreté, la croissance de la population et des possibilités d'emploi. Cependant, il est évident que le changement climatique contribue au déplacement et à la migration des populations en raison des catastrophes climatiques qui détruisent les maisons et les habitats et du fait des effets environnementaux tels que la hausse du niveau des mers ou la désertification (GHF, 2009; 46).

La sécurité

Les personnes pauvres sont les plus vulnérables face aux conflits liés aux ressources car ils résident souvent dans des zones où les ressources naturelles sont rares et les institutions faibles. Le changement climatique intensifie les tendances environnementales négatives comme la désertification, la salinisation des sols et la pénurie d'eau, ce qui contribue à la pénurie des ressources (nourriture, eau potable pour les hommes et le bétail, produits agricoles). Ceci conduit à une concurrence plus féroce pour l'accès à la nourriture, à la terre et à l'eau, et crée des situations propices aux conflits (GHF, 2009; 53).

L'aide au développement

Le changement climatique affecte considérablement l'aide au développement et l'aide humanitaire fournies par la communauté internationale (GHF, 2009; 66). Étant donné que le changement climatique affecte encore plus les personnes pauvres, il menace sérieusement l'atteinte des Objectifs du Millénaire pour le développement (OMD)². Les extrêmes climatiques (canicules, sécheresses, inondations, pluies torrentielles) sont particulièrement dangereux pour la production agricole, non seulement au niveau local, mais aussi au niveau régional, affectant ainsi les prix alimentaires sur le marché international, ce qui a un impact direct sur les populations pauvres.

La vulnérabilité face au changement climatique

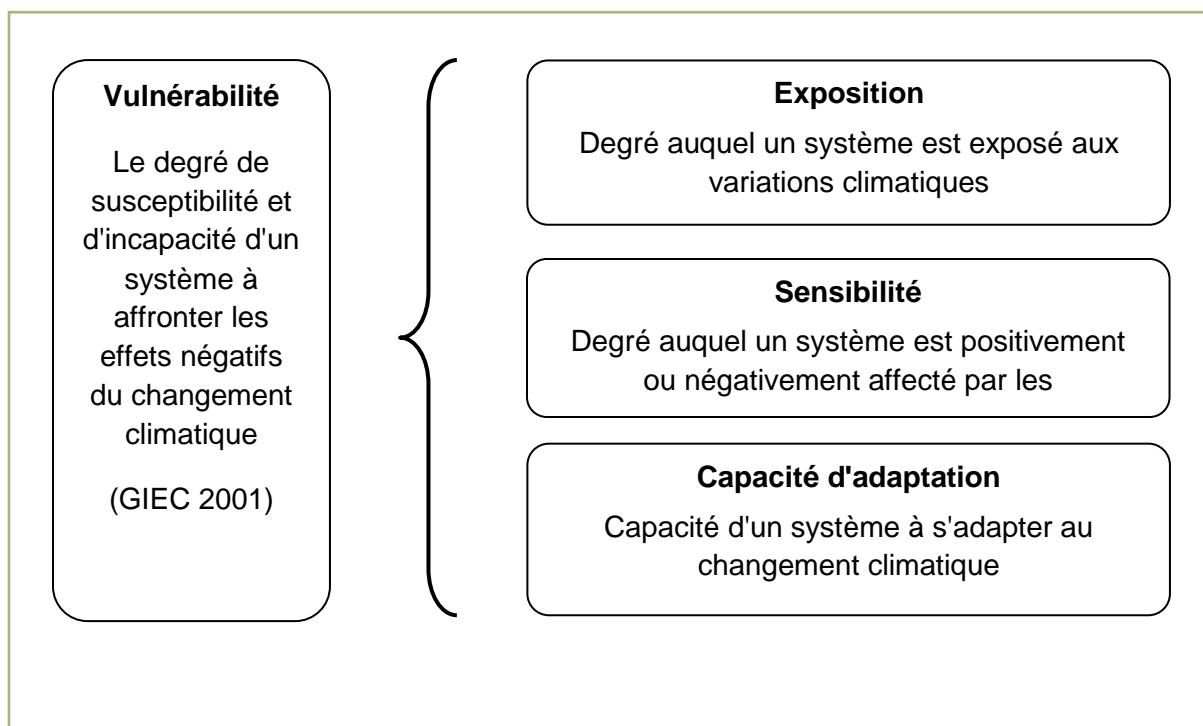
La vulnérabilité face au changement climatique d'un secteur ou les activités de subsistance des familles peuvent être regroupées selon trois aspects (voir Figure 2.2):

- L'exposition au changement climatique, c'est-à-dire à quel niveau le climat devrait changer. Cette information provient généralement des modèles climatiques, qui indiquent non seulement les éventuels changements de températures et de précipitations, mais aussi le nombre de jours prévus avec des températures extrêmement élevées ou basses et, dans certains cas, des différences dans la répartition des précipitations. Dans les zones côtières, on s'attendra à ce que le changement concerne l'élévation du niveau de la mer.
- La sensibilité au changement climatique est le degré auquel les activités de subsistance ou de production sont susceptibles d'être affectées. Le climat peut évoluer mais cela n'affectera probablement pas beaucoup les activités de subsistance des populations urbaines, tandis que pour les agriculteurs, ces changements peuvent être d'une importance capitale. Tout comme l'élévation du niveau de la mer est extrêmement importante pour la communauté côtière et l'est moins pour ceux vivant sur une falaise. Néanmoins, la sensibilité peut être considérablement affectée par le niveau des ressources qu'une famille a à sa disposition; pour les familles rurales, même si elles dépendent toute de l'agriculture, la vulnérabilité au changement climatique est généralement beaucoup plus importante pour ceux qui ont le moins de moyens de subsistance.

- La capacité d'adaptation d'une famille ou d'un secteur est également importante. Ainsi une famille peut très bien être très exposée au changement climatique à un moment donné, si elle a une bonne capacité d'adaptation, sa vulnérabilité peut ne pas être très élevée. Si une famille habituée à la culture du maïs possède aussi de l'expérience dans la production de sorgho pendant les années plus sèches, elle est mieux préparée à faire un changement plus permanent si les conditions l'exigent. Encore une fois, la capacité à s'adapter varie considérablement d'une famille à une autre, même au sein d'une même communauté. Les caractéristiques les plus importantes pour la capacité d'adaptation sont la connaissance humaine et l'accès aux institutions sociales où cette connaissance peut être partagée.

Ce cadre a été utilisé pour comprendre la nature de la vulnérabilité des familles rurales. Il peut aider les organisations à identifier et hiérarchiser les investissements visant à diminuer la sensibilité au changement climatique ou à augmenter la capacité d'adaptation des familles et de leurs organisations (Hahn et al 2009).

Figure 2.2 La vulnérabilité au changement climatique subdivisée en trois éléments qui la composent: l'exposition, la sensibilité et la capacité d'adaptation



Source: Basé sur GIEC, 2001

Adaptation au changement climatique

L'adaptation au changement climatique est un ajustement des systèmes naturels ou des systèmes humains en réponse à des stimuli climatiques réels ou prévus ou à leurs effets, afin d'en atténuer les inconvénients ou d'en exploiter les avantages (IPCC WG II, 2007)

L'adaptation peut prévenir les risques futurs, réduire les effets défavorables actuels et peut se référer à une action individuelle ou collective (GHF, 2009; 69). Dans de nombreux cas, le changement climatique cause une augmentation de la variabilité climatique et entraîne des événements climatiques plus extrêmes qui affectent directement l'agriculture. La résilience à la variation et à l'inattendu, ainsi que la capacité de s'accorder à un monde en mutation, sont donc les pierres angulaires de l'adaptation.

La capacité de s'adapter est définie comme « la capacité d'un système à s'adapter au changement climatique (notamment à la variabilité du climat et aux phénomènes extrêmes) afin d'atténuer les dommages potentiels, de tirer parti des opportunités qui se présentent, ou de faire face aux conséquences » (IPCC, 2001). La capacité d'adaptation des individus, des ménages et des communautés est façonnée par leur accès aux ressources naturelles, humaines, sociales, physiques et financières, et à leur contrôle (CARE 2010).

Tableau 2.2 Exemples de ressources affectant la capacité d'adaptation

Humaines	Connaissance des risques climatiques, conservation des connaissances sur l'agriculture, la santé afin de garantir la capacité de travailler
Sociales	Épargne et crédit des groupes de femmes, organisations d'agriculteurs, protection sociale traditionnelle et institutions de soutien social
Physiques	Infrastructures d'irrigation, installations de stockage de semences et de céréales
Naturelles	Ressources sûres en eau, terres productives, végétation et arbres
Financières	Micro-crédits, sources de revenus diversifiées

Source: CARE, 2010; 11

Les facteurs individuels et sociaux déterminent la vulnérabilité et la capacité à s'adapter aux effets du changement climatique (GHF, 2009; 3). L'adaptation implique le renforcement des capacités (qui incluent les compétences, les technologies, la construction de plus fortes institutions et la promotion de l'équité sociale) et le renforcement des activités de subsistance pour la réduction de la pauvreté. L'adaptation au changement climatique doit tenir compte de l'incertitude en s'assurant que les moyens de subsistance (et donc aussi les écosystèmes) maintiennent, voire améliorent, les capacités de répondre à des événements inattendus. Prendre en compte les risques et la vulnérabilité des personnes pauvres vivant dans des endroits précaires et qui ont besoin de renforcer leur résilience face aux fluctuations climatiques, représente un des défis les plus importants dans l'adaptation au changement climatique (FAO, 2007; 17).

Les personnes dont les moyens de subsistance dépendent de l'agriculture ont développé des façons de faire face à la variabilité du climat mais la vitesse actuelle du changement climatique va les confronter à des situations qu'ils ne sont pas préparés à affronter (FAO, 2008: 3). L'adaptation anticipative et planifiée est une solution immédiate mais il ne faut pas perdre de vue que les vulnérabilités sont principalement locales et que, par conséquent, l'adaptation devrait être très spécifique à un endroit donné (idem). En ce sens, l'adaptation doit être comprise comme un processus par lequel les communautés accèdent aux ressources et à l'information et développent leurs capacités à façonner leur vie et leurs activités de subsistance au rythme de l'évolution de leur environnement. La nature continue du changement climatique et l'inhérente incertitude dans les projections météorologiques et climatiques nécessitent une approche qui permet le renforcement des capacités des communautés. Ceci comprend le renforcement de leurs capacités ainsi que leur possibilité de jouer un rôle éclairé dans la prise de décision sur les technologies et stratégies appropriées à leurs besoins, pour lesquelles des ressources sont nécessaires et doivent être mises à disposition à un moment donné (Ensor et Berger, 2009a). S'il existe un scénario de changement climatique est très probable, des mesures spécifiques peuvent être mises en œuvre, comme la construction de logements résistants aux inondations par exemple. Si le scénario est peu probable, la mise en place de mesures fortes - dites « sans regrets » - seront plus appropriées. Ces mesures génèrent des avantages sociaux nets pour n'importe quel scénario de changement climatique possible, en mettant l'accent sur la réduction de la vulnérabilité, tout en renforçant la capacité des communautés à s'adapter en suivant un modèle de développement durable (Ensor, 2009).

Il existe aussi des pratiques de développement qui constituent de mauvais exemples d'adaptation car ils augmentent la vulnérabilité. Par exemple, le fait de planifier sans tenir compte des risques, les projets mal conçus ou mal exécutés, des concentrations de populations implantées sur des terrains sujets aux catastrophes, une insécurité alimentaire, le manque de services de base (santé, eau, assainissement, éducation), l'accès limité au logement, des logements insalubres, la pauvreté qui limite la capacité de se remettre d'une catastrophe, des mécanismes de protection sociale insuffisants, trop peu d'information sur les risques, et une participation insuffisante.

La gestion des risques de catastrophes

La gestion des risques de catastrophes est le processus d'adoption de politiques, de stratégies et de pratiques orientées vers la réduction du niveau de risque ou de minimisation de ses effets. Il existe trois types de gestion de risques: (i) gestion prospective/préventive, pour éviter de nouvelles situations de risque, (ii) gestion corrective, orientée vers la réduction des risques existants, et (iii) la gestion réactive, axée sur la préparation et la réponse aux catastrophes. Dans l'agriculture, les programmes de gestion de risques ont été mis en œuvre pour limiter les impacts sur la production, réduisant ainsi les pénuries alimentaires persistantes et la prévention des famines généralisées. Les programmes comprennent les systèmes d'alerte précoce, le développement d'infrastructures, les mesures de protection sociale, la sensibilisation, l'éducation et la formation au risque, ainsi que la gestion de l'environnement (IDS, 2009: 13).

Le changement climatique entraîne des risques et contraintes (tels que les sécheresses ou les inondations), qui exigent des actions similaires à celles décrites dans l'approche de la gestion des catastrophes. En outre, 10 pour cent des décès liés au changement climatique sont dus aux catastrophes (GHF, 2009). Il existe donc un consensus général sur la nécessité d'intégrer la gestion des risques aux approches d'adaptation au changement climatique (Venton et La Trobe 2008: 4).

Technologie

La technologie est un élément vital pour les activités de subsistance. Elle comprend les infrastructures physiques, les machines, les équipements (matériel), les connaissances, les compétences et la capacité d'organiser et d'utiliser tout cela (orgware); elle comprend également la technologie biologique utilisée dans la production agricole. La technologie biologique combinée aux progrès dans la nutrition et la protection des plantes (comme les pesticides), l'équipement (hardware) et les connaissances (logiciel) ont été le principal moteur de l'augmentation de la productivité.

Il est important d'avoir une définition de la technologie axée ou centrée sur les personnes. Les améliorations des technologies peuvent avoir de nombreux effets positifs pour les activités de subsistance des populations pauvres. Elles peuvent réduire les coûts, elles peuvent améliorer la qualité et la quantité de la production, par exemple de meilleures semences ou de meilleures techniques de culture. Elles peuvent aussi aider les gens à accéder à de nouveaux marchés, par exemple grâce à la téléphonie mobile ou l'accès à Internet qui peuvent fournir de l'information relative aux marchés. Les technologies peuvent également être utilisées pour réduire les risques. Elles peuvent protéger les personnes ou leurs biens contre les dangers potentiels. Par exemple, les constructions en hauteur des logements ou de barrages peuvent offrir une protection contre les inondations, et les vaccinations peuvent protéger les personnes et les animaux contre les risques de santé. Elles peuvent également être utilisées pour améliorer l'alerte précoce des risques, ou pour les activités d'intervention réduisant l'impact des risques (par exemple les bateaux et gilets de sauvetage).

Ce livret définit le terme technologie au sens large. Il comprend le matériel, les logiciels et l'orgware. Ces technologies sont complémentaires à la technologie biologique utilisée par les producteurs pour leurs activités agricoles.

- **Les technologies « dures » (hardware)** se réfèrent aux aspects tangibles tels que les objets manufacturés, les machines, l'équipement et les outils nécessaires pour produire des biens ou des services, comme par exemple un système d'arrosage.
- **Les technologies immatérielles (software)** font référence aux processus associés à la production et à l'utilisation du matériel. Cela inclut le savoir-faire (tels que les manuels), l'expérience et les pratiques (agricoles, gestion, cuisine et pratiques comportementales). Elles englobent également les techniques de sensibilisation, y compris l'éducation et la formation, comme par exemple le renforcement des capacités en santé animale
- **Les technologies organisationnelles (orgware)** se réfèrent au cadre institutionnel, ou à l'organisation impliquée dans le processus de diffusion d'une nouvelle technologie. L'orgware se concentre sur l'appropriation des technologies par les communautés et les organisations responsables de la mise en œuvre des processus d'adaptation. Un exemple est la création des comités d'usagers de l'eau.

Des technologies appropriées peuvent aider les producteurs à surmonter les contraintes physiques et environnementales des zones exposées, et ainsi améliorer la productivité et leurs revenus, et les aider à s'adapter au changement climatique. Les technologies définies comme étant appropriées, sont celles qui peuvent être gérées et entretenues par les communautés sur le long terme, et qui intègrent les principes de durabilité environnementale, économique et sociale. Lorsque les producteurs ont accès à un plus grand choix de technologies appropriées, qu'elles soient modernes ou traditionnelles, locales ou introduites, ils sont capables d'innover et d'améliorer leurs pratiques.

Biotechnologie

La biotechnologie a été la base fondamentale du développement de l'agriculture à travers le monde. Elle a ses origines dans la première sélection de graines sauvages pour semer des plantes à rendement plus élevé et dans la sélection des premiers animaux domestiqués. Au cours du dernier siècle, le développement de la biotechnologie a été pris en charge par une recherche scientifique qui lui est spécialement dédiée. Ces recherches scientifiques nous ont permis d'être capables de manipuler les gènes qui déterminent la nature des plantes que les agriculteurs cultivent et des animaux qu'ils élèvent.

La biotechnologie ne sert pas seulement à créer des organismes transgéniques qui ont eu l'ADN d'un autre organisme introduit dans leur ADN. Cela est probablement même la forme la moins courante de la biotechnologie. Jusqu'à maintenant, les avancées les plus pertinentes en biotechnologie ont probablement été réalisées dans le domaine de la création de plantes résistantes aux parasites et aux maladies, dont les impacts sont très controversés. Une deuxième forme de modification génétique réprime l'expression de certains gènes dans le génome de la plante. Cela peut conduire à une amélioration des caractéristiques de résistance à la sécheresse, à une production plus intense de vitamines, etc. Enfin, la biotechnologie peut être utilisée pour identifier plus rapidement les substances dans les programmes de sélection traditionnels (également la modification génétique) et augmenter la liste des substances que l'on connaît comme ayant des caractéristiques génétiques de résistance aux parasites, qui existent naturellement dans la population mais qui sont difficiles à séparer puis à combiner avec les autres caractéristiques pour que la reproduction soit possible. C'est probablement l'utilisation la plus commune de la biotechnologie – accélérer les processus de sélection « traditionnelle » du génome de la plante.

Les plantes résistantes au virus africain de la mosaïque du manioc plantées en Afrique de l'Est ont sauvé des millions de personnes de la famine. Ces plantes résistantes ont été identifiées grâce à la biotechnologie, mais ne sont pas des organismes génétiquement modifiés (OGM). Le virus de la maladie striée du manioc est actuellement responsable de problèmes similaires et la biotechnologie est employée pour accélérer le processus d'identification des substances naturellement résistantes. D'autres types de recherches biologiques comprennent l'identification et la production de phéromones pour piéger les mouches tsétsé, ou la propagation de virus qui sont apparus de manière naturelle afin de contrôler l'expansion des chenilles légionnaires en Afrique. Aucune de ces recherches n'est associée à une quelconque propriété intellectuelle qui limiterait l'accès pour les petits producteurs, puisqu'elles ont été réalisées par des instituts publics. Néanmoins, le passage généralisé du financement de la recherche agronomique du secteur public vers le secteur privé a conduit à un certain degré de commercialisation de la biotechnologie. Ce développement commercial signifie que les intérêts des petits agriculteurs et des pays en développement sont souvent délaissés car l'accès à ces technologies dépend maintenant des conditions fixées par les sociétés commerciales. Le potentiel et les limites de la biotechnologie seront examinés plus en détail dans le chapitre 4.

2.2 Les systèmes de production agricole

Les systèmes de production agricole ont évolué au fil du temps, et ce de diverses façons. Leur évolution a été une réponse à une série de facteurs interdépendants liés à la production, à la consommation, au commerce et à la politique. Les systèmes de production agricole font partie intégrante des contextes économiques, sociaux, environnementaux, politiques et culturels. Ces contextes doivent clairement être compris et maîtrisés avant que l'on puisse discuter des options possibles pour l'adaptation au changement climatique. Une multitude de systèmes existent dans le monde entier: de la polyculture, à la monoculture, en passant par l'aquaculture, l'agroforesterie ou encore l'élevage (Dixon et al, 2001). Les trois grandes catégories de la production agricole comprennent:

Les systèmes traditionnels

Les systèmes traditionnels comprennent les formes indigènes de l'agriculture de subsistance et les petites productions commerciales. Globalement, l'approvisionnement alimentaire est dominé par l'agriculture à petite échelle (IAAST, 2009). On estime que 70 pour cent de la population mondiale (près de 4,7 milliards de personnes) sont nourris grâce aux aliments produits localement, principalement par l'agriculture à petite échelle, la pêche ou l'élevage (ETC Group, 2009). Les petits producteurs produisent près de 80 pour cent de la nourriture disponible sur les marchés régionaux en Afrique et en Asie (Vermeulen, 2010). En Amérique latine, la contribution de l'agriculture traditionnelle à petite échelle est également importante. Les données nationales du Brésil, de la Bolivie et de l'Équateur montrent que 60 à 80 pour cent des aliments de base et plus de 50 pour cent des produits laitiers et carnés proviennent des petites exploitations familiales (Schejtman, 2010). 85 pour cent des fermes du monde ont moins de 2 hectares, et sont exploitées par les familles et les peuples autochtones. Le renforcement des moyens de subsistance des populations rurales est intrinsèquement lié à la réduction de la pauvreté et constitue donc un domaine clé pour l'application des stratégies d'adaptation au changement climatique.

Ces systèmes traditionnels sont mis en œuvre avec les moyens de base disponibles localement, tels que le travail familial, le bétail indigène, les espèces végétales locales, ou l'engrais organique. La connaissance traditionnelle autour des pratiques agricoles est très importante et elle est généralement transmise de génération en génération et améliorée et adaptée en fonction des changements des conditions locales. Il est largement admis que les connaissances autochtones sont une importante ressource, complémentaire aux connaissances scientifiques. Un des traits saillants des systèmes traditionnels est le niveau élevé de biodiversité. Les fermes riches en biodiversité rassemblent les organismes clés qui, combinés, peuvent promouvoir et améliorer les services fournis par les écosystèmes qui jouent un rôle important dans la performance des agroécosystèmes. Bien qu'il existe une grande variété de ces fermes dans le monde, elles ont néanmoins des caractéristiques communes, comme ceci est indiqué dans l'encadré 2.1.

Encadré 2.1 Les caractéristiques communes des agricultures bio-diversifiées

- Elles combinent les espèces et la diversité structurelle dans le temps et dans l'espace grâce à une organisation verticale et horizontale des cultures
- Une biodiversité élevée des plantes, des animaux et des microbes, inhérente à leurs systèmes, ce qui favorise la production, et génère le recyclage biologique des nutriments
- Elles exploitent toute sorte de microenvironnements d'un champs ou d'une région; ceux-ci diffèrent quant à leur sol, à leur approvisionnement en eau, leur température, leur altitude, le degré de la pente, leur isolement et leur fertilité
- Elles maintiennent les cycles des matières et des déchets grâce à des pratiques de recyclage efficaces
- Elles s'appuient sur des interdépendances biologiques qui offrent un certain niveau de suppression naturelle des parasites
- Elles s'appuient sur les ressources locales ainsi que sur l'énergie humaine et animale, et utilisent peu de technologie moderne
- Elles s'appuient sur des variétés locales des cultures et intègrent des plantes et animaux sauvages. La production est généralement destinée à la consommation locale

Source: Altieri et Koohafkan, 2008

Grâce à une utilisation inventive des connaissances empiriques et des ressources disponibles localement, certains agriculteurs traditionnels ont pu développer des systèmes agricoles avec des rendements durables (Harwood, 1979). Les pratiques intègrent souvent une gestion prudente des ressources naturelles et des connaissances locales du climat, de la faune et de la flore, ainsi qu'une relation spirituelle ou religieuse avec la terre. Cependant, certains systèmes agricoles locaux ne peuvent pas fonctionner de manière viable lorsque les pressions internes et externes qui sont exercées sur eux changent. Des exemples de pratiques d'agriculture traditionnelle incluent la diversification et la rotation des cultures, le terrassement, et un travail du sol minimal (Grigg, 1974, Brosse, 1986; Richards, 1985). Les pratiques comprennent également l'agriculture itinérante et les pratiques de défriche-brûlis, pratiques dont la durabilité est remise en cause avec l'augmentation de la population.

Figure 2.3 Pratiques agricoles traditionnelles



(1) Producteurs autochtones de pommes de terre dans les Andes péruviennes

Source: Practical Action



(2) Garçons conduisant un troupeau de chèvres au Kenya

Source: John Young, Practical Action

Les systèmes agricoles traditionnels ont généralement lieu sur des petits lopins de terre et en utilisant une technologie de base. Le niveau de productivité est généralement faible. Cependant, la recherche montre que les petites exploitations peuvent être beaucoup plus productives que les grandes exploitations agricoles, si la production totale est prise en compte plutôt que le rendement d'une seule culture (FIDA, 2002; Altieri, 2009). Il existe un potentiel considérable pour améliorer la productivité et l'efficacité grâce à l'utilisation de technologies et d'innovations appropriées (IAAST, 2009). Les systèmes traditionnels ont moins bénéficié d'investissements ou de recherches de la part de l'État ou du secteur privé. Dans de nombreux cas, les populations autochtones ont vu leurs systèmes traditionnels s'effondrer en raison de la pression exercée par la croissance démographique et de son impact sur l'accès à la terre (IAAST, 2009; Chang, 1977; Grigg, 1974).

Les systèmes industriels

Ces systèmes visent à intensifier la production, optimiser les rendements et réduire les coûts afin de maximiser la compétitivité sur les marchés régionaux, nationaux et mondiaux. Ils sont caractérisés par des apports élevés de capital et une dépendance importante envers des technologies telles que les pesticides, l'irrigation, les machines ou les engrains chimiques. L'agriculture industrielle suppose souvent la production d'une seule culture, ou « monoculture », sur une large zone. Ces systèmes utilisent des technologies agricoles de la « révolution verte » qui ont été développées dans les années 1980 et 1990. Ces technologies utilisent des variétés améliorées qui ont besoin de niveaux élevés d'engrais et d'irrigation. Les monocultures sont généralement constituées de variétés uniques qui ont été cultivées pour générer un rendement important et elles sont résistantes à certaines des maladies les plus courantes. Des rendements plus élevés peuvent être atteints et les méthodes de plantation, d'entretien et de récolte peuvent être standardisées. L'application de ce système de production a le mérite d'être à l'origine des augmentations substantielles dans la production alimentaire de ces 3 ou 4 dernières décennies, augmentations qui ont permis de nourrir la population mondiale qui a connu une croissance tellement rapide. Néanmoins, les monocultures sont peut-être plus vulnérables aux mutations du climat et les systèmes agricoles trop simplistes sont susceptibles d'être moins en mesure de faire face au changement climatique (Fraser, 2007; Cotter et Tirado, 2008).

En raison des importants investissements nécessaires, l'agriculture industrielle est très répandue dans les pays développés, mais très limitée dans les pays en développement, surtout en Afrique. La mécanisation n'a pu être introduite que dans certains pays en développement et, même là où elle est présente, elle n'est accessible qu'à quelques acteurs qui ont le capital nécessaire ou qui ont accès au crédit (Mazoyer, 2001). La durabilité du système industriel de production agricole s'appuie sur des technologies et méthodes qui ont progressivement, mais continuellement, produit des impacts négatifs sur l'environnement, tels que la désertification, la déforestation, la pollution des eaux, et la perte de la biodiversité végétale et animale (PNUE, 2010). Le défi pour l'avenir est de maintenir des niveaux élevés de production avec moins d'impacts négatifs sur l'environnement, et de créer des systèmes qui sont moins dépendants d'apports externes dont la disponibilité dépend d'un prix bas du pétrole. Certains proposent que la biotechnologie augmente l'efficacité des systèmes agricoles à forte productivité en créant des cultures qui seraient plus productives dans des conditions plus limitatives (disponibilité limitée de nutriments et d'eau), ou qui seraient plus résistantes aux ravageurs et aux maladies, ce qui réduirait la nécessité d'utiliser des pesticides.

Les systèmes agro-écologiques

L'approche agro-écologique fournit une gamme de pratiques productives et durables qui limitent les impacts négatifs sur l'environnement et la société, tout en cherchant à maintenir la productivité (Ensor, 2009; De

Schutter, 2010; IAASTD, 2008; FAO, 2008a; Altieri et Nicholls, 2005; ADRD, 2007). L'agro-écologie englobe une gamme de systèmes agricoles qui utilisent la compréhension des systèmes environnementaux sur lesquels ils peuvent s'appuyer et grâce auxquels ils peuvent également reconstituer les ressources naturelles. Dans cette approche, l'accent est mis sur la globalité du système écologique afin que celui-ci génère des environnements qui sont productifs et qui conservent naturellement les ressources, tout en étant socialement durables: sensibles à la culture, socialement justes et économiquement viables (Ensor, 2009). L'agro-écologie utilise à la fois les connaissances agricoles traditionnelles et des technologies modernes sélectionnées pour gérer la biodiversité, intégrer les principes et les ressources biologiques dans les systèmes agricoles, et intensifier la production. Elle offre un moyen pratique pour restaurer les terres agricoles qui ont été dégradées, et fournit un moyen abordable pour les petits producteurs pour intensifier la production dans les zones marginales (Altieri et al, 1998). Selon un récent rapport présenté par le Rapporteur Spécial sur le droit à l'alimentation, Olivier De Schutter (2010), l'agro-écologie « ne montre pas seulement de forts liens conceptuels avec le droit à l'alimentation, mais a démontré des résultats et des progrès rapides dans la concrétisation de ce droit pour de nombreux groupes vulnérables de divers pays et environnements. En outre, l'agro-écologie offre des avantages qui sont complémentaires aux approches conventionnelles que l'on connaît mieux, telles que la sélection de variétés à haut rendement. Elle contribue aussi beaucoup au développement économique au sens large ».

Le rapport affirme également que l'agro-écologie est désormais largement utilisée comme une stratégie clé pour améliorer la résilience et la durabilité des systèmes de production alimentaire. Ses partisans comprennent la communauté scientifique (IAAST, 2008) ainsi que les institutions et organisations internationales comme l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO, 2008a), le PNUE (Altieri et Nicholls, 2005) ou « Biodiversity International » (ADRD, 2007). Sur la base de ce consensus, ce livret fournit des informations sur une série de technologies qui peut être mise en œuvre pour parvenir à une production alimentaire durable dans le contexte du changement climatique. La transition des systèmes de production agricole est un processus à long terme qui présente des défis - agronomiques, économiques et éducatifs. À l'heure actuelle, il n'y a aucun effort concerté ou investissement dans les approches écologiques. La pratique et la réussite de l'agriculture agro-écologique à grande échelle nécessitent le soutien des institutions de recherche dédiées aux méthodes agro-écologiques de la fertilité et de la lutte antiparasitaire, mais aussi un système d'extension fort, l'engagement des gouvernements et le soutien des consommateurs (Badgleyetal, 2006)

L'agriculture agro-écologique et le changement climatique

L'étude d'Altieri et Koohafkan (2008) sur l'agriculture agro-écologique traditionnelle à petite échelle offre des exemples de pratiques et de méthodes classiques qui renforcent la résilience face au changement climatique. Elles sont résumées dans l'encadré 2.2.

Encadré 2.2 Les approches agro-écologiques qui renforcent la résilience

Les systèmes complexes: Dans les agroécosystèmes traditionnels, la prévalence de cultures diversifiées est d'une importance cruciale pour la stabilité des systèmes agricoles des paysans, car elles permettent aux cultures de parvenir à des niveaux de productivité acceptables dans des milieux environnementaux sous pression. En général, les agroécosystèmes traditionnels sont moins vulnérables à la perte catastrophique, car ils poussent un large éventail de cultures et de variétés dans différents arrangements spatiaux et temporels.

Utilisation de la diversité génétique locale: Dans la plupart des cas, les agriculteurs maintiennent la diversité pour se protéger des changements environnementaux futurs, ou pour répondre à des besoins sociaux et économiques. L'existence de la diversité génétique a une importance particulière pour le maintien et l'amélioration de la productivité des petits systèmes agricoles, et fournit également une sécurité aux agriculteurs contre les maladies, en particulier les agents pathogènes, qui peuvent être renforcés par le changement climatique. Grâce au mélange de variétés de cultures, les agriculteurs peuvent retarder l'apparition de maladies en réduisant la propagation d'organismes porteurs de maladies, et en modifiant les conditions environnementales, afin qu'elles soient moins favorables à la propagation de certains pathogènes.

Enrichissement des sols en matière organique: Partout dans le monde, les petits agriculteurs utilisent des pratiques telles que la rotation des cultures, le compostage, les engrangements verts, les cultures de couverture et l'agroforesterie. Ce sont toutes les pratiques qui augmentent la production de biomasse et qui par conséquent accumulent de manière active la matière organique. Les systèmes de gestion des sols qui maintiennent des niveaux de matière organique des sols sont essentiels à la productivité des systèmes agricoles dans les zones fréquemment touchées par des sécheresses.

Polyculture: Des études indiquent que plus les communautés végétales sont diverses, plus elles sont résistantes aux perturbations environnementales. Les cultures intercalaires, qui cassent la structure de la monoculture, apportent des avantages en matière de lutte antiparasitaire, de contrôle des mauvaises herbes, de réduction de l'érosion éolienne, et pour d'une meilleure infiltration de l'eau.

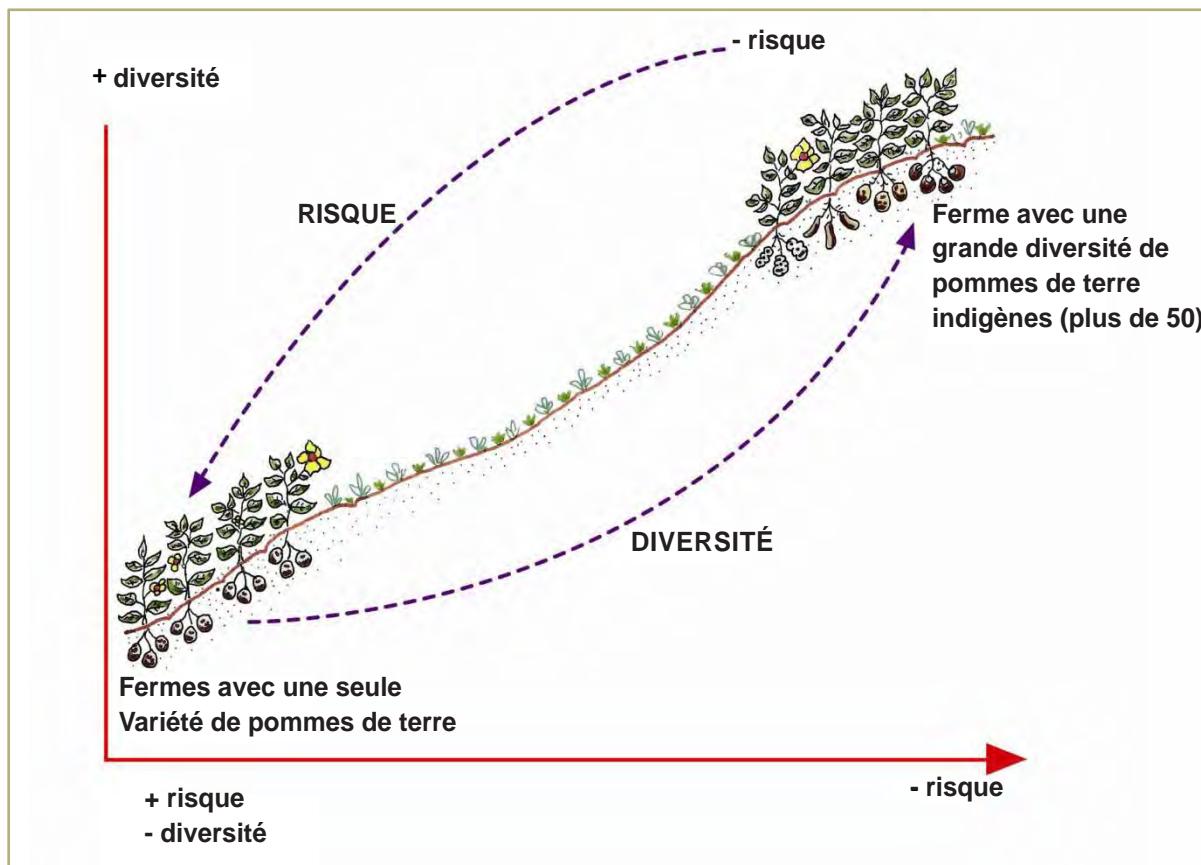
Systèmes agroforestiers et paillage: Beaucoup d'agriculteurs produisent des cultures dans des conceptions agroforestières et font pousser des arbres d'ombrage pour protéger les plantes cultivées contre les extrêmes du microclimat et les fluctuations relatives à l'humidité du sol. Les agriculteurs influencent le microclimat en conservant et en plantant des arbres qui réduisent la température, la vitesse du vent, l'évaporation, l'exposition directe aux rayons du soleil, et interceptent la grêle et la pluie. Il est internationalement reconnu que les systèmes agroforestiers contribuent à la fois à protéger les agriculteurs contre la variabilité du climat et la modification des climats, et à réduire les charges atmosphériques de gaz à effet de serre grâce à leur fort potentiel de séquestration du carbone.

Jardinage domestique: le jardinage domestique est un terme employé pour décrire la culture sur de petites parcelles, utilisées pour cultiver de la nourriture près de la maison ou de la zone d'habitation. Les cultures sont fertilisées avec les déchets ménagers et sont très diversifiées en espèces végétales, en gardant en général 30 à 100 espèces différentes. Cette pratique permet une diversification des espèces cultivées et est importante économiquement parlant en raison de sa valeur nutritive (alimentation équilibrée) et de sa valeur médicinale pour les ménages. L'agriculteur gagne ainsi des produits alimentaires, du bois de chauffage, des plantes médicinales, des épices, et des revenus tout au long de l'année. Ces systèmes autonomes sont écologiquement et économiquement très efficaces.

Source: adaptée d'Altieri et Koohafkan (2008) et Altieri, M.A. (2002)

Les risques qui affectent les cultures et les animaux sont principalement liés à une perte totale ou importante des récoltes ou du bétail due aux ravageurs, aux maladies, aux événements climatiques défavorables et à la perte ou à la réduction de la biodiversité. De nombreuses recherches en agriculture ont démontré qu'il existe une corrélation inversement proportionnelle entre la diversité biologique dans les écosystèmes agricoles et les risques. Cela signifie que plus les systèmes sont diverses, moins on a de risques (Altieri et Nicholls, 2009; Ensor, 2009) (Figure 2.4). La biodiversité dans toutes ses composantes (par exemple les gènes, les espèces et les écosystèmes) augmente la résilience aux changements environnementaux, la présence de populations génétiquement diverses et les écosystèmes riches en espèces ont un plus grand potentiel d'adaptation au changement climatique (FAO, 2007; 9).

Figure 2.4 Relation entre l'agro-biodiversité de la culture de pommes de terre et les risques



Source: Torres and Gómez, 2008

Les écosystèmes diversifiés ont des fonctions régulatrices qui leur permettent de s'adapter à des conditions toujours changeantes. Par exemple, les sols sains contiennent une grande diversité de biotes du sol. Ils sont plus efficaces pour absorber et retenir l'humidité, et sont donc mieux adaptés à faire face à un climat plus sec ou à des précipitations intenses. Les écosystèmes diversifiés sont plus résistants face à des parasites émergents ou à une augmentation du nombre de ravageurs. De même, une production vivrière construite autour de la diversité des espèces pourra plus facilement faire des ajustements graduels concernant la stratégie de sélection des cultures ou des espèces, en fonction des changements observés en matière de rendement et de qualité. Cependant, face à des conditions changeant lentement, il faut porter attention à la capacité d'adaptation est nécessaire, que cela soit celle des individus ou celle des communautés, afin

qu'ils puissent, en réponse à de nouveaux changements climatiques, apporter des modifications à leurs activités de subsistance ou leurs stratégies de subsistance. Cette composante créative et innovante de l'adaptation est essentielle pour les agriculteurs afin de faire face à l'incertitude et à la nature spécifique des impacts du changement climatique selon les régions. C'est un élément central de la pratique agro-écologique qui dépend de la capacité locale à gérer les ressources naturelles (Ensor, 2009).

Les technologies présentées dans ce livret respectent les principes de l'agro-écologie. Chacune de ces technologies présente une chance pour les petits producteurs ainsi que pour les grands producteurs commerciaux d'améliorer leur productivité, afin de répondre aux besoins futurs en matière de sécurité alimentaire et en matière d'approvisionnement alimentaire au niveau mondial, tout en favorisant une production durable, en renforçant la résilience agricole et en renforçant les capacités d'adaptation des communautés (Ensor, 2009).

2.3 Niveaux d'adaptation

L'adaptation au changement climatique comprend des initiatives et des mesures visant à réduire la vulnérabilité des systèmes humains et naturels face aux impacts réels ou attendus du changement climatique (GIEC GT II, 2007; 76). L'adaptation implique alors la mise en œuvre d'une gamme de stratégies qui comprennent la biotechnologie locale et introduite, les technologies dures (machines, équipements et outils), les technologies douces (connaissances, renforcement des capacités et sensibilisation) et les technologies d'organisation (renforcement des institutions et organisation des utilisateurs de ressources en associations).

Les technologies d'adaptation au changement climatique peuvent être développées et mises en œuvre à différents niveaux du contexte national:

- au niveau individuel ou du ménage
- au niveau de la communauté ou des collectivités locales
- au niveau des institutions intermédiaires
- au niveau du gouvernement national
- au niveau des institutions internationales

Adaptation au niveau individuel et des ménages

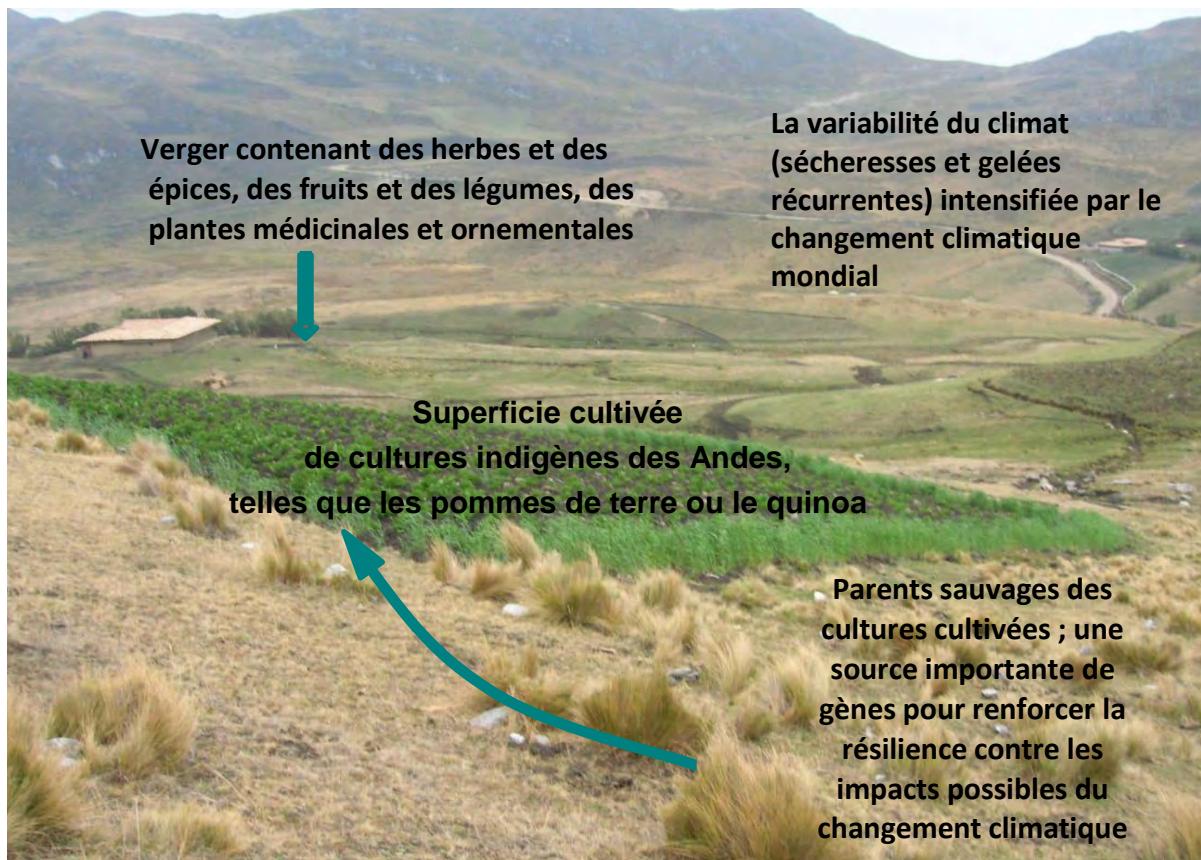
Dans le contexte de l'agriculture, les activités au niveau individuel/des ménages se rapportent aux technologies adoptées par les agriculteurs à petite échelle. Depuis des siècles, les petits exploitants agricoles ont développé, indépendamment les uns des autres, des systèmes de production agricole adaptés aux conditions climatiques, économiques et sociales locales (Altieri et Nicholls, 2009). Ces stratégies permettent de produire même dans des environnements fragiles, sur des petits lopins de terre, face à une variabilité imprévisible du climat et avec des intrants agricoles de base (outils et engrains). Bon nombre de ces stratégies sont étroitement liées à la diversité physique et biologique naturelle qui caractérise les écosystèmes. En général, les agroécosystèmes traditionnels et variés sont moins vulnérables aux larges pertes de récoltes. Tout d'abord, ils présentent une résistance aux chocs et au stress. Ceci s'explique par la nature saine des différentes composantes du système et par la capacité de ces systèmes à maintenir leur fonction en raison de l'interaction complexe de ces différentes composantes de l'écosystème. De tels systèmes savent par exemple mieux réguler l'impact des maladies et l'apparition de ravageurs, l'approvisionnement en éléments nutritifs ou le débit de l'eau. D'autre part, dans le cas d'un

événement climatique inattendu, la diversité des cultures (y compris des animaux et des poissons) agit comme un mécanisme de sécurité protégeant les moyens de subsistance, puisque chaque culture (de plantes, d'animaux ou de poissons) va réagir à sa façon aux différents scénarios climatiques. Alors que le froid peut affecter négativement le rendement d'une culture, la production d'une autre peut augmenter. La diversité permet donc de réduire les risques créés par la variabilité du climat qui est aggravée par le changement climatique.

Avec le soutien des gouvernements et de plusieurs ménages bien organisés, des exemples de stratégies d'adaptation agricole peuvent comprendre:

- l'adoption de pratiques agricoles résilientes au changement climatique (par exemple, en s'appuyant sur diverses cultures qui comprennent des variétés résistantes à la sécheresse ou la reproduction sélective des espèces animales)
- l'entreposage approprié des récoltes et l'élevage respectueux du bien-être des animaux
- les réserves suffisantes de vivres

Figure 2.5 Culture diversifiée et conservation des variétés autochtones: une adaptation individuelle au changement climatique dans un écosystème de haute latitude



Source: Torres and Gómez, 2008

Adaptation au niveau communautaire ou du gouvernement local

L'adaptation à base communautaire (ABC) commence à partir d'un contexte local et cherche à optimiser les capacités, connaissances et pratiques d'adaptation qui sont utilisées dans la communauté. L'ABC vise à permettre aux communautés de comprendre et d'intégrer la notion de risque climatique dans leurs activités de subsistance pour faire face et répondre à la variabilité climatique et au changement climatique à long terme. En ce qui concerne le secteur de l'agriculture, l'ABC peut être soutenue par une série d'acteurs opérant au niveau local qui comprend des groupes d'utilisateurs des ressources, des syndicats et des associations (pour la distribution de semences, ou pour la santé animale par exemple) ou le gouvernement local (notamment les ministères de l'Agriculture et de l'Environnement). La participation de ces institutions locales est vitale, étant donné que ce sont elles qui connaissent en principe le mieux leurs communautés et devraient être principalement responsables d'identifier les personnes pauvres et vulnérables et de les soutenir en construisant des logements urbains et ruraux salubres. Ces institutions devraient s'assurer que la diffusion des informations sur le climat atteigne les plus pauvres et les plus vulnérables par le biais de services de vulgarisation appropriés (Commission sur le changement climatique et le développement, 2009).

Contrairement à la mise en œuvre plus autonome des stratégies d'adaptation au niveau individuel/des ménages, les stratégies au niveau des communautés et des collectivités locales ont besoin d'approches plus globales, cohérentes et systématiques. Les impacts du changement climatique varient d'un endroit à l'autre, les besoins d'adaptation varient donc selon les localités. Dans les faits, l'ABC est une approche décentralisée qui préconise la collaboration et la coordination entre les différents acteurs. L'ABC encourage les communautés locales à identifier et hiérarchiser leurs besoins d'adaptation et à rechercher des financements auprès des autorités locales. La nature et la réactivité des processus de prise de décision au niveau local dépendront en grande partie de l'existence d'un réseau efficace d'acteurs publics et privés, avec une participation communautaire et le soutien d'un environnement politique favorable.

Au niveau des institutions intermédiaires

Les institutions intermédiaires sont les institutions entre le niveau local et national, par exemple, la région ou le district. Ces institutions sont souvent responsables de la gestion d'une région pouvant être particulièrement pertinente pour les stratégies d'adaptation agricoles, car elles se concentrent sur un territoire dont la gestion est cohérente avec les unités de production agricole. Les ministères de l'Environnement et de l'Agriculture, les instituts de recherche et les ONG, sont particulièrement importants pour le secteur de l'agriculture.

Les problèmes de capacité dans ces institutions, en particulier dans les zones rurales reculées, peuvent être le principal obstacle à une action communautaire efficace. Dans de nombreux cas, il est nécessaire de réorienter l'action de ces institutions vers les populations les plus pauvres. La nécessité de renforcer les capacités des responsables au sein de ces institutions à travailler avec les ONG et les organisations communautaires de base (OCB) doit aller de pair avec la mobilisation des organisations communautaires. Il est également nécessaire d'aborder les politiques nationales restreignant la liberté d'action des autorités régionales ou de district. Il peut donc être nécessaire de travailler de manière simultanée à l'échelle locale et nationale (Ensor, 2011).

Au niveau national

Les préoccupations liées au changement climatique doivent être intégrées dans les politiques nationales afin de hiérarchiser et définir les besoins des personnes et des secteurs les plus vulnérables. Pour que

les communautés puissent bénéficier des interventions nationales, les capacités locales et nationales doivent être renforcées. Au niveau national, les gouvernements se concentrent surtout sur un secteur et adoptent une approche descendante, ou « top-down », qui consiste à intégrer des priorités et mesures d'adaptation dans les plans de développement durable existants ou futurs (CCNUCC, 2009). Le principal mécanisme qui oriente la planification nationale d'adaptation dans les pays les moins avancés (PMA) et dans certains pays en développement est le Programme d'Action National d'Adaptation (PANA). Ceci-ci est basé sur l'information disponible et il contient une liste d'actions et de projets d'adaptation prioritaires (voir le chapitre 3.3 pour plus de détails et l'encadré 2.3 pour le processus du PANA).

Encadré 2.3 Le processus du PANA

Les étapes de préparation du PANA comprennent une synthèse des informations disponibles; une évaluation participative de la vulnérabilité à la variabilité climatique actuelle et aux événements climatiques extrêmes, surtout dans les zones où les risques augmenteraient en raison du changement climatique; l'identification des principales mesures d'adaptation ainsi que des critères pour la hiérarchisation des activités; et la sélection d'une liste hiérarchisée d'activités. Le développement d'un PANA comprend également une liste de petits descriptifs de projets et/ou d'activités destinés à répondre aux besoins d'adaptation urgents et immédiats.

Source: CCNUCC, 2011

Dans de nombreux pays en développement, l'agriculture et l'élevage sont des secteurs clés dans lesquels des mesures doivent être prises pour réduire la vulnérabilité au changement climatique. Ces plans donneront une orientation aux organisations nationales de recherche et développement dans l'agriculture sur les domaines d'action prioritaires pour les actions futures. Généralement, ce genre de plans donne la priorité aux cultures vivrières qui contribuent à assurer la sécurité alimentaire de la population locale et nationale. De plus en plus, les services nationaux de recherche agricole travaillent sur l'amélioration des estimations de l'impact potentiel du changement climatique, et les services de vulgarisation cherchent à améliorer l'accès aux variétés de cultures qui sont plus tolérantes à la chaleur ou à la sécheresse. Mais les actions comprennent également les agences de développement social, et incluent: la préparation aux catastrophes afin d'assurer la capacité nationale à répondre aux pénuries alimentaires ou à une catastrophe naturelle; la préparation au niveau financier afin de garantir des réserves financières suffisantes pour pouvoir répondre à une catastrophe; et le développement de mécanismes financiers tels que l'assurance climatique pour atténuer les répercussions. Les entreprises privées peuvent également jouer un rôle dans la promotion de l'adaptation car elles sont aussi concernées par les effets du changement climatique sur la production, puisque leurs activités en dépendent. Dans certains cas, elles peuvent investir dans l'essai de technologies d'adaptation ou financer leur application par les exploitants.

Toutefois, les personnes pauvres et marginalisées font souvent face à des défis qui nécessitent des technologies localement pertinentes plutôt que des interventions qui s'appliquent à grand échelle (Ensor, 2009). Veiller à ce que les besoins des collectivités éloignées, vulnérables et marginalisées soient pleinement intégrés dans les stratégies nationales d'adaptation est un nouveau défi pour les gouvernements. Les plates-formes multi-acteurs ou les alliances d'apprentissage face au changement climatique, telles que celles mises à l'essai en Tanzanie et au Malawi, peuvent fournir un moyen d'intégrer les besoins des communautés locales aux organismes nationaux de recherche, de vulgarisation et de développement. Les processus permettant la participation de la société civile pour identifier les priorités et élaborer des plans d'adaptation seront nécessaires pour que cela soit un succès (voir chapitre 3).

Au niveau des institutions internationales de recherche et développement

La responsabilisation locale et les processus participatifs sont essentiels. Ceux-ci peuvent être complétés par les efforts des organismes internationaux, comprenant les 15 centres de recherche qui font partie du Groupe consultatif pour la recherche agricole internationale (CGIAR) et qui peuvent soutenir le secteur de l'agriculture à s'adapter au changement climatique. Ils peuvent:

- Soutenir la gestion des risques grâce à une meilleure prédition des impacts du changement climatique sur l'agriculture. L'utilisation des approches SIG (acronyme anglais), liées à la modélisation de la croissance des cultures, peut fournir des analyses plus détaillées selon différents scénarios d'impacts climatiques sur différentes cultures, y compris les probabilités d'événements météorologiques extrêmes. Comme les agriculteurs et leurs organisations font usage de ces informations, ils peuvent les aider à adopter des comportements adaptatifs pour atténuer les effets du changement climatique et ainsi réduire les risques.
- Contribuer à développer des variétés et autres nouvelles technologies avec une tolérance élevée à la sécheresse et à la chaleur. La sélection conventionnelle (Organismes Non-Génétiquement Modifiés), combinée à une sélection rigoureuse des matériaux parentaux et à l'utilisation de la diversité génétique locale, peut être utilisée pour renforcer ces traits et développer des variétés mieux adaptées au changement climatique. En outre, le changement climatique devrait entraîner une augmentation des ravageurs et des maladies. La sélection classique peut alors être utilisée pour augmenter la résistance à ceux-ci et compléter les pratiques propres aux agriculteurs.
- Soutenir et encourager le débordement de la technologie développée dans un pays à d'autres pays de la région. Les centres du CGIAR détiennent du matériel génétique en fiducie et des variations améliorées et peuvent aider à promouvoir l'échange de matériel d'un pays à l'autre. Les centres du CGIAR, comme ils fonctionnent à l'échelle internationale, et ce sur plusieurs continents, peuvent aussi aider à promouvoir la diffusion de technologies entre les pays.

D'autres organisations internationales, à la fois des établissements publics tels que la Banque mondiale ou les banques régionales de développement, et les ONG internationales de développement, jouent un rôle important dans la production et le partage de connaissance, ainsi que dans le pilotage de processus d'adaptation aux défis du changement climatique. Même les entreprises multinationales sont préoccupées par les impacts du changement climatique et, dans certains cas, investissent dans le développement de technologies qui, espèrent-ils, pourront contribuer à stabiliser l'offre de produits issus de leur industrie.

3. Processus décisionnel relatif à l'adaptation et hiérarchisation des technologies

Etant donné que le changement climatique est un défi qui se déroule sans qu'on puisse prévoir sa fin, l'adaptation doit être comprise et exploitée comme un processus par lequel les communautés peuvent accéder à des compétences, des ressources et des informations afin qu'elles puissent en permanence façonner leur vie et leurs moyens d'existence au rythme de l'environnement changeant dans lesquels elle se trouvent (Ensor, 2009). La nature continue du changement climatique et l'incertitude inhérente aux projections météorologiques et climatiques nécessitent une approche en matière de prise de décision qui rende les communautés plus autonomes. L'approche devrait renforcer leurs capacités et leur offrir la possibilité de jouer un rôle éclairé dans la prise de décision concernant les technologies et les stratégies les plus appropriées à leurs besoins. Connue sous le nom de « capacité d'adaptation », cette aptitude à s'adapter à un environnement changeant peut être développée en aidant les collectivités locales à jouer un rôle de premier plan dans la définition de leurs propres réponses au changement climatique. Cela peut se faire, par exemple, grâce à la participation active à la planification, la hiérarchisation des ressources, et le partage des connaissances (Ensor et Berger, 2009c; Chapin et al, 2006; Smit et Wandel, 2006).

Le processus de prise de décision sur les stratégies d'adaptation devrait être composé de plusieurs éléments fondamentaux:

- L'évaluation participative de la vulnérabilité et des risques
- L'identification et la hiérarchisation des options d'adaptation
- Le développement participatif de la technologie et sa mise en œuvre
- L'évaluation de l'efficacité des mesures d'adaptation prises

Le processus de prise de décision devrait être un processus de responsabilisation qui établit des relations et ouvre de nouveaux espaces pour la construction de consensus, contribuant ainsi au développement de la capacité d'adaptation locale. Un élément crucial de ce processus est qu'il devrait impliquer la participation de l'ensemble des acteurs locaux, régionaux et nationaux (selon le niveau d'intervention, voir le chapitre 2.3) comprenant: les communautés, les organisations sociales (telles que les syndicats d'agriculteurs et groupements d'utilisateurs de ressources), les institutions non-gouvernementales (telles que les organisations communautaires, les ONG, les instituts de recherche et les organismes internationaux) et les organismes privés et gouvernementaux. Les processus participatifs sont essentiels pour l'élaboration de politiques d'adaptation, la sélection de technologies d'adaptation, le développement, la mise en œuvre et le suivi des plans d'adaptation, afin que les communautés elles-mêmes soient représentées dans la prise de décision (Soluciones Prácticas, 2011; Patt, 2008).

3.1 Vulnérabilité et évaluation du risque

La vulnérabilité au changement climatique est la mesure dans laquelle les communautés sont susceptibles ou incapables de faire face aux impacts négatifs des changements (GIEC GT II, 2007; 48). L'évaluation à base communautaire de la vulnérabilité et des risques est largement utilisée par les organisations humanitaires et de développement pour concevoir des programmes d'adaptation au changement climatique

(Centre climatique de la Croix-Rouge/Croissant-Rouge 2005; 8). De cette façon, les communautés sont impliquées dès les premières étapes de la planification de la stratégie d'adaptation.

Il existe de nombreuses méthodes participatives d'évaluation des risques au niveau communautaire, utilisées par les ONG et autres organisations pour évaluer la vulnérabilité et les capacités locales de la communauté face au changement climatique (Van Aalst et al, 2007; 166); beaucoup d'entre elles peuvent être trouvées sur le site web de ProVention (voir encadré 3.1 ci-dessous). Après avoir analysé plusieurs études de cas, Van Aalst et al ont conclu que la méthodologie de l'évaluation participative au niveau communautaire fournit un outil précieux pour l'adaptation au changement climatique. Elle est particulièrement utile en tant qu'approche « bottom-up » (approche ascendante) de l'adaptation au changement climatique et est donc l'objet d'une attention croissante au sein de la CCNUCC et parmi les spécialistes du développement (Van Aalst et al, 2007; 177).

Encadré 3.1 Ressources supplémentaires sur l'évaluation des risques et de la vulnérabilité

Méthodologies pour l'évaluation des risques face aux catastrophes

- Community risk assessment (CRA) – ProVention (2011)
- Vulnerability and capacity assessment (VCA) – IFRC (2007)
- Climate Vulnerability and Capacity Analysis (CVCA) – CARE (2009)
- V2R Framework – Practical Action (2009)
- Participatory Capacities and Vulnerabilities Assessment (PCVA) – Oxfam (De Dios 2002)
- Participatory Vulnerability Analysis (PVA) ActionAid (<http://www.actionaid.org.uk>)

Sources principales

- ProVention – http://www.proventionconsortium.org/CRA_toolkit.htm
- Centre climatique de la Croix-Rouge/Croissant-Rouge – <http://www.climatecentre.org/>
- Eldis Community-based Adaptation Exchange – <http://www.eldis.org/index.cfm?objectid=63551B3B-FDA9-0941-1EAC7111660B5FC5>
- Stratégie internationale des NU pour l'atténuation des catastrophes – <http://www.unisdr.org/>
- Practical Action – <http://practicalaction.org/practicalanswers/index.php?cPath=87>
- Prevention Web – <http://www.preventionweb.net/english/>

L'évaluation participative de la vulnérabilité et des risques exige souvent une facilitation (Van Aalst et al, 2007; 169). La mise en œuvre de certains outils nécessite la transmission de connaissances à la communauté par une approche dite « de haut en bas » – ou du moins venant de l'extérieur. C'est parce que contrairement à d'autres questions clés en matière de développement, il y a très peu de conscience populaire des enjeux du changement climatique et un manque de connaissance des risques pesant sur les moyens de subsistance locaux (Van Aalst et al, 2007; 170). Des liens plus étroits sont nécessaires entre les différentes organisations et les agents responsables du partage des informations sur le climat, notamment pour garantir la disponibilité de l'information climatique au niveau communautaire (Van Aalst et al, 2007; 165).

3.2 Identification des options d'adaptation

La disponibilité de l'information des systèmes de surveillance du climat dans les zones sans station météorologique, ainsi que la collecte d'informations à partir de la connaissance de la population locale, jouent un rôle très important dans le processus de sélection des technologies d'adaptation au changement climatique. Cependant, une approche par scénarios du changement climatique pour identifier les options d'adaptation peut être problématique. Différents modèles produisent différents scénarios qui peuvent ne pas représenter l'éventail complet des possibilités futures. Mettre en place des options d'adaptation qui s'appuient fortement sur les prévisions climatiques pourrait donc conduire à une mauvaise adaptation si les changements climatiques s'avéraient différents de ce qui était prévu.

La diversité est centrale dans le processus de prise de décision quant au choix des technologies agricoles évolutives si l'on veut créer de meilleures conditions pour renforcer la résilience des systèmes agricoles face aux scénarios incertains du changement climatique dans les prochaines décennies. Selon Ensor (2009), la diversité améliore la viabilité d'un système socio-écologique équilibré. Par exemple, un système de production agricole qui repose sur une seule culture a, comparé à une agriculture diversifiée, une faible résilience face au changement climatique ou à la maladie.

Sur la base de cette compréhension, deux stratégies sont proposées pour la sélection des options d'adaptation:

- Quand on aborde les vulnérabilités existantes aujourd'hui par rapport au changement climatique, des mesures spécifiques aux impacts prévus peuvent déjà être mises en œuvre pour renforcer les capacités d'adaptation. Par exemple, si une région connaît actuellement des sécheresses annuelles, les options d'adaptation doivent être sélectionnées pour s'attaquer directement à ce scénario, comme par exemple le développement des espèces de cultures résistantes à la sécheresse.
- Considérant l'incertitude face au changement climatique et aux scénarios climatiques futurs, l'augmentation de la diversité des activités productives et des cycles biologiques est une stratégie appropriée car elle permet de renforcer la capacité d'adaptation. La mise en œuvre de mesures dites « sans regret » garantit des avantages sociaux nets pour tous les futurs scénarios de changement climatique en mettant l'accent sur la réduction de la vulnérabilité, tout en renforçant la capacité d'adaptation dans le cadre d'un développement durable. Les options pourraient comprendre la sélection des variétés de cultures résistantes tout en augmentant la diversité des espèces cultivées, la domestication de nouvelles espèces, la mise en œuvre de l'agroforesterie, ou la création d'organisations d'agriculteurs.

Créer les conditions pour une adaptation réussie

Dans de nombreux pays, des groupements de la société civile, des instituts de recherche et des donateurs ont formé des groupes de travail nationaux sur le changement climatique. Ces groupes militent pour l'intégration du changement climatique et de l'adaptation dans les politiques et programmes gouvernementaux en entreprenant des recherches thématiques et en participant à la politique nationales et aux processus d'élaboration des lois.

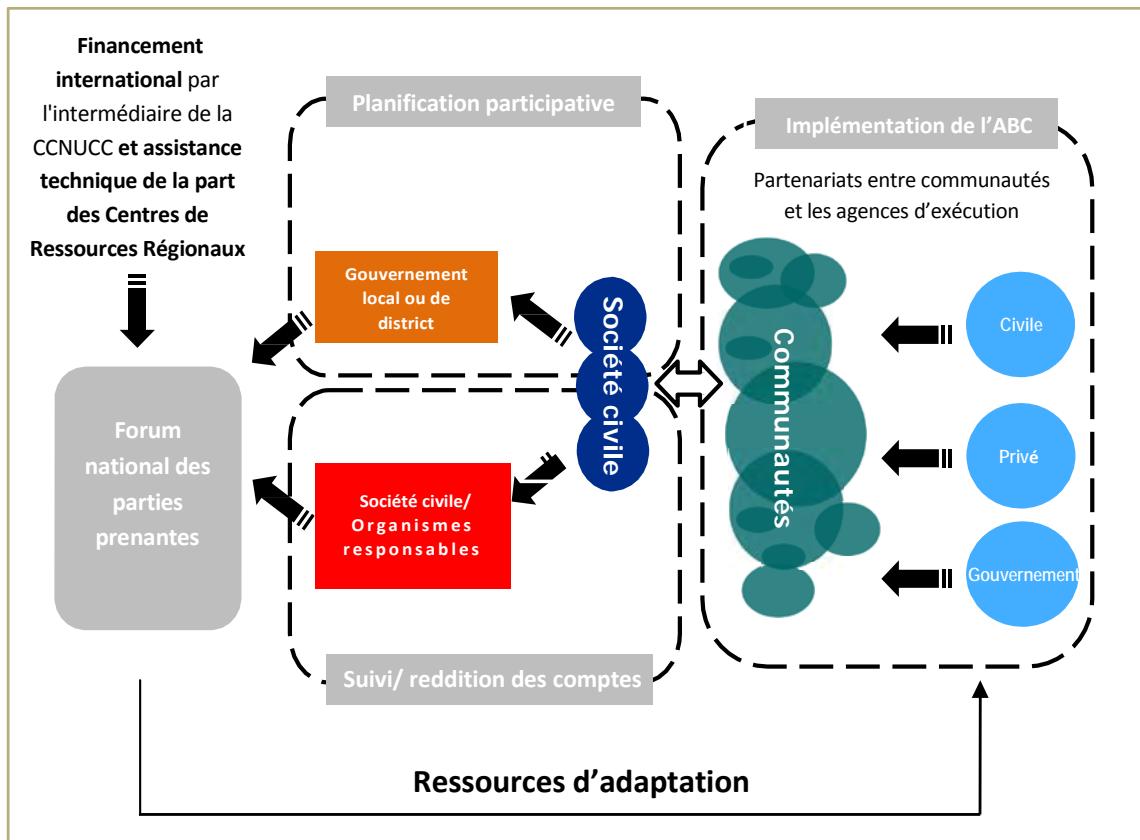
Cependant, même si les actions au niveau national se concentrent sur les secteurs qui sont particulièrement importants pour les personnes pauvres, comme l'agriculture et l'eau, elles ne réussissent souvent pas à répondre aux besoins des personnes les plus vulnérables. Ceci est dû à une variété de facteurs comprenant: la participation insuffisante de la société civile à l'identification des priorités; la nécessité de technologies appropriées au niveau local plutôt que des interventions sectorielles à grande échelle; et

l'incapacité des infrastructures étatiques de fournir des services dans les zones rurales (Ensor et Berger, 2009c). Comme l'approche « bottom-up », l'adaptation à base communautaire (ABC) peut fournir un cadre pour la gouvernance inclusive qui engage les parties prenantes directement avec les autorités locales ou de district et les organismes nationaux de coordination, et facilite ainsi la planification participative, la mise en œuvre et le suivi des activités d'adaptation (voir figure 3.1).

Pour cette solution, les considérations pour chaque groupe des parties prenantes sont:

- **Le Forum National des Parties prenantes.** Ce corps relie la prise de décision internationale, nationale et locale en recevant un financement et un soutien technique régional ou international pour coordonner la planification à l'adaptation et la distribution des ressources. Idéalement, il devrait faire partie intégrante de la planification du processus de développement national afin d'éviter que l'adaptation soit traitée de manière isolée, pour aborder l'impact du changement climatique dans tous les secteurs de la société et pour refléter les relations entre l'adaptation et l'atténuation du risque. Sa composition devrait inclure un mélange de représentants issus du gouvernement, de la société civile, du secteur privé, des universités et des médias. Il a la responsabilité de la formulation et de l'étude des plans nationaux d'adaptation, en tenant compte des données collectées par les organisations de la société civile sur les perspectives de leurs circonscriptions. L'inclusion de membres de la société civile, représentant par exemple les personnes vulnérables, des groupes minoritaires et religieux, ou les producteurs à faibles revenus, facilite la reddition des comptes en fournissant un mécanisme par lequel les diverses voix peuvent être entendues.

Figure 3.1 Comment l'adaptation à base communautaire (ABC) peut être implantée en engageant la société civile dans le processus de planification, d'implantation et de suivi



Source: Ensor et Berger, 2009c.

- **La planification participative** fait partie de l'approche dite « bottom-up » ou ascendante et facilite la transmission des plans et priorités des communautés locales au niveau national via les gouvernements locaux ou de district. Il est possible pour les organisations à base communautaire (OBC) de réaliser la planification participative elles-mêmes ou avec l'appui des ONG et d'agir comme un lien entre les représentants du gouvernement et les communautés. Bien que le rôle des organisations communautaires varie avec le contexte, elles sont vitales, soit comme partenaires, soit comme facilitateurs de processus participatifs. Aussi bien les organisations communautaires que les gouvernements peuvent avoir besoin de soutien et d'un renforcement des capacités pour être en mesure de profiter pleinement de la planification participative.
- **La mise en œuvre de l'adaptation à base communautaire** a lieu grâce à des partenariats entre une agence d'exécution (une ONG ou une organisation de la société civile, le secteur privé ou le secteur public) et la communauté, renforçant ainsi les capacités des membres de la communauté, leur offrant une expertise externe, tout en intégrant les connaissances locales. Le financement pour la mise en œuvre peut se faire directement par l'agence d'exécution via le forum national ou via le gouvernement régional. Les activités de mise en œuvre devront inclure une combinaison de mesures visant à réduire la vulnérabilité aux risques, accroître la résilience et renforcer les capacités d'adaptation des communautés.
- **Le suivi et la responsabilité** sont essentiels pour s'assurer que les financements arrivent jusqu'aux communautés et soient utilisés pour les bonnes activités. Les représentants des organisations de la société civile qui occupent des sièges au forum national des parties prenantes, jouent un rôle crucial dans le suivi des activités. C'est en effet grâce à eux que les résultats de la planification et de la mise en œuvre des activités au niveau communautaire peuvent être partagés lors des forums nationaux de prise de décision.

Une deuxième stratégie pour le partage de pouvoir est l'utilisation du processus de délibération inclusif qui peut influencer l'orientation de la science, de la recherche et de la politique. Le recours à des jurys citoyens, des conférences de consensus ou des exercices de recherche, est nécessaire pour s'assurer que les différents intérêts et les priorités des communautés marginalisées soient représentés dans les choix de financements et de recherche en sciences naturelles et sociales. Les processus de délibération inclusifs peuvent être utilisés par ceux qui soutiennent la capacité d'adaptation en tant que mécanisme pour promouvoir le partage du pouvoir dans la recherche, et donc l'expérimentation et les tests entrepris par, ou pour, les intérêts des pauvres, en se concentrant sur trois domaines clés (adapté de Pimbert, 2006; 16):

- Réorganiser la recherche scientifique conventionnelle afin d'encourager la création participative de connaissances et le développement technologique, en combinant les forces des communautés et de la communauté scientifique dans la recherche de solutions adaptées aux conditions locales. Des partenariats efficaces et interdisciplinaires sont nécessaires pour relier les sciences naturelles et sociales avec les connaissances autochtones, afin de répondre aux besoins et problèmes dans certains contextes locaux, généralement marqués par des changements complexes et dynamiques. Un objectif important est de s'assurer que les connaissances, les politiques et les technologies, soient adaptées à la diversité des besoins et des situations dans lesquelles elles devront être utilisées. Ceci doit se faire sur la base d'un processus inclusif dans lequel les moyens et les objectifs de la recherche et du développement sont principalement influencés par et pour les citoyens, par le biais de la délibération et de la négociation.
- Ouvrir les organismes décisionnels et les structures de gouvernance des organisations de recherche et de développement afin de permettre une plus large représentation des différents acteurs et une plus grande transparence, équité et responsabilité dans l'allocation du budget et dans les décisions sur les priorités de recherche et de développement. Ils sont extrêmement puissants parce que

ce sont eux qui décident généralement des politiques et des technologies qui seront finalement développées, pourquoi, comment et pour qui. Pourtant, les politiques et les décisions concernant la science et la technologie de recherche et de développement sont souvent entre les mains des gens qui sont de plus en plus éloignés des réalités rurales et se rapprochent de plus en plus de sociétés commerciales.

- Veiller à ce que les connaissances et les innovations restent accessibles à tous, c'est une condition de base pour la démocratie économique et l'exercice des Droits de l'Homme, le droit à la participation. La décision relative à l'attribution de brevets sur des connaissances incorporées dans des produits et processus (telles que les semences et les logiciels) et la législation nationale sur les droits de propriété intellectuelle exigent la formulation de plus de lois et de mesures basées sur des modèles délibératifs et inclusifs de la démocratie directe (Ensor, 2011).

3.3 Critères clés pour la priorisation des technologies d'adaptation

Quand il s'agit de prioriser les technologies d'adaptation au changement climatique, les critères suivants devraient être discutés et évalués par toutes les parties prenantes dans le cadre de l'ABC.

- **Environnement.** La mesure dans laquelle la technologie conserve et renforce la biodiversité et aide à promouvoir la durabilité environnementale. C'est un critère important, car la biodiversité augmente la résilience de l'écosystème et donc de la communauté. La technologie devrait également promouvoir l'utilisation durable des ressources locales. La technologie peut par exemple être fabriquée et entretenue localement, lorsque c'est possible.
- **Sensibilisation et information.** La mesure dans laquelle la technologie permet et facilite (i) l'accès à l'information sur le changement climatique, (ii) l'intégration des prévisions saisonnières ainsi que des systèmes d'alerte précoce dans les processus de prise de décision, et (iii) le renforcement des systèmes d'information en général (et des connaissances locales plus précisément).
- **Productivité.** La mesure dans laquelle la technologie (i) tient compte des cycles de vie naturels des éléments nutritifs du sol et de l'eau, et donc conserve les conditions biologiques nécessaires pour la production future; (ii) permet aux agriculteurs de produire suffisamment pour l'autoconsommation (afin d'atteindre une certaine sécurité alimentaire), (iii) améliore la qualité et la rentabilité des cultures; et (iv) est facile à diffuser et à reproduire.
- **Économie.** (i) La mesure dans laquelle la technologie renforce les systèmes de production existants. Par exemple, la culture d'amidon de maïs sur les parcelles des ménages ruraux fournit un produit pour la consommation humaine et de la nourriture pour le bétail. Les activités d'élevage à leur tour génèrent du fumier qui peut être utilisé comme engrais organique. (ii) La mesure dans laquelle elle augmente la quantité d'informations disponibles sur les variations des prix des intrants et des produits finis, et ce sur toute l'année. Ceci permet aux agriculteurs de produire un surplus qui peut être vendu sur les marchés locaux pour générer des revenus supplémentaires. (iii) La mesure dans laquelle elle réduit les coûts de transaction des activités productives et commerciales, par exemple, les coûts de transport, de crédit, les frais d'assurance rurale, ou les coûts encourus suite à un vol. (iv) La mesure dans laquelle elle ne génère pas des inégalités d'influence, de pouvoir et de gestion sur les ressources naturelles, ce qui pourrait être source de conflits sociaux entravant ainsi le développement des activités productives.
- **Culture.** La mesure dans laquelle la technologie: (i) respecte la diversité culturelle; (ii) permet des échanges interculturels et intègre les connaissances locales; et (iii) peut être comprise par les producteurs, indépendamment de leur situation ou de leur contexte.

- **Politique.** La cohérence avec laquelle la technologie est intégrée dans les politiques nationales et régionales (et la facilité avec laquelle on peut la mettre en place à une échelle plus grande).
- **Institutions.** Les institutions fortes favorisent un développement durable et sont vitales à l'implémentation des mesures d'adaptation. Les technologies d'adaptation devraient donc être évaluées et priorisées selon la mesure dans laquelle elles favorisent la création d'institutions formelles et informelles, telles que les ministères, les organisations de la société civile et les organisations à base communautaire, tout en renforçant leurs capacités de planification et de mise en œuvre des stratégies d'adaptation. Les technologies devraient également encourager les organisations de la société civile à créer des réseaux sociaux et à prendre part au processus de prise de décision.

Le rôle fondamental de la culture

La culture joue un rôle important dans le processus d'adaptation. La culture peut être comprise comme « la somme totale des activités et des produits matériels et spirituels d'un groupe social donné; un système cohérent et autonome de valeurs et de symboles ainsi qu'un ensemble de pratiques qui sont reproduites par un groupe spécifique dans le temps et offrent aux particuliers, avec leurs symboles et significations, des schémas de comportement » (Stavenhagen, 1998; 5). La culture peut fournir, modifier ou limiter les options d'adaptation et peut déterminer comment les individus au sein des communautés réagissent à la perspective de changements dans leur vie et leurs moyens de subsistance, dans le contexte du changement climatique. Alors que certaines cultures sont prêtes à embrasser le changement, d'autres ne connaissent pas cette tradition d'adaptation et nécessitent donc une approche qui s'appuie davantage sur le contexte culturel existant. Cependant, dans tous les cas, une référence explicite au rôle de la culture est nécessaire pour s'assurer que l'adaptation à base communautaire puisse être réalisée (Ensor, 2009).

Encadré 3.2 Intégrer la culture locale dans les stratégies d'adaptation: récolte de poissons et jardins flottants au Bangladesh

Le Bangladesh est la plaine d'inondation de plusieurs grandes rivières de l'Himalaya. Les rivières changent leur cours chaque année pendant la saison de la mousson et de vastes régions du pays sont régulièrement submergées. Alors que le débit de ces rivières va encore augmenter à mesure que les glaciers fondent sous l'influence du changement climatique - même à l'heure actuelle il n'est pas inhabituel que de grandes superficies de terres disparaissent d'un côté de la rivière - tandis que de nouveaux bancs de sable apparaissent sur l'autre. L'érosion a fait perdre aux membres de la communauté presque tous leurs biens (et bien sûr des terres) et a forcé les gens à déménager plusieurs fois au cours de la dernière décennie.



Femmes et garçon cultivant des jardins flottants dans le district de Gaibandha, Bangladesh

Source: Practical Action



Système de production d'alevins par aquaculture en cage, Bangladesh

Source: Practical Action

Practical Action a travaillé avec ces communautés afin d'identifier les principales vulnérabilités et de développer des technologies qui augmentent la résilience et renforcent les moyens de subsistance, déjà en usage dans d'autres communautés touchées. Par exemple, le poisson est un ingrédient clé dans l'alimentation locale, mais au cours de la saison de la mousson, le débit de la rivière est trop fort pour les bateaux de pêche locaux. Or, les eaux de crues créent des bassins d'eau temporaires, donnant l'opportunité d'élever du poisson. En formant les gens à la construction de cages avec du bambou et des filets, les familles peuvent élever des poissons pour leur propre consommation et pour générer des revenus. Les inondations s'aggravent et de plus longues périodes d'inondation sont expérimentées, ce qui retarde la plantation de cultures. En développant des potagers flottants – une pratique courante dans les régions côtières – utilisant des matériaux locaux, des semis peuvent être cultivés et sont prêts à être plantés dès que les eaux se retirent. L'expérience de Practical Action avec ces communautés a montré que les gens ont embrassé ces mesures d'adaptation et les ont intégrées à leur culture. Les gens se sont montrés ouverts à l'élaboration de nouvelles pratiques et activités de subsistance qui viennent renforcer leurs propres stratégies d'adaptation. Il faut noter cependant que tout cela est vrai pour des contextes culturels réceptifs aux changements, mais qu'il existe des formes culturelles fortes qui doivent également être reconnues. Ces expériences de Practical Action au Bangladesh soulignent comment les institutions formelles et informelles ainsi que les comportements doivent être reconnus et incorporés dans la politique, la conception et l'approche projet, plutôt que d'être contournés ou contestés. Les interventions d'adaptation doivent reconnaître que même dans les sociétés les plus flexibles, les mécanismes du changement seront inévitablement encadrés par un contexte culturel qui peut constituer le point d'entrée pour les interventions.

Source: Ensor et Berger, 2009b

4. Technologies et pratiques concrètes d'adaptation dans le secteur agricole

Dans ce chapitre, 22 technologies d'adaptation qui ont été mises en œuvre dans le secteur agricole des pays en développement sont présentées. Pour chaque technologie, les éléments suivants sont donnés:

- Une description de la technologie, la façon dont elle est mise en œuvre et comment elle contribue à l'adaptation au changement climatique
- Les avantages et les inconvénients de la technique
- Les connaissances et le suivi requis
- Les coûts et les besoins financiers
- Les exigences institutionnelles et organisationnelles
- Les facteurs entravant ou favorisant la mise en œuvre
- Un cas concret d'application

Les technologies couvrent le suivi et les prévisions du climat, l'utilisation et la gestion durable de l'eau, la gestion des sols, la gestion durable de la santé des cultures, le stockage des semences, la gestion durable des forêts et la gestion durable de l'élevage. Les technologies comprennent une gamme de matériels, de logiciels et de techniques organisationnelles (orgware), et souvent une combinaison des trois. Le tableau 4.1 présente le portefeuille des technologies présentées.

Tableau 4.1 Technologies d'adaptation

	Technologie	Échelle	Étude de cas réel
Planification pour le changement et la variabilité climatique	Système national de suivi du climat	Large	Zimbabwe, Kenya et Brésil
	Prédictions saisonnières à interannuelles	Large et petite	Europe de l'Est, Lesotho et Burkina Faso
	Systèmes d'alerte précoce décentralisés à base communautaire	Petite	Afrique de l'Est et Pérou
	Assurance indicielle climatique	Large ou collective	Pérou, Vietnam, Mongolie, Mexique
Gestion et utilisation durable de l'eau	Irrigation par aspersion et goutte-à-goutte	Large et petite	Indonésie, Zimbabwe et Pérou
	Captage de brouillard	Petite	Népal
	Collection des eaux de pluie	Large et petite	Paraguay, Philippines, Inde

Contd...

Gestion des sols	Terrasses de formation lente	Large et petite	Équateur, Philippines
	Système de conservation des sols	Large et petite	Brésil, Philippines
	Gestion intégrée des éléments nutritifs	Large et petite	Uganda, Inde, Nicaragua
Gestion durable de la santé des cultures	Diversification des cultures et introduction de nouvelles variétés	Large et petite	Uganda, Inde
	Création de nouvelles variétés par le biais de la biotechnologie	Large et petite	Inde, Afrique
	Lutte antiparasitaire écologique	Large et petite	Indonésie, Afrique et Inde
	Stockage des semences et graines	Large et petite	Afghanistan et Kenya
Gestion durable du bétail	Gestion des maladies	Large et petite	Pérou et Madagascar
	Élevage sélectif via un accouplement contrôlé	Large et petite	Pérou
Systèmes agricoles durables	Agriculture diversifiée	Large et petite	Bangladesh, Laos, Honduras
	Agroforesterie	Large et petite	Inde, Mexique
Renforcement des capacités et organisation des parties prenantes	Écoles pratiques d'agriculture	Petite	Afrique de l'Ouest et de l'Est
	Agents de vulgarisation communautaires	Petite	Kenya
	Groupes d'utilisateurs des forêts	Large et petite	Gambie
	Associations d'utilisateurs d'eau	Petite	Tanzanie

4.1 La planification pour le changement et la variabilité climatique

4.1.1 Système de suivi du changement climatique

Il est essentiel de fournir un accès à l'information sur les changements climatiques prévus, information qui devrait expliquer de façon claire l'incertitude liée aux estimations de ces impacts futurs. Le suivi des changements climatiques, la prévision des impacts, et l'utilisation de systèmes d'alerte précoce pour diffuser des données aux parties prenantes au niveau national et local, sont autant d'éléments essentiels pour une bonne planification et mise en œuvre des mesures d'adaptation à long terme. L'information sur le changement climatique devrait être transmise à toutes les personnes touchées et doit être compréhensible pour tout le monde. L'expansion des réseaux de professionnels qualifiés pouvant entreprendre des recherches locales, régionales et nationales sur le changement climatique et ses impacts futurs sur l'agriculture est essentielle.

Définition

Un système de suivi du changement climatique intègre des observations satellitaires, des données recueillies au sol et des modèles de prévision pour surveiller et prévoir les changements. Un historique de mesures ponctuelles est construit au fil du temps, fournissant ainsi des données pour permettre l'analyse statistique et l'identification des valeurs moyennes, des tendances et des variations. Plus l'information est de bonne qualité, plus le climat peut être compris et plus les évaluations des futures conditions peuvent être estimées de manière précise au niveau local, régional, national et mondial. Ceci est devenu particulièrement important dans un contexte de changement climatique, car la variabilité du climat augmente et les tendances historiques changent.

Description

L'observation systématique du climat est habituellement effectuée par les centres météorologiques nationaux et d'autres organismes spécialisés. Ils prennent des mesures et font des observations à des intervalles de temps et dans des lieux prédéfinis. Ils suivent les changements dans l'atmosphère, l'océan et dans le système terrestre. Comme les systèmes nationaux de surveillance font tous partie d'un réseau mondial, il est essentiel qu'il y ait le plus de cohérence possible dans la façon dont les mesures et les observations sont faites. Cela demande de la précision pour la mesure des variables et une certaine uniformité des unités dans lesquelles les mesures sont prises. L'Organisation Météorologique Mondiale (OMM) joue un rôle essentiel à cet égard. Les Services Météorologiques et Hydrométéorologiques Nationaux (SMHN) de 189 États et territoires membres composent l'OMM. Cela permet à l'OMM d'établir et de promouvoir les meilleures pratiques en matière de surveillance climatique nationale, de fournir un soutien aux SMHN et de mettre en œuvre efficacement des initiatives spécifiques.

En 1992, le Système Mondial d'Observation du Climat (SMOC) a été créé pour s'assurer que les observations et les informations nécessaires pour aborder les questions liées au climat soient obtenues et mises à la disposition de tous les utilisateurs potentiels. L'initiative a été coparrainée par l'OMM, la Commission Océanographique Intergouvernementale (COI), l'UNESCO, le Programme des Nations Unies pour l'Environnement (PNUE) et le Conseil International pour la Science (CIUS). L'objectif déclaré du SMOC est « de fournir des informations complètes sur l'ensemble du système climatique, impliquant une gamme pluridisciplinaire de propriétés physiques, chimiques et biologiques, et de processus atmosphériques, océaniques, hydrologiques, cryosphériques et terrestres. Le SMOC est destiné à répondre à l'ensemble des exigences nationales et internationales pour le climat et les observations liées au climat. Il constitue la composante d'observation du climat du système mondial des systèmes d'observation de la terre (GEOSS, acronyme anglais) ».³

Dans le cadre de son rôle de conseiller, fournissant un soutien continu à la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (CCNUCC), le SMOC a établi 20 principes de suivi du climat⁴ et a défini 50 variables climatiques essentielles (ECV, acronyme anglais). Le tableau 4.2 ci-dessous montre les différents types d'ECV:

Tableau 4.2 Variables climatiques essentielles

Domaine	Variables climatiques essentielles du SMOC	
Atmosphère (terre, mer et glaciers)	Surface: ^[A]	Température de l'air, direction et force du vent, évaporation de l'eau, pression, précipitations (pluie/neige), bilan radiatif en surface.
	Espace aérien supérieur: ^[B]	Température, direction et force du vent, évaporation de l'eau, propriétés des nuages, bilan radiatif de la Terre (y compris l'irradiation solaire).
	Composition:	Dioxyde de carbone, méthane, et autres gaz à effet de serre à longue durée de vie ^[C] , ozone et aérosols, soutenus par leurs précurseurs. ^[D]
Océan	Surface: ^[E]	Température de la surface des océans, salinité des surfaces des océans, niveau de la mer, état des océans, glaces de mer, courant de surface, couleur des océans, pression partielle du dioxyde de carbone, acidité des mers, phytoplancton.
	Sous la surface:	Température, salinité, courant, nutriments, pression partielle du dioxyde de carbone, acidité des mers, oxygène, traceurs.
Terre		Débit des rivières, utilisation de l'eau, eaux souterraines, lacs, couverture neigeuse, glaciers, calotte glaciaire, pergélisol, l'albédo, couverture terrestre (y compris le type de végétation), fraction de rayonnement photosynthétiquement actif absorbé (FAPAR, acronyme anglais), indice de surface foliaire (LAI, acronyme anglais), biomasse aérienne, carbone stocké dans les sols, incidence des feux, humidité des sols.

^[A] Y compris les mesures des hauteurs normalisées à proximité de la surface, mais celles-ci diffèrent selon les pays.

^[B] Jusqu'à la stratopause.

^[C] Comportant le dioxyde d'azote (NO_2), les chlorofluorocarbures (CFC), les hydrochlorofluorocarbures (HCFC), les hydrofluorocarbures (HFC), l'hexafluorure de soufre (SF₆), et les perfluorocarbures (PFC).

^[D] En particulier le dioxyde d'azote (NO_2), le dioxyde de soufre (SO₂), le formaldéhyde (HCHO) et le monoxyde de carbone (CO).

^[E] Y compris des mesures au sein de la couche mixte de la surface, généralement autour de 15 m.

Les données de la surface atmosphérique sont les plus simples à mesurer. Des mesures précises peuvent être obtenues en utilisant un équipement relativement simple. Les instruments suivants sont utilisés pour mesurer les différentes variables atmosphériques de la surface sur la terre, la mer et les glaciers:

- Un thermomètre pour mesurer la température de l'air et de la surface de la mer
- Un baromètre pour mesurer la pression barométrique/la pression de l'air
- Un hygromètre pour mesurer l'humidité
- Un anémomètre pour mesurer la vitesse du vent

- Une girouette pour mesurer la direction du vent
- Un pluviomètre pour mesurer les précipitations
- Un pyranomètre pour mesurer le rayonnement solaire

Ces instruments sont généralement placés ensemble à une station météorologique, à des endroits spécifiques de la surface terrestre. En mer, des bouées météorologiques spécialisées sont équipées d'instruments supplémentaires pour mesurer les ECV océaniques.

Le réseau mondial, appuyé par l'OMM, permet aux systèmes nationaux de suivi du climat de tous les États membres d'entrer des données dans une base de données centrale qui est accessible à tous. C'est une ressource vitale, en particulier pour les pays en développement qui autrement n'auraient pas accès aux données recueillies à l'aide des technologies de pointe. Cependant, le réseau crée aussi la responsabilité pour tous les États membres de veiller à ce que les données qu'ils contribuent soient d'une qualité suffisante. En général, il est nécessaire d'améliorer les observations à tous les niveaux pour améliorer la capacité des pays à s'adapter au changement climatique. La planification efficace de l'adaptation exige des observations améliorées; l'amélioration des données locales, régionales, nationales et mondiales ainsi que des réseaux plus denses; la récupération de données historiques; le renforcement du soutien parmi les communautés d'utilisateurs qui demandent des informations climatiques fiables; et la promotion d'une collaboration entre les fournisseurs et les utilisateurs des informations. Le travail avec les populations locales, afin d'intégrer les méthodes de prévision traditionnelles, peut fournir des informations clés sur les conditions climatiques locales et les vulnérabilités, informations qui seront essentielles pour la planification efficace de l'adaptation (encadré 4.1).

Encadré 4.1 La prévision traditionnelle à l'aide de bio-indicateurs

Bien que la prévision à l'aide de bio-indicateurs soit une pratique traditionnelle, elle peut être considérée comme une technologie d'adaptation, car les études montrent qu'elle est complémentaire aux prévisions climatiques émises par les services météorologiques nationaux (Alvarez et Vilca, 2008). Dans de nombreux cas, les bio-indicateurs sont plus efficaces pour les stratégies d'intervention et d'adaptation au niveau local, car ils fournissent un diagnostic plus immédiat que les avertissements météorologiques des entités étatiques centralisées et sont plus adaptés à la prévision des conditions climatiques au niveau local (Alvarez et Vilca, 2008).

Développés au cours d'années d'observation et d'expérimentation, les bio-indicateurs constituent une partie essentielle des stratégies communautaires pour la réduction des risques de catastrophe et pour l'adaptation au changement climatique. En termes d'avantages de développement, les bio-indicateurs permettent aux agriculteurs de maintenir des pratiques agricoles productives et même de tirer parti des changements du climat si les périodes adaptées à l'agriculture s'allongent, ou s'ils sont capables d'ajuster le type de culture aux nouvelles conditions climatiques. Les méthodes traditionnelles de prévision incorporent des observations locales des changements environnementaux ou climatiques et constituent une sorte de mécanisme d'alerte précoce pour les phénomènes hydrométéorologiques qui apparaissent soudainement ou au fil du temps. Les bio-indicateurs environnementaux incluent des changements dans le comportement des animaux (par exemple la migration et les saisons d'accouplement), des plantes (comme les changements dans la tolérance hydrologique ou les changements dans la composition de l'écosystème) et des conditions météorologiques (tels qu'une plus longue période sèche ou la fréquence accrue de périodes froides).

Contd...

Les indicateurs biologiques font l'objet de recherches scientifiques spécifiques et des études sont menées sur des organismes vivants comme les poissons, les insectes, les algues, les plantes ou les oiseaux. Ils jouent également un rôle dans la détection précoce des phénomènes d'oscillation australe d'El Niño (ENSO, acronyme anglais) (Guralnick, 2002). Les agriculteurs ont appris à observer les bio-indicateurs locaux de base pour la prise de décisions stratégiques au sujet de leur production agricole. Ceci suppose l'observation de certains bio-indicateurs plusieurs mois avant le semis et pendant le cycle de croissance des cultures en vue de faire des prévisions et d'ajuster les activités de plantation et de culture en conséquence.

Selon Hambly et Angura Onweng (1996), dans le district de Kwale, au Kenya, la fin des saisons peut être prédictée par la migration d'un type spécifique de singes, le mouvement des papillons et le bourgeonnement de certains arbres. Toutes ces alertes servent à la communauté pour savoir à quel moment préparer la terre. Le début de la saison des pluies est prédict par le changement de la direction du vent qui souffle vers le Nord, les changements dans la position des étoiles et des informations données par les pêcheurs sur le « mixing » (inversion des eaux de mer).

Au Zimbabwe, des entrevues avec des membres de la communauté ont révélé des informations sur la façon dont certains types d'arbres, d'oiseaux et certains comportements des animaux ont, pendant de nombreuses années, été utilisés par le peuple Shona comme mesures ou signaux de changements dans la qualité de leur environnement. Il s'agit notamment: des arbres comme indicateurs de la fertilité des sols, des oiseaux comme les hérauts de la saison des pluies, des arbres comme indicateurs du niveau d'eau, et de l'abondance des fruits sauvages comme indicateurs d'une bonne saison des pluies. Cette approche favorise la participation active des observateurs météorologiques de la communauté qui gardent un registre quotidien des bio-indicateurs locaux et des variables climatiques capturées par les stations météorologiques de base installées sur leurs champs. Ils analysent l'information, transmettent les données aux opérateurs du système de traitement et de validation, produisent et diffusent des prévisions météorologiques et fournissent des orientations et conseils (sur le type de cultures à planter ou en établissant un calendrier agricole) à leurs communautés, dans leur langue maternelle. Ce modèle favorise la collecte et le suivi participatifs et décentralisés, ce qui peut permettre aux communautés de prendre des décisions collectives sur leurs stratégies de subsistance.

Le coût estimatif de la mise en œuvre d'un système de suivi du climat décentralisé, qui intègre les connaissances traditionnelles, dans un micro bassin versant couvrant 10 gouvernements locaux est de 50 000 USD. Les coûts de fonctionnement annuels sont estimés à 25 000 USD (Damman, 2008). Les limites de la technologie sont liées à l'échelle d'application potentielle qui est généralement très locale. En outre, dans certains contextes, la variabilité accrue du climat peut remettre en question la validité des indicateurs biologiques.

Source: Alvarez et Vilca, 2008; Guralnick, 2002; Hambly et Onweng, 1996; Damman, 2008

La technique et ses contributions à l'adaptation

Afin que les pays comprennent mieux leur climat local et puissent élaborer des scénarios de changement climatique, ils doivent avoir des réseaux adéquats et opérationnels d'observation systématique ainsi qu'un accès aux données provenant d'autres réseaux mondiaux et régionaux. Ces systèmes permettent

l'intégration des systèmes nationaux d'alerte précoce, la cartographie SIG des zones vulnérables, l'information météorologique sur les inondations et les sécheresses ainsi que la cartographie des épidémies. De cette façon, ils fournissent des indicateurs pour le suivi des impacts du changement climatique et facilitent la préparation aux catastrophes et la planification de l'adaptation.

L'Organisation pour l'alimentation et l'agriculture des Nations Unies (FAO) opère un certain nombre d'initiatives visant à modéliser les impacts du changement climatique sur l'agriculture et fournissant des informations vitales pour la prise de décision et la planification nationale (encadré 4.2).

Encadré 4.2 Les initiatives de modélisation des impacts du changement climatique sur l'agriculture de la FAO

Le « Climpag » (impact du changement climatique sur l'agriculture) vise à rassembler des informations sur les interactions entre la météo, le climat et l'agriculture dans le contexte général de la sécurité alimentaire. Le programme a développé des méthodologies et des outils pratiques pour aider à augmenter la compréhension et faciliter l'analyse de l'effet de la variabilité des conditions météorologiques et climatiques sur l'agriculture. L'un de ces outils est la prévision agro-météorologique des récoltes qui est utilisée pour estimer les rendements des cultures (t/ha) et la production en général, quelques mois avant que la récolte ait lieu. L'approche de la FAO utilise des modèles informatiques qui tentent de simuler les interactions climat-sol sur les plantes. Les principaux facteurs qui affectent les rendements des cultures sont introduits dans le modèle qui produit alors des sorties telles que des cartes de l'état des cultures et des rendements. Les données météorologiques sont parmi les données les plus importantes qui conditionnent la variabilité interannuelle des rendements des cultures et sont donc une entrée essentielle pour la prévision des rendements. D'autres entrées incluent le calendrier des cultures⁵, les rapports sur les cultures, les variables obtenues par satellite, telles que l'indice différentiel normalisé de végétation (NDVI, acronyme anglais) ou le « cold cloud duration » (CCD), ainsi que d'autres facteurs tels que la technologie, la gestion, les prix et les politiques gouvernementales, etc.

Le FAO-MOSAICC (ensemble intégré de modèles destinés à évaluer l'impact du changement climatique au niveau national) intègre quatre modèles (statistiques) reposant sur la réduction d'échelle des données des modèles globaux de circulation, l'hydrologie, la croissance des cultures et l'évaluation des impacts du rendement des cultures sur les économies nationales. L'objectif du système est d'évaluer les impacts du changement dans les rendements sur les économies nationales afin de développer des stratégies d'adaptation efficaces. Le système sera déployé dans les institutions nationales dans deux pays africains pilotes en 2011 et sera accompagné d'une formation et d'un processus de renforcement des capacités.

Source: Site Web de la FAO www.fao.org/nr/climpag; Kuika et al, 2011

Avantages

Avoir un système national complet et fiable de suivi du climat présente de nombreux avantages. Au niveau national, des prévisions exactes sont inestimables pour de nombreux secteurs, notamment l'agriculture. Dans les pays en développement, où la principale activité économique de la majorité de la population est liée à l'agriculture, des prédictions sur les conditions environnementales peuvent avoir un impact énorme sur la vie des gens et l'approvisionnement alimentaire national. Les décisions concernant les cultures à semer, quand semer et quand récolter sont cruciales. La précision dans les prévisions permet donc de prendre de meilleures décisions (encadré 4.3).

Encadré 4.3 Zonage climatique des espaces agricoles à risque au Brésil

Depuis 1996, le Ministère brésilien de l'Agriculture et l'EMBRAPA (Entreprise brésilienne de recherche agricole) ont coordonné un programme de zonage agricole dans le but d'accroître la productivité agricole, en réduisant les pertes agricoles dues à des périodes de semis incorrectes. Dans l'État de São Paulo, les périodes de semis pour le riz, les haricots, le maïs, le soja et le blé ont été définies pour minimiser les impacts de périodes sèches et des températures élevées durant la phase de reproduction, des périodes très humides pendant la récolte, et des températures basses pendant le cycle de culture. Les périodes de plantation ont été définies par la simulation d'un bilan hydrique climatique qui donne un indice de l'approvisionnement en eau (ISNA) en utilisant des données pluviométriques historiques de l'évapotranspiration potentielle, les caractéristiques physiologiques de chaque culture, et la rétention de l'eau par le sol. Les résultats suivants peuvent être soulignés:

- Une réduction des pertes agricoles en raison d'événements climatiques défavorables
- Une augmentation de la productivité qui peut, dans certains cas, garantir des bénéfices pour le producteur
- Une disponibilité des données qui peuvent être utiles pour aider à la planification agricole officielle
- Une économie d'environ 150 millions de dollars par an dans le budget officiel destiné à couvrir les pertes agricoles

Source: Zullo Jr et al, 2006

L'un des effets du changement climatique semble être la plus grande fréquence d'événements météorologiques extrêmes. Il s'agit notamment d'ouragans et de typhons ainsi que de températures extrêmes et de fortes pluies hors saison, ce qui peut provoquer des sécheresses, des inondations, des glissements de terrain et autres catastrophes naturelles. Compte tenu des effets dévastateurs que ces événements peuvent avoir sur la production agricole, toute amélioration de la capacité à prévoir ou anticiper et planifier en conséquence est inestimable. En raison de la complexité des systèmes climatiques et météorologiques mondiaux, et du fait que notre compréhension est basée sur la modélisation à partir de données historiques, la mesure régulière de variables spécifiques par les systèmes nationaux de suivi du climat est essentielle pour le développement de systèmes d'alerte précoce.

Désavantages

Le principal désavantage d'un système de suivi du climat national est le coût. Pas seulement le capital nécessaire pour acheter, installer et faire fonctionner tous les équipements nécessaires, mais aussi les coûts permanents de l'entretien du matériel, de la collecte de données exactes, de la construction et du maintien de bases de données, les coûts liés à l'interprétation des données et, finalement, les coûts pour s'assurer que les informations pertinentes soient communiquées aux personnes concernées en temps voulu. La qualité de l'information produite par un système de suivi du climat est dépendante de la qualité des données recueillies. Des données inexactes résultant d'un équipement défectueux ou de lacunes dans la couverture faussent les résultats et peuvent conduire à des prévisions erronées.

Pour de nombreux pays en développement, des ressources insuffisantes sont allouées à la construction et au maintien d'un système de suivi du climat national. En outre, en raison des nombreux problèmes pressants auxquels sont confrontés les pays en développement, les gouvernements et les décideurs politiques ont souvent eu tendance à se concentrer sur des solutions à court terme. Dans le cas de la plupart des pays africains, par exemple, le climat n'est pas systématiquement intégré dans la planification à long terme et dans les décisions d'investissement.

Connaissances et suivi requis

Pouvoir évaluer les impacts de la vulnérabilité au changement climatique et travailler ensuite sur les besoins d'adaptation dépend de la qualité de l'information. Une fois l'information recueillie, elle doit être analysée et introduite dans des modèles informatiques complexes pour faire des prédictions sur les conditions futures. Le maintien d'un système national de suivi du climat est une entreprise d'envergure et nécessite une main-d'œuvre spécialement formée. Les populations locales peuvent être formées pour utiliser l'équipement et prendre des mesures précises sur le terrain qui peuvent ensuite être introduites dans la base de données des services météorologiques ou hydrométéorologiques nationaux. Le traitement et l'analyse des données brutes, cependant, nécessitent de nombreux employés hautement qualifiés et expérimentés. En plus, afin d'assurer une couverture suffisante de la collecte de données, les stations de mesure doivent souvent être situées dans des endroits éloignés et isolés.

Exigences institutionnelles et organisationnelles

Un système de surveillance du climat national est en lui-même un réseau complexe de ressources régionales et locales de suivi, mais l'ensemble du système doit être géré et coordonné par le Service météorologique et hydrométéorologique national (SMHN). Le SMHN doit partager les données climatiques avec les autres organisations nationales et internationales compétentes ainsi qu'avec les chercheurs.

Coûts et besoins financiers

Les besoins financiers pour la création ou l'amélioration d'un système national de suivi du climat sont considérables. Les plans d'action régionaux du SMOC pour les dix régions en développement détaillent les besoins prioritaires mondiaux pour l'amélioration des systèmes d'observation atmosphériques, océaniques et terrestres, totalisant plus de 200 millions de dollars. Les besoins communs comprennent le maintien et l'amélioration des réseaux d'observation opérationnels; la récupération de données historiques; et l'éducation, la formation et le renforcement des capacités. Pour renforcer les systèmes de suivi météorologique et climatique en Afrique, la Banque africaine de développement (BAD) et la Banque mondiale ont accepté de fournir 155 millions de dollars par l'intermédiaire du Centre africain pour les applications de la météorologie au développement. Au Cameroun, un Observatoire national sur les changements climatiques a été mis en place avec un appui financier de 6 millions de dollars. L'observatoire vise à fournir des données sur les effets du changement climatique sur les populations, l'agriculture et les écosystèmes du pays, et à guider le travail sur l'action climatique.⁶

Les facteurs qui entravent la mise en œuvre

Les principaux obstacles à la mise en œuvre sont les ressources financières et humaines nécessaires pour mettre en place et maintenir un système national de suivi climatique. Le matériel, les logiciels et le personnel nécessaires sont un grand engagement en temps et en ressources financières. Pour de nombreux pays en développement, d'autres problèmes plus urgents ont la priorité sur ces ressources.

Les facteurs favorisant la mise en œuvre

Le mécanisme de coopération du SMOC (GCM, acronyme anglais) fait partie de l'initiative du SMOC. Le GCM vise à développer une approche multi-gouvernementale coordonnée pour répondre aux besoins d'un financement stable, à long terme, pour les éléments clés des systèmes d'observation du climat mondial, en particulier pour les pays en développement. Le Conseil des donateurs du GCM établit des procédures appropriées pour l'élaboration de propositions de financement, gère l'allocation des fonds, contrôle les activités de mise en œuvre et assure la liaison avec les institutions nationales et internationales.

Les caractéristiques du mécanisme de financement du GCM comprennent:

- le développement d'une masse critique de financement pour soutenir la réalisation d'améliorations durables dans les systèmes mondiaux d'observation du climat
- la capacité à faire face à toutes les exigences de financement dans les pays en développement; celles-ci comprennent l'amélioration du système, les opérations maintenues, et le renforcement des capacités
- la capacité à développer, financer et mettre en œuvre des approches transversales pertinentes à toutes les disciplines ayant trait au climat, y compris la gestion et l'échange de données

Exemple concret d'application

Encadré 4.4 Le suivi du changement climatique au Kenya

Une sous-division du Département météorologique du Kenya (KMD, acronyme anglais) est le service de suivi du changement climatique et de la surveillance de la pollution. Les objectifs principaux de cette division sont la recherche scientifique, le suivi, la détection et l'évaluation des changements climatiques dans le pays. Les résultats attendus comprennent:

- L'utilisation de données liées aux changements climatiques dans la gestion, la planification et la préparation aux urgences
- L'amélioration de la capacité des modèles utilisés pour prévoir l'évolution future du système climatique (c'est-à-dire de la capacité des modèles à simuler la variabilité dans le passé, le présent et le futur)
- La capacité (i) d'identifier/comprendre les impacts, la vulnérabilité et l'adaptation; (2) de sélectionner et mettre en œuvre des mesures d'adaptation; et (iii) de gérer plus efficacement les risques climatiques
- L'intégration renforcée du changement climatique et de l'adaptation aux mécanismes de développement durable dans le pays

La division participe à des initiatives et activités liées au changement climatique national, régional et international. Il s'agit notamment des initiatives du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC); de la Convention cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (CCNUCC); des programmes de préparation nationale d'adaptation (PANA); de l'initiative d'adaptation aux changements climatiques sur les terres arides et semi-arides du Kenya (KACCAL, acronyme anglais); du développement de la stratégie de réponse nationale au changement climatique (PRN, acronyme anglais); et du développement d'un plan directeur sur le changement climatique de la communauté est-africaine.

Afin de faire face efficacement à la variabilité et aux changements climatiques, le KMD a pris certaines mesures qui permettront l'amélioration de la qualité du service. Celles-ci comprennent:

- L'émission de prévisions d'inondations
- La recherche de l'amélioration des prévisions sur les perspectives climatiques saisonnières. Le KMD accueille la station du Mt. Kenya Global Atmospheric Watch (GAW). Le but du programme de la GAW est de surveiller, à long terme, la composition changeante de l'atmosphère.

Source: Site Web du département météorologique du Kenya

4.1.2 Prévisions saisonnières à interannuelles

Définition

Cette technologie permet une prévision des conditions météorologiques sur une période de trois à six mois. Les prévisions saisonnières sont basées sur les données climatiques existantes; en particulier, sur la température de la surface de la mer qui est ensuite utilisée dans des modélisations dynamiques océan-atmosphère, associée à la synthèse de modèles nationaux et internationaux physiquement plausibles.⁷ Les prévisions saisonnières peuvent être développées en utilisant des modèles mathématiques du système climatique (Alexandrov, 2006).

Comment cette technologie contribue à l'adaptation au changement climatique

Selon les définitions de l'Organisation météorologique mondiale (OMM), la prévision saisonnière à interannuelle (SI) va de 30 jours à deux ans: prévisions mensuelles, prévisions sur 3 mois (description des paramètres météorologiques moyens exprimés au départ de valeurs climatiques pour une période de 90 jours) et prévisions saisonnières (OMM, 2010).

Les systèmes modernes et scientifiques facilitent la prévision saisonnière. La prévision d'anomalies saisonnières du climat nécessite l'utilisation de modélisations avec un couplage océan-atmosphère complexe. On estime que la variabilité océanique est un facteur important influençant les variations et les changements climatiques dus à la capacité de l'océan à absorber et libérer de la chaleur dans l'atmosphère. Un effort considérable a été fait pour améliorer la compréhension des phénomènes responsables de la variabilité saisonnière, et la plupart des grandes institutions météorologiques à travers le monde ont développé des systèmes de prévision d'ensemble (EPS, acronyme anglais) pour la prévision saisonnière opérationnelle basée sur des modélisations générales couplées océan-atmosphère (Grupo de Meteorología de Santander, 2010).

Le changement climatique est un défi pour les connaissances traditionnelles et les agriculteurs ne peuvent plus prédire le climat en utilisant des indicateurs naturels de saison. Selon Troccoli et al (2007), « (les agriculteurs) ont souvent des méthodes traditionnelles de prévision saisonnière basées sur l'observation d'oiseaux, d'animaux et de végétaux. Cependant, alors que les pratiques traditionnelles peuvent être résistantes au changement, l'expérience montre souvent la volonté des agriculteurs d'utiliser d'autres systèmes de connaissances qui peuvent être employés en parallèle des pratiques locales et peut-être en fin de compte les remplacer » (Troccoli et al, 2007; 303). Par exemple, au Burkina Faso les agriculteurs ont toujours utilisé les températures hivernales, la date et la quantité des premières pluies, et la connaissance spéciale des devins et des chefs religieux. Cependant, ils ont admis que les indicateurs traditionnels ne fonctionnent plus en raison de changements dans le climat et ils accueillent les nouvelles technologies (Kirshen et al, 2003).

Figure 4.1 Centres mondiaux de l'OMM de prévisions à long terme⁸



Source: OMM 2010 (www.wmo.int)

Avantages

Bien que la connaissance et la compréhension de la situation socio-économique sont importantes et doivent être prises en compte, Meinke et Stone (2005; 221) ont démontré comment la connaissance de la variabilité climatique peut conduire à de meilleures décisions pour l'agriculture, indépendamment de l'emplacement géographique et des conditions socio-économiques. Dans les systèmes agricoles, cette technologie peut améliorer la préparation au changement et conduire à de meilleurs résultats sociaux, économiques et environnementaux. Elle permet une meilleure prise de décisions en ce qui concerne la gestion tactique des cultures, la commercialisation des denrées et de meilleures décisions politiques sur l'utilisation future des terres (idem).

Selon leurs recherches, et en se basant sur une gamme d'échelles temporelles et spatiales, les types de décisions agricoles qui pourraient bénéficier des prévisions climatiques ciblées sont énumérés dans le tableau 4.3.

Tableau 4.3 Décisions agricoles et prévisions climatiques

Exemple de types de décision	Fréquence (années)
Logistique (p.ex. calendrier agricole pour la plantation ou les récoltes)	Intra-saisonnière (<0.2)
Gestion tactique des cultures (p.ex. utilisation de fertilisants et d'insecticides)	Intra-saisonnière (0.2-0.5)
Type de culture (p.ex. blé ou pois chiches) ou gestion des troupeaux	Saisonnière (0.5-1.0)
Espacement des cultures (mise en jachère longue ou courte durée) ou taux d'occupation	Interannuelle (0.5-2.0)
Rotations des cultures (cultures d'hiver ou d'été)	Annuelle ou biannuelle (1-2)
Industrie des cultures (p.ex. grains ou coton; pâturages naturels ou améliorés)	Décennale (~10)
Industrie de l'agriculture (p.ex. agriculture ou élevage)	Inter-décennale (10-20)
Utilisation de la terre (p.ex. systèmes agricoles ou naturels)	Multi-décennale (>20)
Utilisation de la terre et adaptation des systèmes actuels	Changement climatique

Source: Meinke et Stone, 2005; 230

En outre, la prévision saisonnière à interannuelle connaît une grande variété d'applications pratiques, allant des questions liées à la sécurité, telles que la gestion des ressources en eau, la sécurité alimentaire, ou la prévision et prévention des catastrophes, à la planification de la santé, la gestion de l'agriculture, l'approvisionnement en énergie, et même au tourisme. C'est un élément clé dans certains systèmes/processus décisionnels en matière de politique et essentiel à la réalisation des objectifs à long terme des stratégies d'adaptation au changement climatique (Troppoli et al, 2007). En Europe de l'Est par exemple, la prévision saisonnière à interannuelle est prise en considération pour le renforcement de la prévention et de la gestion des sécheresses, pour les plans d'urgence à la sécheresse, au niveau local, sous régional, régional et national (Alexandrov, 2006).

Désavantages

Lorsque l'on considère les limites de cette technologie, il est important de noter que malgré les réalisations importantes en matière de stratégies d'adaptation basées sur des systèmes de prévision saisonnière, des niveaux significatifs de compétence ne sont généralement trouvés que dans les régions fortement liées au phénomène d'oscillation australe d'El Niño (ENSO) (Arribas et al, 2009). C'est une variation interannuelle quasi périodique dans les modèles globaux des courants atmosphériques et océaniques qui modifie les précipitations saisonnières locales à plusieurs endroits dans le monde (Meinke et Stone, 2005; 228). En fait, la prévision ENSO est le principal exemple de la prévision climatique saisonnière et c'est pourquoi les techniques utilisées sont continuellement améliorées. Par exemple, le Met Office au Royaume-Uni a mis au point un nouveau système de prévision saisonnière (GloSea4) qui est flexible, facile à mettre à jour et permet de meilleures prévisions dans les régions soumises à l'influence d'El Niño.⁹

Connaissances et suivi requis

Pour utiliser cet outil de façon efficace, Meinke et Stone suggèrent une approche participative et une recherche interdisciplinaire réunissant les institutions (partenariats), différentes disciplines (comme la science du climat, la science des systèmes agricoles, la sociologie rurale, et bien d'autres disciplines) et des personnes clés (scientifiques, décideurs et bénéficiaires directs) en tant que partenaires égaux: « la science du climat peut fournir des indications sur les processus climatiques, la science des systèmes agricoles peut traduire ces idées en options de gestion et la sociologie rurale peut aider à déterminer les meilleures options d'un point de vue socio-économique » (2005; 221).

L'interprétation des prévisions saisonnières du climat n'est pas facile pour la plupart des techniciens agricoles et agriculteurs, comme elles sont exprimées en probabilités de variations positives ou négatives de la température ou des précipitations. Même s'il faut reconnaître que toutes les prédictions contiennent une certaine incertitude, les intervenants agricoles ont besoin de beaucoup d'aide pour identifier les tendances saisonnières probables. De même, les services météorologiques ont besoin d'un personnel compétent qui puisse présenter l'information de manière à ce que le public puisse comprendre et interpréter.

Coûts et exigences organisationnelles

Pour mettre en œuvre cette technologie, il est nécessaire d'établir un service météorologique avec un personnel qualifié, formé et expérimenté. Cela implique des coûts élevés si un pays ou une région part de zéro, bien que ces coûts pourraient être considérablement réduits en utilisant les bureaux dans les bâtiments publics ainsi qu'en créant des partenariats avec des instituts scientifiques et des centres mondiaux de production.

Facteurs qui entravent la mise en œuvre de cette technique

L'accès à la prévision (météorologique et saisonnière) et à l'information sur le climat est commun à la plupart des technologies d'adaptation. Cependant, comme avec d'autres interfaces entre les communautés et les experts, il faudra investir dans les méthodes appropriées de communication et d'échange de connaissances (Ensor, 2009), telles que des campagnes ciblées afin de promouvoir l'utilisation de l'information et l'utilisation des plates-formes électroniques dans les communautés locales.

Rendre la prévision saisonnière pertinente pour les petits producteurs et s'assurer que l'information les atteigne représentent les principaux défis. Pour cette raison, les stratégies de communication sont la clé de l'utilisation efficace de cette technologie. Basé sur son expérience au Lesotho, Zervogel a souligné que bien que les informations de prévision climatique saisonnière soient utiles pour certains agriculteurs, la diffusion de l'information est un défi. C'est parce qu'elle est souvent diffusée en anglais plutôt qu'en sesotho et ce via un communiqué de presse qui n'apporte pas le suivi souhaité par les producteurs. En conséquence, ils sont incapables d'étudier l'information de manière plus approfondie. Cela entrave la discussion entre les agriculteurs et les experts sur ce que sont les besoins d'information et comment elle pourrait être utilisée (Zervogel, 2007).

Kirshen et al (2003; 4), sur la base des enseignements tirés de l'expérience d'adaptation au changement climatique en Afrique de l'Ouest, ont souligné certains problèmes de communication spécifiques qui doivent être pris en compte:

- Diffusion: il n'y a pas toujours une diffusion équitable des informations aux différents groupes de village
- Mesures: les agriculteurs pensent en termes de production agricole, de santé du bétail et de disponibilité de l'eau, pas en quantité de pluie

- Concepts: il est important d'expliquer qu'une prévision est basée sur des probabilités, non des certitudes et qu'elle couvre seulement une région ou une zone spécifique
- Médias: la plupart des agriculteurs peuvent être atteints par les médias traditionnels, mais ils pourraient avoir des questions spécifiques nécessitant une réponse directe. Le projet de prévision climatique pour les ressources agricoles (CFAR, acronyme anglais)¹⁰ a organisé des ateliers dans lesquels on explique aux agriculteurs « clés » (c'est-à-dire ceux qui interagissent beaucoup avec d'autres producteurs) les prévisions climatiques. Ces agriculteurs agissent alors comme des intermédiaires pour diffuser les prévisions auprès des autres agriculteurs dans leurs villages.

Des approches complémentaires suggèrent que plutôt que de remplacer les prévisions traditionnelles des agriculteurs, l'adaptation sera facilitée si les nouvelles prévisions sont traitées en synergie, aux côtés des méthodes traditionnelles, comme un moyen facilitant l'introduction de nouvelles technologies (Troppoli et al, 2007; 303).

Les facteurs favorisant la mise en œuvre

Comme avec la plupart des technologies appliquées au niveau national, les possibilités de mise en œuvre peuvent être trouvées là où existe une forte volonté politique de mettre en œuvre un plan d'action national pour faire face au changement climatique, et là où les communautés travaillent dans des réseaux verticaux (avec le gouvernement et les institutions formelles).

Exemples concrets d'application

Les services météorologiques et hydrométéorologiques nationaux (SMHN) de la Bulgarie, de la Lettonie, de la Serbie, du Monténégro, de la Slovaquie, de la Biélorussie, de l'Arménie, d'Azerbaïdjan, de la Pologne et de la Roumanie fournissent des prévisions saisonnières et interannuelles (SI) officielles. En général, les pays d'Europe de l'Est ont tendance à utiliser des données SI fournies par d'autres acteurs mondiaux (tableau 4.4).

Tableau 4.4 Pays utilisant des données SI fournies par des acteurs mondiaux

Pays	Acteurs mondiaux
Arménie, Azerbaïdjan, Biélorussie, Lettonie	ROSHYDROMET
Slovaquie, Grèce	ECMWF
Bulgarie	ECMWF, IRI, Met Office R.U., Météo-France pour une prévision météo mensuelle et l'archivage des données climatiques
Lituanie	IRI, World Resources Institute et le Swedish Regional Climate Modelling Program ou Programme de modélisation climatique régionale suédois
Pologne	ECMWF, IRI, DWD
Roumanie	ECMWF, Met Office, IRI et l'Agence japonaise de météorologie entre autres

Selon une enquête menée en 2004 (Gocheva et Hechler)¹¹, tandis que la Russie, la Croatie, la Serbie, le Monténégro et la Slovaquie n'utilisent que partiellement les données SI pour certains secteurs, l'Arménie, la Biélorussie, la Bulgarie, le Kazakhstan, la Lettonie, la Pologne et la Roumanie ont une application SI relativement large et ce pour divers secteurs de l'économie (comme pour la production et la consommation d'énergie, l'agriculture, la gestion des catastrophes, le tourisme, la santé, la gestion de l'eau, le transport et l'assurance).

Il n'y a aucune évaluation des avantages spécifiques, mais en général, selon l'enquête de Gocheva et Hechler, la SI semble relativement bien fonctionner dans les régions liées au phénomène ENSO, mais produit des données peu fiables pour les latitudes moyennes (NAO, acronyme anglais) comme la Croatie, la Pologne et la Roumanie. Elle semble également bien fonctionner pour des régions et des secteurs spécifiques en Bulgarie, Estonie, Slovénie et à Chypre, tandis qu'en Arménie, Moldavie et au Kazakhstan, elle s'est avérée efficace pour beaucoup de régions géographiques.

Encadré 4.5 Prévisions climatiques saisonnières au Lesotho

L'agriculture fait vivre la majorité de la population au Lesotho. Elle est généralement effectuée sur des terres marginales qui sont souvent raides, érodées et infertiles. Vient s'ajouter à cela un climat très variable. La prévision climatique saisonnière est réalisée par le Service météorologique du Lesotho (LMS, acronyme anglais) et est diffusée à l'échelle nationale. Ces prévisions fournissent des informations sur les précipitations prévues au cours de la saison des pluies et constituent une source importante d'information pour aider les agriculteurs à répondre à la variabilité climatique. Or la précision des prévisions varie, principalement en raison du fait que le Lesotho est un pays montagneux où la variabilité climatique est élevée. Néanmoins, les agriculteurs ont déclaré utiliser les informations pour investir ou non dans l'engrais selon si oui ou non on prévoit une bonne année. L'information est d'ailleurs utilisée pour orienter les décisions sur le type de culture, sur comment gérer les ressources en eau et sur la façon de répartir les ressources agricoles et ménagères. Elle sert également aux agriculteurs pour changer leurs activités de plantation et d'investissement selon qu'une sécheresse ou une bonne saison pluvieuse est annoncée.

Le modèle du Lesotho a rencontré un certain nombre de défis, concernant la diffusion et la communication de l'information, qui doivent être abordés afin de fournir un service plus efficace aux agriculteurs du pays. Cette expérience offre un aperçu utile à d'autres gouvernements qui voudraient mettre en œuvre cette même technologie dans leurs pays respectifs. Les défis rencontrés sont:

- Souvent, l'information est diffusée en anglais plutôt qu'en sesotho
- La diffusion tardive des prévisions laisse peu de temps aux agriculteurs pour prendre des décisions
- À cause du manque de personnel dans le LMS, il n'y a pas assez de temps consacré à l'élaboration de stratégies de diffusion des informations, telles que les émissions radio ou du matériel sur papier. Les prévisions émises au niveau national, par le biais d'un communiqué de presse par exemple, devraient en principe être « filtrées vers le bas », c'est à dire à partir du niveau des districts jusqu'aux utilisateurs finaux. Or ceci est rarement réalisé efficacement en raison de la faiblesse de la coordination entre les institutions de l'État, telles que le Ministère de l'Agriculture, et les bureaux agricoles de district
- Les agents de vulgarisation sont mal formés pour communiquer efficacement l'information aux agriculteurs. Les agriculteurs disent préférer recevoir les informations de la part des chefs de village lors des réunions communautaires
- Aucun suivi réel n'est fourni aux agriculteurs (de la part des agents, des fournisseurs d'intrants ou d'autres organisations) concernant par exemple la réduction du nombre de têtes de bétail, la réduction de la densité des cultures, ou concernant la plantation des cultures plus résistantes à la sécheresse.

Encadré 4.6 La prévision saisonnière au Burkina Faso

Au Burkina Faso, il existe un gradient pluviométrique très variable qui peut aller de plus de 1 000 mm de pluie dans la zone climatique du Soudan, au sud-ouest, à moins de 100 mm à la frontière du désert, au Sahel. Il y a aussi des variations de précipitations considérables d'année en année allant de seulement 400 mm pour une année de sécheresse à 2 000 mm pour une année de fortes précipitations. De toute évidence, ces différences affectent grandement la productivité de l'agriculture et les décisions que les agriculteurs ont besoin de prendre.

Un projet mis en œuvre par l'Université de Tufts et l'Université de Géorgie, appelé « la prévision climatique pour les ressources agricoles », cherche à améliorer l'accès et la capacité des agriculteurs à utiliser les prévisions climatiques saisonnières (Ingram et al, 2002). Les entrevues avec les agriculteurs ont indiqué qu'en général ils préféraient connaître le moment de l'apparition des pluies, la probabilité de déficits en eau pendant la saison des pluies, et enfin seulement la quantité totale de pluie. Néanmoins, il y avait également des différences entre les agriculteurs. Les producteurs de coton et de maïs préféraient connaître le début de la saison des pluies pour se préparer à la plantation, et pour pouvoir estimer les déficits possibles lorsque le maïs est en floraison. Dans les zones les plus arides, où le sorgho et le millet sont cultivés, les agriculteurs préféraient connaître la quantité de pluie afin de savoir s'il fallait planter dans les zones de rétention d'eau basses ou hautes, et pour savoir quelles variétés planter. Aussi, la plupart des agriculteurs étaient d'accord pour dire qu'ils avaient besoin de l'information un à deux mois avant le début des pluies afin d'avoir la possibilité d'ajuster leur planning et leurs pratiques de plantation, pour chercher des semences de variétés appropriées, et afin de préparer les champs à des endroits adaptés.

En 1999, la prévision saisonnière a été annoncée à la radio en français, mais certains producteurs n'écoutent pas la radio, et même s'ils l'écoutent, certains ne comprennent pas le français. Certains agents de village, bien qu'ils aient reçu les prévisions, ne les comprenaient pas et donc les ignoraient. En mai 2000, on a présenté aux producteurs une prévision selon laquelle il y avait une probabilité de 40 pour cent d'avoir des précipitations supérieures à la normale, une probabilité de 40 pour cent d'avoir des précipitations normales, et une probabilité de 20 pour cent d'avoir une pluviosité inférieure à la normale. Ceci renforçait les agriculteurs dans leur croyance que les pluies allaient être supérieures à la moyenne. Pour illustrer la nature de la probabilité, 100 morceaux de papier ont été mis en « tirage au sort » – 40 qui prévoyaient plus de pluie que la normale, 40 avec une pluie normale et 20 avec moins que la normale. Les agriculteurs ont ensuite été invités à tirer un morceau de papier afin de démontrer le degré d'incertitude quant aux prédictions.

En général, il a été considéré que les prévisions devraient être présentées sur les radios locales dans la langue locale, et, idéalement, être soutenues par les agents de vulgarisation (animateurs) qui peuvent aider avec l'interprétation. En 1999, les prévisions ont encouragé les agriculteurs à continuer à planter même si les pluies devaient débuter en retard, car on s'attendait à de fortes pluies. Cela a conduit à la plantation de 50 000 hectares supplémentaires de coton qui n'étaient pas encore plantés au moment où les pluies devaient normalement commencer. Les météorologues craignaient que les agriculteurs prennent les prédictions comme une certitude et qu'ils les blâment si elles ne s'avéraient pas justes. Il a été convenu alors que cette incertitude devrait être soulignée dans les prévisions, afin de rendre les producteurs conscients de cette marge d'erreur dans les prévisions et pour qu'ils puissent planifier en conséquence, en diversifiant leurs stratégies de plantation. Aussi, il est important que les agriculteurs continuent de compléter les prévisions météorologiques avec leurs propres connaissances et les indicateurs biologiques traditionnels.

Les stratégies paysannes varient en fonction des cultures principales:

- Les agriculteurs dans le sud-ouest, zone de fortes précipitations, ont indiqué qu'ils changent l'orientation des sillons selon les taux de précipitations prévus; des sillons en travers des pentes pour les années sèches afin de retenir l'eau et des sillons bas pour les années humides afin d'évacuer l'eau. Si de fortes pluies sont prévues, les agriculteurs plantent du riz qui est très résistant aux inondations. De même, si de bas taux de précipitations sont prévus, ils plantent plutôt du maïs ou du sésame. Aussi, si de faibles taux de précipitations sont prévus, les producteurs mettent généralement l'accent sur les cultures vivrières plutôt que sur les cultures de rente (coton). Il y a aussi une interaction entre la disponibilité de la main-d'œuvre, les pluies et les mauvaises herbes, qui sont un vrai problème; pour s'adapter à ceci, les producteurs préfèrent souvent planter du sorgho, qui est moins sensible aux mauvaises herbes que le maïs.
- Les agriculteurs du plateau central sélectionnent les emplacements où planter en fonction du climat. Durant les années de sécheresse, ils planteront plutôt dans les fonds de vallées, pour lesquels il y a beaucoup de concurrence, alors que durant les années humides ils peuvent planter sur les sols peu profonds. Durant les années humides, les vallées peuvent être utilisées pour la plantation de riz, de mil ou de maïs. Cependant, le maïs nécessite plus d'attention et d'engrais. Au cours des 10-15 dernières années, les agriculteurs ont remplacé les variétés de sorgho de longue durée (de 120 à 150 jours) avec les variétés de courte durée (70 à 90 jours), bien que les variétés de courte durée aient besoin d'un désherbage plus régulier et d'un sol plus fertile pour donner de meilleurs résultats en termes de rendement.

En général, les agriculteurs préféraient recevoir des prévisions sur le climat, mais leur capacité à réagir à cette information dépend largement de la façon dont elle leur a été expliquée ainsi que des ressources et du temps dont ils disposent pour faire des adaptations. Heureusement, il semble y avoir une capacité institutionnelle suffisante et des réseaux de radios locales largement écoutées par les agriculteurs, de sorte que les prévisions météo saisonnières semblent être une technique viable. Toutefois, les services et les ressources de vulgarisation pour soutenir l'utilisation de ces connaissances font encore largement défaut.

Source: Ingram et al, 2002

4.1.3 Systèmes d'alerte précoce communautaires et décentralisés

Définition

Un système d'alerte précoce (EWS, acronyme anglais) est un ensemble de procédures par lesquelles des informations sur des risques prévisibles sont collectées et traitées pour prévoir l'apparition possible de catastrophes naturelles. Ces systèmes acquièrent de plus en plus d'importance en raison de l'augmentation de la variabilité du climat, et la capacité de mettre en œuvre ce genre de système est devenue fondamentale pour améliorer la capacité d'adaptation au changement climatique.

Comment cette technologie contribue-t-elle à l'adaptation au changement climatique?

Il existe deux types d'EWS:

- **Les systèmes centralisés** mis en œuvre par des organismes gouvernementaux nationaux. Le ministère de la Défense ou toute autre entité gouvernementale appropriée est responsable de l'exécution des activités d'alerte et de réponse au risque.

- **Les systèmes communautaires décentralisés**, généralement exploités par un réseau de bénévoles, qui emploient un équipement simple pour surveiller les conditions météorologiques et entretiennent un réseau de communication par radio.

Les opérateurs des stations météorologiques communautaires et décentralisées rapportent les informations à un centre de prévision locale où les données sont analysées, puis retransmises vers le réseau communautaire. La demande pour les systèmes communautaires décentralisés est en augmentation en raison des coûts d'exploitation plus faibles, et à cause de la nécessité d'une prévision et d'un suivi local de la variabilité climatique.

Les principales étapes d'implémentation d'un système communautaire décentralisé:

- Mettre en place un comité d'organisation (dirigeants de la communauté et de la société civile, des ONG, des représentants des autorités locales et du secteur privé)
- Créer et analyser l'information: construction et installation d'instruments de mesure et réalisation de prévisions
- Produire un plan d'urgence et de contingence de façon participative
- Mettre en œuvre un système de communication: alertes précoces, diffusion des mesures de prévention, d'atténuation et d'adaptation

La fréquence et l'intensité élevée des événements météorologiques extrêmes, la sécheresse prolongée et la désertification, les périodes de fortes pluies et le risque accru d'inondation sont seulement quelques-uns des impacts du changement climatique qui affectent les populations les plus pauvres du monde (GIEC GT II, 2007). La technologie EWS, conçue comme une stratégie d'adaptation au changement climatique, doit donc être capable de prévoir un certain nombre de ces événements climatiques à des échelles de temps spécifiques:

- Trois à quatre mois de préavis pour une sécheresse
- Deux à trois semaines de préavis pour les risques de gels et pour les moussons
- Quelques heures de préavis pour les pluies torrentielles, la grêle et les inondations

Cette technologie contribue au processus d'adaptation au changement climatique et à la réduction des risques en améliorant la capacité des communautés à prévoir, préparer et réagir à des événements météorologiques extrêmes et ainsi minimiser les dommages et les impacts sociaux et économiques négatifs, tels que la perte des moyens de subsistance.

Avantages

Les avantages de cette technologie comprennent:

- L'introduction de concepts liés aux dangers et à la gestion des catastrophes dans les processus de planification communautaire
- L'échange d'informations de nature sociale ou morale, en plus des informations climatiques, au moyen d'un réseau de communication
- La facilitation de la prise de décision dans les organisations politiques
- La création et l'amélioration d'une structure qui intègre différents acteurs impliqués dans l'élaboration de plans d'action spécifiques

Désavantages

La majorité des systèmes d'alerte précoce ont été mis en place pour prévenir ou réduire les effets des catastrophes naturelles (comme les inondations et les ouragans). Par contre, la capacité de ces systèmes à prévoir les sécheresses, les froids extrêmes et les étés indiens a été moindre. Les sécheresses sont particulièrement différentes des autres événements météorologiques extrêmes, car elles commencent lentement et progressivement et sont moins « évidentes » au départ. En outre, la sécheresse peut durer de longues périodes et affecter de vastes zones. Compte tenu de cette complexité, les systèmes EWS devraient être complétés par des données historiques sur les sécheresses ainsi qu'avec les statistiques climatologiques, hydrologiques, physiques, biologiques et socio-économiques disponibles. Seulement en combinant ces données, les causes complexes des sécheresses pourront être mieux comprises et différents scénarios modélisés, dans le but de développer des pronostics (tels que la date de début probable de la saison des pluies ou des variations possibles dans les pluies et la saison sèche) pour ensuite les diffuser via des canaux de communication appropriés (Damman, 2008).

Connaissances et suivi requis

Pour mettre en œuvre un système EWS communautaire et décentralisé, un équipement de contrôle et de surveillance est nécessaire. Cela implique le traitement des informations en temps réel et l'établissement de mécanismes régionaux et nationaux d'échange d'informations techniques et scientifiques. La mise en place d'un centre d'exploitation, d'un système de communication et l'élaboration d'un processus de planification participative ainsi que des protocoles de préparation et d'intervention sont également nécessaires.

Coûts et exigences organisationnelles

Les coûts initiaux de mise en place d'un système décentralisé, comprenant dix gouvernements locaux dans un micro-bassin versant, sont estimés à 52 000 USD, et les coûts de fonctionnement annuels sont estimés à 25 000 USD, comme indiqué dans le tableau 4.5 ci-dessous.

Tableau 4.5 Coûts estimatifs pour la mise place et l'entretien d'un système d'alerte précoce communautaire

Coûts de mise en place			
Action	Unité	Coût (US\$)	Commentaires
Campagne de sensibilisation avec la participation des autorités, des institutions et de la population		10,000	Ateliers, documentation et émissions radio
Installation d'une station météorologique locale	10	5,000	1 station/district
Installation d'échelles limnimétriques	10	2,000	1 échelle/district
Création et analyse de l'information: protocoles de prévision	Étude	10,000	1 étude pour les 10 districts
Élaboration participative des plans d'urgence et de contingence	Étude	10,000	1 étude pour les 10 districts; inclut les exercices d'urgence

Contd...

Implémentation d'un plan de communication: notices d'avertissement, mécanismes de diffusion des mesures de prévention, d'atténuation et d'adaptation	Globale	5,000	Conception de bulletins et d'annonces radio, diffusion par les réseaux locaux
Formation pour les opérateurs locaux des systèmes EWS	Globale	10,000	Environ 20 personnes/district. Inclut la production de matériaux de formation
Coûts de fonctionnement			
Maintenance		1,000	Maintenance des stations météorologiques et des échelles limnimétriques
Diffusions radio		6,000	50 \$/mois par district
Diffusion de la documentation		6,000	50 \$/mois par district
Communication		12,000	100 \$/mois par district

Source: Damman, 2008

Les facteurs qui entravent la mise en œuvre

Les obstacles qui pourraient empêcher la mise en place et l'utilisation réussie de cette technologie sont liés à un certain nombre de facteurs. Il s'agit notamment du manque de confiance possible de la part de la population face à un système nouveau et inconnu, des problèmes avec la diffusion de l'information aux populations rurales vivant dans des zones éloignées, de la viabilité financière et de la gestion du système. Les suggestions pour surmonter ces obstacles, testées au Pérou (Damman, 2008), comprennent:

- La mise en œuvre d'une campagne de sensibilisation globale et d'un plan d'éducation destinés à la population et aux institutions participantes
- La participation de la population et des institutions locales dans les processus de planification et de mise en œuvre
- L'intégration des méthodes locales dans la stratégie de communication pour diffuser l'information
- Le développement d'un réseau de promoteurs locaux liés à des organisations de base pour la diffusion efficace de l'information
- Le développement de mécanismes de durabilité et d'entretien reliant le système EWS aux gouvernements locaux

Les facteurs favorisant la mise en œuvre

Les systèmes communautaires décentralisés fournissent une occasion pour sensibiliser la population sur le changement climatique et les approches de prévention des risques et catastrophes. Ils offrent également des possibilités de renforcement de capacités en matière de planification participative et de budgétisation, car grâce à la décentralisation, les rôles précédemment centralisés sont au fur et à mesure transférés aux gouvernements locaux et aux intervenants communautaires.

Exemple concret d'application

En Afrique de l'Ouest, la Croix-Rouge a mis en place des systèmes d'alerte et d'action précoce (EW/EA, acronyme anglais) dans 14 pays. Les principales caractéristiques du cadre EW/EA comprennent la diffusion d'informations appropriées aux communautés en utilisant des réseaux de communication à faible coût tels que la radio et la messagerie téléphonique (SMS); l'identification des communautés à risque et l'établissement d'un dialogue avec la structure de gestion/le chef de la communauté; la formation de comités de bénévoles locaux capables de rapporter de façon intelligible les informations météorologiques aux communautés; et le couplage effectif de l'alerte précoce à l'action grâce à une planification d'urgence (Croix-Rouge, 2010).

Entre 2006 et 2007, Practical Action Amérique latine a réalisé trois projets visant à améliorer la prévention et la gestion des catastrophes dans les régions de Piura, Apurímac et Cajamarca, au Pérou, via la mise en œuvre de systèmes d'alerte précoce communautaires (Damman, 2008). Les axes du projet étaient: (i) la sensibilisation au changement climatique, à l'adaptation et à la gestion de risques, (ii) le renforcement des capacités des parties prenantes – cela inclut les membres des communautés et les autorités locales – dans les domaines de la planification et de la budgétisation participative, (iii) la formation des membres des communautés en installation et utilisation des systèmes EWS décentralisés. Afin d'atteindre les populations rurales isolées, des réseaux de centres d'information (InfoCentres) ont été mis en place avec la participation de promoteurs locaux afin de coordonner la diffusion de l'information via des canaux populaires, y compris les émissions de radio, les documents distribués sur les marchés et les foires locales, les créneaux de la télévision et les publications rurales (journaux, revues). Les systèmes d'information installés dans ces projets ont contribué à l'adaptation de l'agriculture en permettant la cartographie des zones vulnérables et la planification participative de l'utilisation des terres. En partageant ces cartes avec les communautés locales, la population a pu identifier une série de mécanismes de réponse aux différentes éventualités, par exemple choisir les cultures qui seraient plantées si l'on devait faire face à une sécheresse. Ces systèmes d'information EWS ont servi pour aider à fournir une assistante technique aux agriculteurs et à mettre en place des parcelles de démonstration dans lesquelles on peut observer les technologies d'adaptation puis ainsi les valider de manière scientifique. (Damman, 2008).

Encadré 4.7 Changement des périodes de plantation et de récolte basé sur les informations des systèmes EWS

Les périodes de plantation (début du printemps) et de récolte (fin de l'automne) peuvent changer sur la base des informations provenant des systèmes d'alerte précoce et permettre aux agriculteurs de replanifier les moments de la plantation et de la récolte pour les faire coïncider avec les variations saisonnières. Les agriculteurs peuvent également planter des cultures dans les mois d'hiver pour éviter certaines maladies (champignons et bactéries) et fléaux (insectes). Ils peuvent utiliser des variétés résistantes qu'ils semeront pendant les mois les plus froids de l'année et où il y a moins de pluie. Les maladies peuvent être contrôlées à l'aide d'association de différentes cultures.

Étant donnée la diversité génétique de certaines variétés de cultures, elles peuvent être semées dans des conditions climatiques soi-disant défavorables; les variétés traditionnelles, par exemple, sont particulièrement résistantes au gel du sol et à la sécheresse. C'est un avantage pour faire face à des changements extrêmes des conditions météorologiques. La diversité génétique réduit le risque de perdre toute la récolte et crée les conditions pour assurer une production minimale afin de surmonter les saisons agricoles indésirables (sécurité alimentaire). En outre, dans de bonnes conditions météorologiques, des niveaux de productivité élevés peuvent être atteints.

Source: préparé par les auteurs

4.1.4 Assurance indicielle climatique

Définition

L'assurance climatique contre les pertes de culture est commune dans les pays développés où les agriculteurs se prémunissent contre la perte de récoltes due à des événements climatiques extrêmes tels que les inondations ou la sécheresse. Typiquement, les paiements sont effectués sur la base de la perte réelle des récoltes, suite à une inspection. Toutefois, les inspections sur place peuvent être coûteuses et potentiellement subjectives. Le tableau 4.6 donne un résumé des différents types de régime d'assurance climatique agricole. L'assurance indicielle climatique se base sur des modèles d'extrêmes climatiques qui affectent la production agricole afin de déterminer certains climats qui déclenchent une perte substantielle des cultures et qui donneraient donc lieu à un paiement compensatoire. Ceci a l'avantage d'être totalement objectif et de ne pas nécessiter d'inspection sur place. Le plan d'assurance récolte fédéral américain offre ce genre d'assurance depuis les années 1990.

Tableau 4.6 Sommaire des produits d'assurance climatique agricole

Produit	Base	Application	Exemples de cas réussis
Indice d'assurance Espace/rendement	Assurance contre la perte de rendement en dessous d'un certain pourcentage dans un district. Les changements dans les rendements sont vérifiés de façon indépendante sur un échantillon des exploitations dans le district.	Convient pour les pertes dues à la sécheresse; moindres coûts car pas de vérification individuelle pour chaque ferme, mais suppose un même effet moyen sur toutes les fermes dans un district.	Brésil, Inde, États-Unis
Indice d'assurance pondéré au climat	Définition de certaines conditions climatiques néfastes à l'agriculture. Si ces conditions sont rencontrées, certaines pertes de production sont assumées et compensées.	Permet qu'un grand nombre de petites exploitations soient regroupées dans une zone uniforme. Faible coût car aucune inspection nécessaire, mais coût élevé de développement pour les modèles de surveillance météorologique.	Inde, Malawi, Mexique, Canada, États-Unis
Indice normalisé de différence de végétation	Basé sur la surveillance satellitaire du développement de la végétation	Principalement applicable aux pâturages	Mexique, Espagne, Canada
Indice de mortalité du bétail	Basé sur des estimations indépendantes de taux de mortalité du bétail	Géré par la commune ou par l'intermédiaire des ONG	Mongolie

Assurance inondation	Traditionnellement basée sur la vérification individuelle des zones inondées et des dommages encourus. Exploration de systèmes d'indices basés sur la surveillance satellitaire des zones inondées, le nombre de jours d'inondation et les pertes de cultures entraînées.	Nécessite une inscription préalable des zones selon leur utilisation de la terre par les producteurs. Les niveaux de risque varient considérablement sur de petites distances géographiques.	Assurance indicelle testée en Asie du Sud-Est
----------------------	---	--	---

Source: Adapté d'une présentation de P. Valdivia, 2010

Comment cette technique contribue-t-elle à l'adaptation au changement climatique?

Les pertes de récoltes dues aux événements climatiques extrêmes peuvent porter préjudice aux agriculteurs. Les forçant à l'endettement, les obligeant à vendre leurs biens, et même leurs terres, ce qui les empêche d'être en mesure d'investir dans la production de l'année suivante. Ces événements sont considérés comme un facteur important dans l'incapacité des petits producteurs à accumuler des biens et des capitaux suffisants pour sortir de la pauvreté. Avec le changement climatique, on prévoit des événements climatiques extrêmes de plus en plus fréquents qui auront des effets sur les moyens d'existence des agriculteurs. Presque tous les agriculteurs ont des mécanismes traditionnels de survie pour les périodes de sécheresse, comme la vente de bétail ou la migration temporaire pour la recherche de travail. Toutefois, ces mécanismes peuvent ne pas être en mesure d'atténuer les impacts des événements extrêmes ou des sécheresses qui durent plus d'une saison. Il est donc essentiel de trouver des mécanismes financiers pour soutenir les agriculteurs dans les années de pertes financières dues aux événements climatiques. Aussi, si ces pertes deviennent plus fréquentes, les agriculteurs seront moins disposés à prendre un crédit, et les prêteurs seront moins disposés à prêter (ou augmenteront les coûts des prêts) en raison des risques plus élevés. Or, si les agriculteurs n'ont pas accès au crédit, cela limite fortement leur capacité à investir dans l'amélioration de la productivité et de la rentabilité agricole.

Avantages

Les coûts d'assurance sont réduits car aucune inspection in situ des pertes réelles n'est nécessaire. Cela permet de fournir une couverture à un grand nombre de petits producteurs, lesquels ne pourraient pas supporter les coûts pour payer une assurance standard. L'assurance est plus facilement administrée dans le cadre d'autres services financiers aux agriculteurs, principalement par le biais de crédits; l'assurance peut couvrir même le risque de ne pas être en mesure de rembourser le crédit en cas de pertes dues à des événements climatiques extrêmes. Cela permettrait aux producteurs de réduire le risque de perdre leurs terres ou d'autres biens en raison de conditions climatiques extrêmes.

Désavantages

L'assurance indicelle nécessite des moyens importants pour l'analyse des risques climatiques nécessaire à la conception de l'indice ainsi que de bonnes données météorologiques historiques et un vaste réseau de stations météorologiques pour le suivi du climat. Un autre inconvénient est que les paiements sont reliés au fait que les conditions climatiques atteignent une certaine mesure prédéfinie comme causant des pertes de cultures, or si des pertes surviennent sans que ces conditions ne soient atteintes, alors aucun

paiement ne sera effectué. Ou inversement, si les conditions sont réunies, le paiement sera reçu, même si aucune perte n'a eu lieu. C'est le coût de ne pas avoir d'inspection in situ. Cependant, le risque est que les attentes des producteurs en termes de dédommagements ne soient pas satisfaites, les faisant douter de la valeur de l'assurance en générale.

Connaissances et suivi requis

La conception de l'indice de l'assurance climatique nécessite deux ensembles d'informations de base:

- Les données historiques sur les conditions climatiques et la productivité des cultures pour évaluer le risque lié à la production et tout ce qui peut déclencher une perte importante de cultures
- Les données météorologiques en temps réel, avec une couverture géographique significative pour évaluer si le déclencheur climatique a été dépassé et si le paiement doit être fait

Coûts et exigences organisationnelles

Coûts de développement

Le développement de l'assurance indicelle climatique implique généralement la collaboration entre les compagnies d'assurance intéressées (publiques ou privées) et les organisations nationales ou multilatérales, telles que la Banque mondiale ou les banques régionales de développement, qui subventionnent le développement de produits d'assurance climatique. De nombreuses ONG, comme Oxfam, ont également manifesté leur intérêt pour ces produits. Il semble clair qu'une compagnie d'assurance privée seule est peu probable de développer des produits d'assurance climatique. Habituellement, l'assurance indicelle climatique est développée en partenariat public-privé.

Même après la mise au point d'un produit, des investissements importants doivent être faits pour expliquer le produit aux agriculteurs ou à leurs représentants. Un aspect essentiel est de sensibiliser les agriculteurs afin qu'ils comprennent bien le produit et pour qu'ils ne se fassent pas de fausses illusions sur ce qui est couvert. Ceci doit se faire sans renforcer davantage la méfiance que de nombreux agriculteurs ont déjà face à ce type de produit.

Coûts pour les agriculteurs

Normalement les agriculteurs paieront l'assurance, soit directement ou plus communément comme un service financier supplémentaire associé à un crédit. Dans certains cas, les coûts d'assurance sont subventionnés par le gouvernement, car c'est considéré stratégique pour tamponner les impacts du changement climatique. Certains pays comme le Mexique, le Pérou et le Brésil subventionnent la prime d'assurance. D'autres pays participent plutôt à la réassurance de l'assurance initiale, ce qui réduit également les coûts des primes.

Facteurs qui entravent la mise en œuvre

L'un des principaux obstacles à la mise en œuvre est la nécessité de réassurer l'assurance climatique fournie par les compagnies d'assurance. Cela est nécessaire car un événement météorologique extrême couvre normalement une proportion importante d'un pays et la capacité économique à ce moment est trop limitée pour répondre à toutes les demandes des producteurs assurés. Néanmoins, la mise en place d'une réassurance nécessite un modèle financier solide pour convaincre les entreprises d'assumer ce risque à un prix raisonnable. Encore une fois, la participation du public à ces programmes, qu'il s'agisse

d'organismes nationaux ou multilatéraux (qui auraient souvent dû couvrir les coûts de réhabilitation après les catastrophes naturelles de toute façon), peut réduire les coûts de la réassurance ou la rendre plus acceptable pour l'industrie de l'assurance internationale.

Facteurs favorisant la mise en œuvre

La Banque mondiale a soutenu la conception et le pilotage de systèmes d'assurance climatique dans de nombreux pays à travers le monde. Tout comme d'autres agences de développement telles que l'USAID, le Département de développement international du Royaume-Uni (DFID, acronyme anglais) et les banques régionales de développement. Néanmoins, la plupart des initiatives exigent également le soutien des gouvernements nationaux et le soutien technique et financier des organismes externes. La plupart des agriculteurs ne sont pas habitués à l'assurance et dans de nombreux cas n'ont pas une bonne compréhension de la nature des produits des assurances. Le succès de ces programmes repose donc sur des investissements considérables pour la sensibilisation des agriculteurs sur la gestion des risques financiers. Heureusement, une expertise considérable a entretemps été développée. L'un des principaux outils est d'utiliser des jeux pour illustrer les différents forfaits d'assurance et les cas dans lesquels ils peuvent compenser une perte ou non. Il y a des raisons de croire que ces jeux augmentent considérablement la compréhension des agriculteurs sur les assurances et leur volonté de participer (Patt et al, 2010).

Exemples réels d'application

Encadré 4.8 Assurance ENSO au Pérou

Le phénomène El Niño dans le Pacifique sud a des effets climatiques régionaux et planétaires bien connus. Sur la côte du Pérou, les impacts d'El Niño – réchauffement de l'océan – sont hautement prévisibles et causent des précipitations très élevées conduisant à des inondations catastrophiques. Quand des événements El Niño sont prévus, les agriculteurs dans le district de Piura abandonnent l'ensemencement des cultures, ce qui à son tour conduit à la chute des ventes et des revenus pour tous les ménages. En 1998, la dette agricole a augmenté de 10 pour cent au cours des événements El Niño. Au cours des cinq années suivantes, la demande de prêts agricoles a stagné et n'a pas repris jusqu'à ce que les familles aient récupéré suffisamment de moyens pour accéder à nouveau à l'emprunt.

En raison de cette situation, l'assurance indicielle climatique a été développée, basée sur une évaluation des risques préalables et de la perte potentielle maximale (Skees, 2010). Le paiement est déclenché lorsque la température de la mer s'élève au-dessus de 24,5 °C en novembre-décembre, comme indiqué par la NOAA, le Centre américain indépendant de prévision du climat. Les paiements sont effectués en janvier, avant l'inondation prévue en février-mars. Cela permet que les fonds soient utilisés pour la préparation aux catastrophes; des ateliers sont notamment organisés pour aider les organisations à faire des choix sur comment utiliser les fonds de manière préventive. Dans un cas, les associations d'agriculteurs ont utilisé les fonds pour aménager une chaussée qui risquait d'être endommagée par les eaux de crue.

Les produits sont réassurés auprès de compagnies internationales de réassurance. Comme tous les secteurs sont susceptibles d'être affectés par ces événements catastrophiques, un assureur local n'aurait pas les capacités financières pour couvrir les dommages causés. Néanmoins, le produit n'est disponible que pour les agrégateurs de risque, comme les organismes de micro-finance ou les associations d'agriculteurs, et non directement pour les petits exploitants.

Source: Skees, 2010

Encadré 4.9 L'assurance contre les coûts supplémentaires d'irrigation du café au Vietnam

Dans les hauts plateaux du Vietnam, les petits producteurs de café sont vulnérables aux sécheresses. En cas de sécheresse, les agriculteurs gèrent les pertes de rendement en augmentant l'irrigation. Cependant, en étendant la saison d'irrigation, ils encourrent également des coûts nettement plus élevés, surtout que la nappe phréatique est épuisée et que l'irrigation devient de plus en plus chère. Certaines plantes de café souffrent des plus faibles quantités d'eau résultant dans des grains de café qui ont peut-être un tiers de la taille des grains normaux, et des prix pouvant tomber à moins de la moitié de ce qu'ils auraient été dans des conditions météorologiques normales. Dans le pire des cas, les plantes de café meurent. Dans un projet pilote soutenu par la Fondation Ford, l'organe de régulation des assurances du Vietnam a approuvé une assurance d'interruption des affaires, destinée à compenser les pertes indirectes associées à une grave sécheresse. Cette assurance paie aux agriculteurs le coût de l'irrigation supplémentaire pour empêcher la perte de rendement. Un produit traditionnel d'assurance récolte ne ferait que payer pour les pertes de rendement des cultures et ne serait pas intéressant pour ces producteurs.

Source: Skees, 2010

Encadré 4.10 Assurance indicielle de mortalité du bétail en Mongolie

Le programme d'assurance indicielle du bétail en Mongolie a été conçu dans le cadre d'un prêt de la Banque mondiale au Gouvernement de la Mongolie et a été mis en œuvre en tant que projet pilote en 2005. Ce programme fut le premier de ce genre à utiliser une approche de gestion des risques agricoles à l'échelle nationale. Les pertes de bétail peuvent être très graves pendant les périodes de sécheresse et d'extrême froid, connues sous le nom de « dzud ». Pendant cette période, entre 1999 et 2002, un tiers du cheptel national a été perdu, alors que l'élevage représente 61 pour cent du PIB. Cela a eu des conséquences économiques fatales. Le programme d'assurance combinait une auto-assurance par les éleveurs, une assurance basée sur le marché, et une assurance sociale. Les éleveurs doivent porter eux-mêmes les petites pertes, les pertes plus importantes sont transférées à l'industrie de l'assurance privée, et les pertes extrêmes ou catastrophiques sont supportées par le gouvernement qui a mis au point un programme de sécurité publique contre ce genre de pertes. L'exposition fiscale du gouvernement de la Mongolie, en ce qui concerne les pertes les plus extrêmes, est couverte par un crédit préventif de la Banque mondiale. Le programme d'assurance s'appuie sur un indice du taux de mortalité par espèce de chaque région. Il existe des données sur une période de 33 ans des taux de mortalité des cinq principales espèces de bétail, qui fournissent la base de l'estimation du risque de pertes par district et par espèce, ainsi qu'un système pour surveiller les taux de mortalité globaux. L'indice encourage les éleveurs individuels à continuer à gérer leurs troupeaux afin de minimiser les impacts des risques majeurs en termes de mortalité du bétail; les éleveurs individuels reçoivent une indemnité d'assurance basée sur le taux de mortalité locale, indépendamment de leurs pertes individuelles. Les primes d'assurance sont différencierées par district et par espèce. Au cours de la première saison de vente, neuf pour cent des éleveurs, dans les trois régions pilotes, ont acheté le produit d'assurance couvrant au total 300 000 têtes de bétail pour une valeur de 78 000 \$. La majorité a choisi la couverture qui couvre 30 pour cent de la valeur des pertes lorsque le taux de mortalité est supérieur à 10 pour cent. Les recouvrements plus élevés ou les forfaits où le taux de mortalité était moins important n'étaient pas si populaires en raison des primes plus élevées. Aussi les prêteurs locaux, de leur propre initiative, ont commencé à proposer des crédits à des taux inférieurs à tous ceux qui ont pris une assurance.

Source: Mahul and Skees, 2007

Encadré 4.11 Les Fondos au Mexique

Les Fondos sont des fonds d'auto-assurance mis en place au Mexique depuis 1988 (Ibarra et Mahul, 2004). En 2004, plus de 240 Fondos fournissaient une assurance contre les risques de production agricole (y compris la grêle, la sécheresse, le gel, les inondations, les maladies et ravageurs) à leurs membres, représentant 50 pour cent de la superficie agricole travaillée au Mexique. L'engagement total des Fondos était d'environ 400 millions de dollars en 2004. Les Fondos se concentrent dans des zones agricoles à fort potentiel productif, où la viabilité financière est assurée. Les petits producteurs et les agricultures de subsistance sont censés être couverts par le régime national de couverture contre les catastrophes naturelles, le FONDEN.

Les Fondos sont des organisations à but non lucratif constituées par les agriculteurs. Selon les lois mexicaines, pour établir des Fondos les agriculteurs doivent uniquement indiquer leur volonté de s'associer entre eux, sans obligation de fournir une dotation en capital. Du point de vue du financement des risques, les Fondos couvrent des agriculteurs avec des profils de risque similaires. Le concept d'assurance dans des organisations de type mutualiste a été développé au Mexique, basé sur une approche de marché de l'assurance, tout en profitant du type mutualiste des organisations et en créant une structure d'incitations pour réduire les coûts de transaction. Les Fondos ne peuvent pas vendre une assurance à leurs membres avant qu'ils n'aient négocié un traité de réassurance appropriée, et ce encore avant le début de tout cycle de production agricole. Étant donné que ces organisations n'ont pas le capital pour garantir leur solvabilité, ils doivent acheter suffisamment de réassurances pour garantir que les membres recevront le plein montant des indemnités auxquelles ils ont droit en cas de risque (pas de risque d'insolvabilité). Le règlement exige que tout contrat de réassurance négocié par les Fondos soit défini de façon à absorber les indemnités excédant les réserves financières propres des Fondos. Par conséquent, un traité de réassurance couvrant les pertes excédantes est implicitement demandé. Historiquement, c'est la compagnie de réassurance Agroasemex, appartenant à l'État, qui a offert aux Fondos ce programme de réassurance d'indemnités excédantes. Le gouvernement soutient également un programme de formation pour améliorer les opérations des fonds par le biais d'Agroasemex. Le programme de formation comprend des aspects techniques liés aux procédures de souscription et de règlement des sinistres, au développement de nouveaux produits, à la comptabilité, aux aspects juridiques, etc.

Depuis 2003, le gouvernement du Mexique, dans le cadre de sa société de réassurance étatique, a créé des budgets de réponse à la sécheresse en offrant des produits d'assurance fondés sur des indices de précipitations. Le programme a été lancé pour répondre, entre autres, aux perturbations financières d'autres programmes gouvernementaux et pour financer les interventions d'urgence à la suite des chocs climatiques. En 2007, environ 1,9 million d'hectares ont été assurés contre la sécheresse. Le risque a été transféré sur le marché météorologique international via 230 stations météorologiques pour une somme de 90 millions de dollars à une prime de 9,7 millions de dollars. Le programme a été testé avec succès en 2005 par un paiement de 10,5 millions de dollars suite à une grave sécheresse dans plusieurs États (Agroasemex, 2006).

Source: Agroasemex, 2006; Ibarra et Mahul, 2004

4.2 Technologies pour la gestion et l'utilisation durable de l'eau

Le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC GT II, 2007) prédit qu'au cours des prochaines décennies, des milliards de gens, en particulier ceux des pays en développement, devront faire face à des changements sur les taux de précipitations qui résulteront dans des pénuries d'eau douce ou des inondations, avec des impacts négatifs sur la production agricole (GIEC GT II, 2007). Certaines études suggèrent que d'ici 2025, plus d'un tiers de la population mondiale fera face à une pénurie d'eau (Seckler et al, 1998; Seckler et al, 1999; Rosegrant et al, 2002). Améliorer la disponibilité de l'eau au moyen de technologies d'utilisation et de gestion durable de l'eau est donc une stratégie clé pour accroître la productivité agricole et assurer la sécurité alimentaire.

4.2.1 Irrigation par aspersion et goutte-à-goutte

Irrigation par aspersion

Définition

Les systèmes d'irrigation sous pression, par aspersion ou goutte-à-goutte peuvent améliorer l'efficacité de l'utilisation de l'eau et contribuer de manière substantielle à améliorer la production alimentaire. L'irrigation par aspersion est un type d'irrigation sous pression qui consiste à appliquer de l'eau à la surface du sol en utilisant des dispositifs mécaniques et hydrauliques qui simulent les précipitations naturelles (voir Figure 4.2). Ces dispositifs renouvellent l'eau consommée par les cultures ou fournissent l'eau nécessaire pour adoucir la terre. Le but de l'irrigation est de fournir à chaque plante la bonne quantité d'eau dont elle a besoin pour bien pousser. L'irrigation par aspersion arrose les plantes par des gicleurs, des vaporisateurs ou des pistolets à haute pression montés sur contremarches ou plates-formes mobiles. Aujourd'hui, une variété de systèmes de gicleurs, allant du manuel jusqu'aux grands systèmes automatisés, sont utilisés dans le monde entier. Le partage de l'utilisation de l'irrigation par aspersion dans le monde est comme suit: Amérique (13,3 millions d'hectares (Mha)), Europe (10,1 Mha), Asie (6,8 Mha), Afrique (1,9 Mha), Océanie (0,9 Mha) (Kulkarni et al, 2006).

Description

Un système d'irrigation par aspersion comporte généralement:

- Une pompe qui prend l'eau à la source et émet la pression pour passer l'eau dans le système de conduite. La pompe doit être réglée de façon à fournir de l'eau à une pression suffisante pour que l'eau soit appliquée au débit et volume adéquat aux différents types de cultures et de sols.
- Les systèmes de conduites principales et secondaires transportent l'eau de la pompe vers les conduites latérales. Dans certains cas, ces tuyaux sont installés de façon permanente sur la surface du sol ou enfouis sous terre. Dans d'autres cas, ils sont temporaires et peuvent être déplacés d'un champ à un autre. Les principaux matériaux utilisés sont le ciment-amiante, le plastique ou les alliages d'aluminium.
- Les conduites latérales pompent l'eau des tuyaux aux arroseurs. Ils peuvent être permanents, mais le plus souvent ils sont portables, en alliage d'aluminium ou en plastique, de sorte qu'ils puissent être déplacés facilement.
- Les gicleurs, dispositifs qui convertissent le jet d'eau en gouttelettes. Ils doivent être disposés de manière à mouiller toute la surface du sol de façon homogène.
- Une large gamme de systèmes de gicleurs est disponible pour l'application à petite et à grande échelle. Certains systèmes fonctionnent avec des gicleurs fixes. Ces gicleurs peuvent être déplacés

pour pouvoir arroser les différentes parties du champ, soit à la main ou avec des machines. Les systèmes manuels sont plus intensifs en travail et sont donc plus adaptés aux régions du monde où la main d'œuvre est disponible et pas chère. D'autre part, les systèmes actionnés mécaniquement nécessitent un investissement plus important de départ pour acquérir les équipements, or ils minimisent les coûts de main-d'œuvre, opérant avec des gicleurs latéraux motorisés qui irriguent et se déplacent en permanence (Savva et Frenken, 2002)

- L'efficacité de l'irrigation par aspersion est très dépendante des conditions climatiques. La FAO (1982) a proposé un tableau (voir tableau 4.7) de l'efficience de l'irrigation agricole selon les conditions climatiques.

Figure 4.2 Système d'irrigation par aspersion en Cajamarca, Pérou



Source: David Dennis Rabines Alarcon

Tableau 4.7 L'efficacité de l'irrigation par aspersion selon les conditions climatiques

Climat/Température	Efficacité de l'irrigation ¹²
Froid	0,80
Modéré	0,75
Chaud	0,70
Désert	0,65

Source: adapté de la FAO, 1982

Comment cette technologie contribue-t-elle à l'adaptation au changement climatique?

La technologie de l'irrigation par aspersion peut aider les agriculteurs à s'adapter au changement climatique grâce à une utilisation plus efficiente de l'eau. C'est particulièrement important là où l'approvisionnement en eau est limité ou irrégulier. Cette technologie d'arrosage consomme moins d'eau que l'irrigation par gravité, car l'arrosage est plus uniforme. En outre, l'irrigation par aspersion peut réduire le risque de gel des cultures. Les gelées plus fréquentes et plus intenses en raison du changement climatique ont un impact sur les cultures, or le mouvement nocturne des arroseurs et l'application de gouttelettes d'eau peuvent réduire le « stress » pesant sur les cultures causé par une forte diminution de la température (Snyder et Melo-Abreu, 2005).

Avantages

L'un des principaux avantages de la technologie d'irrigation par aspersion est l'utilisation plus efficace de l'eau. Les systèmes de gicleurs éliminent les canaux d'adduction d'eau et réduisent ainsi les pertes d'eau. L'eau est également mieux répartie sur les champs contribuant ainsi à éviter le gaspillage. Il a également été démontré que les systèmes d'irrigation par aspersion peuvent augmenter les rendements des cultures (tableau 4.8). Ces systèmes d'irrigation sont adaptés à la plupart des cultures en ligne, des grandes cultures et des arboricultures qui sont cultivés très proches les unes des autres telles que les céréales, les légumineuses, le blé, la canne à sucre, l'arachide, le coton, les légumes, les fruits, les fleurs, les épices et les condiments (Narayananmoorthy, date inconnue), ainsi qu'aux cultures de riz (Kundu et al., 1998).

Tableau 4.8 Effets de l'irrigation par aspersion sur les différentes cultures

	Economie d'eau, %	Augmentation de rendement, %
Orge	56	16
Chou	40	3
Chou-fleur	35	12
Piments	33	24
Coton	36	50
Arachide	20	40
Maïs	41	36
Oignons	33	23
Pommes de terre	46	4
Blé	35	24

Source: adapté de l'INCID (1998), Tableau 6.5

La technologie d'irrigation par aspersion est adaptée à une variété de topographies différentes et à tous les types de sol, à l'exception de l'argile lourde. Les systèmes de gicleurs peuvent être installés de façon permanente ou être mobiles. Les arroseurs offrent une application plus uniforme de l'eau sur les terres

agricoles et favorisent une croissance stable des cultures. De même, les engrains solubles peuvent être acheminés par l'intermédiaire du système pour une application facile et uniforme. Le risque d'érosion du sol peut être réduit car le système des gicleurs limite les perturbations causées au sol lors de l'irrigation par gravité. Les avantages secondaires créés par l'amélioration de la productivité des cultures comprennent la génération de revenus, la création d'emplois et une meilleure sécurité alimentaire.

Désavantages

Les principaux inconvénients associés aux systèmes de gicleurs sont liés aux conditions climatiques, aux ressources en eau et au coût. Même des vents modérés peuvent sérieusement réduire l'efficacité des systèmes de gicleurs en modifiant la répartition des gouttelettes d'eau. De même, lors de l'utilisation à des températures élevées, l'eau peut s'évaporer à un rythme rapide, ce qui réduit l'efficacité de l'irrigation. Bien que l'irrigation par aspersion puisse aider les agriculteurs à utiliser les ressources de manière plus efficace, cette technologie s'appuie sur une source d'eau propre et n'est donc pas adaptée aux zones où la pluviométrie est de moins en moins prévisible. Les coûts de mise en œuvre sont plus élevés que pour les systèmes d'irrigation par gravité et la main-d'œuvre nécessaire pour déplacer les tuyaux et gicleurs dans un système non-permanent augmente davantage les coûts liés à cette technique. Dans certains endroits, cette main-d'œuvre peut même ne pas être disponible ou être trop coûteuse. Les systèmes d'irrigation par gicleurs automatisés, bien qu'ils ne nécessitent pas de main-d'œuvre, consomment beaucoup d'énergie (Savva et Frenken, 2002).

Connaissances et suivi requis

Avant de décider d'installer un système d'irrigation par aspersion, certains détails doivent être clarifiés:

- La ou les espèces à cultiver et leurs besoins en eau tout au long de la saison de croissance
- La forme et la taille du champ. Cela permettra de déterminer la gamme de technologies appropriées, les investissements nécessaires et les exigences en terme de travail.
- La topographie, notamment l'emplacement et l'élévation de la source d'eau par rapport au champ et aux pentes du terrain
- La source d'eau. La source d'eau pour l'irrigation peut être de l'eau de surface, des eaux souterraines ou de l'eau non conventionnelle (telle que l'eau dessalée ou les eaux usées et traitées) (Savva et Frenken, 2002). L'eau doit être disponible en quantité suffisante à partir d'une source accessible localement. Une alimentation propre, libre de sédiments dans l'eau, est nécessaire pour éviter les blocages dans les canaux d'arrosage et la détérioration des cultures (FAO, 1988)
- La main-d'œuvre disponible. Là où les travailleurs qualifiés ne sont pas disponibles sur place, les agriculteurs locaux ont besoin d'offrir des formations sur comment installer, entretenir et réparer les différents composants du système d'arrosage.
- Le profil du sol. La technologie de l'irrigation par aspersion est la mieux adaptée aux sols avec des taux élevés d'infiltration de sorte que la formation de flaques et le ruissellement de surface peuvent être évités. Le débit du système de gicleurs doit donc être adapté à la vitesse d'infiltration de l'eau dans le sol.
- Les besoins en énergie. Cela inclut les besoins pour la fabrication, le transport et l'installation des différentes parties du système. L'emplacement de la source d'eau affectera également le besoin d'énergie pour le pompage (Savva et Frenken, 2002).

- Les aspects sociaux, tels que les préférences locales, la capacité de maintenir le système, les exigences en main d'œuvre et travail, et comment ceux-ci peuvent affecter les différents membres de la communauté (Savva et Frenken, 2002)
- La compréhension des risques de santé existants est essentielle pour éviter les régimes pouvant favoriser les maladies d'origine hydrique (Savva et Frenken, 2002).
- Une évaluation de l'impact environnemental devrait être menée pour comprendre les impacts potentiels du drainage et du détournement des ressources en eau (Savva et Frenken, 2002).

La maintenance du système se limite principalement à un nettoyage régulier des pièces constitutives. Les joints des tuyaux et des buses d'arrosage doivent être vérifiés pour éviter les infiltrations d'eau. Pendant les périodes où l'équipement n'est pas utilisé, il est recommandé de stocker les pièces dans un endroit frais et sombre.

Coûts et exigences organisationnelles

Le coût d'installation d'un système d'arrosage approprié pour une unité de production familiale varie de 600 USD à 2 500 USD par hectare, selon le type de matériaux utilisés et la quantité de travail apportée par les producteurs ruraux. Les techniques de micro-irrigation abordables (AMIT, acronyme anglais) sont des systèmes de basse pression avec les mêmes avantages techniques que les systèmes de micro-irrigation conventionnels, cependant la technologie est conditionnée et commercialisée sous forme de kits appropriés pour les petits champs (25 m² à 4 000 m²). Les AMIT ont l'avantage d'être abordables et faciles à comprendre; ils connaissent aussi des retours rapides de rémunération, et des taux élevés de divisibilité et d'extensibilité.

Exigences institutionnelles et organisationnelles

Selon Savva et Frenken (2002), les conditions institutionnelles doivent être bien comprises et maîtrisées avant que la sélection de la technologie de l'irrigation par aspersion puisse être faite. Il s'agit notamment des questions foncières, des droits de l'accès à l'eau ainsi que des incitations financières de la part du gouvernement et de la fiscalité. Les systèmes d'irrigation à grande échelle font souvent partie d'une politique nationale et sont exploités pour soutenir les initiatives nationales de création d'emplois. Là où les systèmes d'irrigation par aspersion ne sont pas disponibles localement, les importations étrangères ou la stimulation soutenue par le gouvernement pour inciter à la fabrication nationale seront nécessaires et doivent s'accompagner d'investissement dans la formation pour la conception, l'installation et la maintenance des systèmes. La coordination avec les autorités publiques ou privées responsables de la gestion de l'eau sera cruciale et pourrait être facilitée par la création d'un comité d'utilisateurs de l'irrigation. Au niveau local, l'organisation sociale pour la surveillance participative des ressources en eau et de sa qualité pourrait fournir un outil de surveillance clé. Quelle que soit la méthode choisie, l'élaboration de règlements pour la distribution et la répartition de l'eau fournirait un mécanisme important pour la résolution des conflits.

Qu'ils s'agissent d'interventions à grande ou à petite échelle, la participation des agriculteurs dans toutes les étapes de développement d'un projet d'irrigation par aspersion est recommandée pour assurer son acceptation sociale et sa réussite technique (encadré 4.12).

Encadré 4.12 Irrigation par aspersion au Zimbabwe

« Le système d'irrigation d'Hama Mavhaire au Zimbabwe est un projet d'irrigation par aspersion sur une superficie de 96 hectares. Le projet bénéficie à 96 agriculteurs, dont 70 pour cent sont des femmes. Il est situé dans une zone agro-écologique sèche (environ 450 mm de pluie par an). L'aridoculture échoue 3 à 4 fois sur 5. Le développement du système a été lancé en 1989, suite à des demandes de la part des agriculteurs pour le développement de systèmes d'irrigation.

Participation des agriculteurs à la planification et à la conception

Le gouvernement a dépêché une équipe d'experts, comprenant des ingénieurs, des agronomes et des économistes, sur le site du projet pour y mener une étude de faisabilité. Plusieurs réunions ont été nécessaires pour que les planificateurs comprennent les attentes des agriculteurs et pour qu'ils leur expliquent les possibilités et les exigences du plan de développement proposé. Elles ont été suivies par une enquête socio-économique de base. Le terrain choisi se composait d'environ 80 pour cent de terres de brousse non cultivées, tandis que les 20 pour cent restants étaient des terres arables détenues par les agriculteurs qui ont été sélectionnés pour bénéficier du projet. Le groupe d'agriculteurs était censé être le partenaire direct dans ce projet d'irrigation. Ils ont élu leur propre comité qui a été chargé d'assurer la liaison avec les planificateurs pour toutes les questions liées au projet.

Pour faciliter un processus de prise de décision éclairée, des dispositions ont été prises pour que les agriculteurs puissent visiter différents types de système d'irrigation. Cette exposition s'est avérée utile pour les agriculteurs quand ils ont finalement choisi le type de système d'irrigation qu'ils préféraient et les cultures qu'ils comptaient cultiver. Ce processus a pris une année entière.

Participation des agriculteurs à la construction

Une fois les plans de conception adoptés, les dossiers d'appel d'offres ont été rédigés. Une des conditions stipulait que les agriculteurs devraient fournir toute la main-d'œuvre non qualifiée nécessaire à la construction. Les producteurs ont ainsi creusé les tranchés, remblayé et assisté les tuyautiers dans le transport et la pose de canalisations et de raccords. À la suite de leur participation, les agriculteurs ont été formés à la tuyauterie et à d'autres réparations générales pour la maintenance de leur système d'arrosage. En outre, l'entrepreneur a formé un agriculteur par bloc d'irrigation à la réparation des gicleurs. Les ingénieurs en irrigation et autres ont également formé les agriculteurs en leadership, comptabilité, en pratiques agronomiques améliorées et dans la planification de l'irrigation. Ce processus a pris six mois pour les 48 premiers hectares et trois mois pour les 48 hectares restants.

Impact socio-économique

En moyenne, le revenu net par producteur a quadruplé en raison de l'introduction de l'irrigation par aspersion, d'une marge annuelle brute évaluée à 650 USD pour 2,5 hectares d'aridoculture à une marge brute de 2 775 USD par hectare irrigué. Il y a d'autres indicateurs d'une augmentation substantielle du niveau de vie des producteurs. Environ 29 pour cent d'entre eux auraient acheté entre une et quatre têtes de bétail avec le revenu gagné par l'irrigation sur les cinq à six premières années après la mise en place du système. En outre, 13 pour cent ont réalisé des constructions en briques en lieu et en place des constructions en tôle ondulée, et 10 pour cent avaient installé des panneaux solaires au cours de la même période. Les femmes, qui représentent la majorité des bénéficiaires, et qui sont représentées dans tous les comités, ont également confirmé que l'autre avantage majeur de l'irrigation est qu'elles sont maintenant en mesure de payer les coûts pour l'éducation de leurs enfants.

Le succès du système d'irrigation de Hama Mavhaire est largement attribuable à l'approche participative adoptée pour la conception du projet. La planification et l'exécution conjointes avec les agriculteurs eux-mêmes ont rendu le système à la fois techniquement réalisable et socialement acceptable. »

Les facteurs qui entravent la mise en œuvre de cette technologie

Les obstacles possibles à la mise en place des systèmes d'irrigation par aspersion comprennent le manque d'accès aux financements pour l'achat de matériel, le manque de compétences locales pour la conception, l'installation et la maintenance du système et le manque de pièces disponibles localement. Un niveau faible de sensibilisation du public sur l'importance de la gestion et de l'utilisation durable de l'eau pourrait également être un obstacle à l'exploration de la technologie d'irrigation par aspersion comme option d'adaptation au changement climatique.

L'irrigation par aspersion nécessite une source d'eau douce à proximité des terres agricoles pour garantir que les coûts soient maintenus à un niveau raisonnable. La disponibilité en eau par contre est fortement tributaire non seulement des ressources actuelles, mais aussi des conditions climatiques futures. Lorsqu'il n'existe pas ou peu de connaissances sur les impacts potentiels du changement climatique sur les ressources en eau, l'installation d'un système d'irrigation par aspersion pourrait conduire à des conflits d'usage de l'eau.

Les facteurs favorisant la mise en œuvre

L'irrigation par aspersion est une technologie polyvalente et souple adaptée à une application dans un large éventail de contextes différents et peut ainsi être mise en place à petite ou grande échelle, soit avec des coûts réduits ou en incluant des composantes plus sophistiquées. Cette technologie peut être utilisée en conjonction avec d'autres mesures d'adaptation telles que la création de comités d'usagers de l'eau, la polyculture et la gestion durable des engrains.

Exemple concret d'application

Le « Projet de développement intégré pour la promotion de moyens de subsistance durables et la réduction de la pauvreté dans le bassin du Rising Llaucano » (Projet Yachan, Fuertes et Bonfiglio, 2008) a mené des activités dans 22 villages dans les districts de La Encañada et Bambamarca, dans la province et région de Cajamarca, au Pérou. Le but de ces activités était de contribuer à bâtir et à renforcer les moyens de subsistance des agriculteurs dans le bassin supérieur de Llaucano. Cela a été réalisé principalement par la mise en place de nouvelles infrastructures agricoles, la construction et/ou l'amélioration de systèmes de gicleurs et d'irrigation par gravité, le renforcement des organisations locales et la création de services de vulgarisation agricole. La population cible était les agriculteurs des zones rurales vivant dans la pauvreté et incapables de satisfaire leurs besoins de base en nourriture, eau potable, éducation, santé, assainissement et éclairage. L'activité principale de la population est l'agriculture à petite échelle sur des terrains situés entre 3 000 et 3 800 mètres d'altitude, dans un environnement exposé au gel, à la grêle et à la sécheresse. Par conséquent, la plupart de la région est allouée à des pâturages naturels et, dans une moindre mesure, aux pâturages cultivés et à la culture de plantes telles que la pomme de terre, l'oca, les tubercules, les haricots et les pois (ces derniers sont essentiellement destinés à l'autoconsommation).

Le gros des revenus est généré à partir de la vente de lait à deux grossistes et aux petits producteurs de quesillo et de fromage. Une partie importante des investissements sont allés dans l'installation des systèmes d'irrigation par aspersion et dans l'amélioration, voire la construction, de canaux d'irrigation, principalement utilisés pour l'irrigation de nouvelles espèces fourragères, ce qui à son tour a eu des impacts directs sur la production de lait. Après les quatre premières années du projet, les résultats suivants ont été constatés:

- 1042 familles ont bénéficié de l'installation de systèmes de gicleurs qui arrosent une superficie de 944 hectares

- 430 hectares ont été semés avec de nouvelles espèces fourragères qui permettent de meilleurs rendements et une augmentation de la quantité de la nourriture pour le bétail
- L'ensemble technologique utilisé pour la culture de graminées cultivées sous irrigation a entraîné une augmentation moyenne de 145 pour cent dans le rendement par hectare. Cette information est tirée de l'échantillonnage de 46 parcelles dans la zone du projet.
- L'irrigation par aspersion et les pâturages améliorés atteignent une production annuelle de 202 tonnes métriques par hectare, au coût de 618 USD par hectare. Ce coût de production est beaucoup moins élevé que le prix de marché des pâturages.
- Le projet a permis la création et le renforcement de comités de développement dans chaque village ainsi que la mise en place d'associations d'utilisateurs d'eau qui gèrent, exploitent et entretiennent efficacement leur système d'irrigation.

Irrigation goutte-à-goutte

Définition

L'irrigation goutte-à-goutte est basée sur l'application constante d'une quantité spécifique d'eau aux plantes et est calculée selon les cultures et les types de sol. Le système utilise des tuyaux, valves et petits goutteurs ou émetteurs qui transportent l'eau des sources (c.-à-d. des puits, des citernes ou des réservoirs) aux racines et l'appliquent en quantité suffisante et à une pression spécifique, adaptée aux différents types de cultures. Le système devrait maintenir un niveau adéquat d'humidité du sol dans les zones d'enracinement afin de favoriser la meilleure utilisation des nutriments disponibles dans le sol et pour créer un environnement sain pour les racines des plantes. En assurant le niveau exact (ou presque) de l'humidité nécessaire pour chaque plante, le système réduit considérablement le gaspillage de l'eau et favorise une utilisation efficace. Comparée à l'irrigation de surface, qui peut garantir une utilisation efficace de l'eau à 60 pour cent, et aux systèmes d'irrigation par aspersion où ce niveau atteint 75 pour cent d'efficacité, l'irrigation goutte-à-goutte peut atteindre des niveaux allant jusqu'à 90 pour cent (Tanji et Kielen, 2002). Ces derniers temps, la technologie de l'irrigation goutte-à-goutte a reçu une attention particulière de la part des agriculteurs, car les besoins en eau à des fins agricoles ont augmenté tandis que les ressources disponibles ont diminué. L'irrigation goutte-à-goutte a été appliquée dans les zones arides et semi-arides ainsi que dans les zones aux flux irréguliers d'eau (ou dans des zones de ressources en eaux souterraines qui dépendent étroitement des variations saisonnières telles que le débit des rivières ou des pluies).

Description

Un système d'irrigation goutte-à-goutte se compose généralement:

- de pompes ou de systèmes d'eau à pression
- de systèmes de filtration
- d'un système d'application d'éléments nutritifs
- d'une commande de rétro lavage
- d'un régulateur de pression
- de tuyaux
- de vannes de régulation et de sécurité
- de raccords en poly et d'accessoires (pour établir des connexions)
- d'émetteurs

Figure 4.3 Irrigation goutte-à-goutte sur une culture d'oliviers dans la vallée d'Ica, au Pérou

Source: Rafael Galván, Farm Manager Agriver SAC (2011)

Une large gamme de composantes et d'options de conception est disponible. La bande d'égouttage par exemple varie grandement dans ses spécifications techniques, selon le fabricant et selon son utilisation. L'humidification du sol par irrigation goutte-à-goutte doit atteindre les racines des plantes. L'espacement des émetteurs d'eau dépend donc des types de plante et des propriétés du sol. Les zones pour l'irrigation goutte-à-goutte peuvent être identifiées en fonction de facteurs tels que la topographie, la longueur du champ, la texture du sol, la longueur optimale de défilement de la bande et la capacité du filtre. Beaucoup de fournisseurs utilisent des programmes informatiques pour analyser ces facteurs et adapter les systèmes d'irrigation en fonction. Une fois les zones identifiées et le système de goutte-à-goutte conçu, il est possible de programmer les irrigations de façon à répondre aux besoins uniques des cultures dans chaque zone. La technologie récente des systèmes automatiques a été particulièrement utile pour aider à contrôler les flux et la pression, et afin d'identifier les fuites potentielles, réduisant ainsi les besoins en main-d'œuvre. La conception des systèmes d'irrigation goutte-à-goutte doit prendre en compte l'effet de la topographie sur la pression de l'eau et définir les exigences de débit en fonction de cela. Un plan pour l'uniformité de la distribution de l'eau doit être réalisé en tenant compte minutieusement de la bande, des longueurs d'irrigation, de la topographie et de la nécessité de rincer périodiquement la bande. La conception devrait également inclure des soupapes de sûreté pression/dépression. La figure 4.5 montre un système d'irrigation goutte-à-goutte pour les câpres au Pérou.

Figure 4.4 Champs de câpres irrigués par un système d'arrosage goutte-à-goutte sur sols sableux dans la vallée de Pisco, au Pérou



Source: Rafael Galván, Farm Manager Agriver SAC (2011)

Comment la technologie contribue-t-elle à l'adaptation au changement climatique?

La technologie d'irrigation goutte-à-goutte peut aider les agriculteurs à s'adapter au changement climatique car elle permet une utilisation plus efficace et économique de l'approvisionnement en eau. En particulier dans les zones soumises à des impacts du changement climatique tels que les sécheresses saisonnières, l'irrigation goutte-à-goutte réduit la demande d'eau et les pertes d'eau par évaporation (puisque l'évaporation augmente avec la température). L'application programmée de l'eau sur les champs arrose directement les plantes avec l'eau nécessaires à leur croissance. En outre, l'application des engrains est plus efficace car ils peuvent être appliqués directement dans les conduites d'eau. Comme c'est le cas avec tout système d'arrosage, l'irrigation goutte-à-goutte est la plus appropriée là où l'approvisionnement en eau est (ou est supposé être) limité ou irrégulier pour l'usage agricole. En outre, la technologie d'irrigation goutte-à-goutte utilise encore moins d'eau que l'irrigation par aspersion par exemple, car l'eau peut être appliquée directement sur les cultures en fonction des besoins réels des plantes. Enfin, le système d'irrigation goutte-à-goutte n'est pas affecté par le vent ou la pluie (comme c'est le cas pour la technologie d'arrosage par aspersion).

Avantages

L'irrigation goutte-à-goutte favorise une utilisation efficace de l'eau. Un système d'irrigation goutte-à-goutte bien conçu peut réduire la perte d'eau par percolation ou évaporation à presque zéro. Si la consommation

d'eau est réduite, les coûts de production sont réduits. En outre, les conditions peuvent être moins favorables à l'apparition de maladies, champignons compris. La programmation d'irrigation peut être gérée de façon à répondre précisément aux besoins des cultures, garantissant ainsi un rendement accru et une amélioration de la qualité de la production.

Les produits chimiques agricoles peuvent être appliqués plus efficacement et plus précisément au moyen de l'irrigation goutte-à-goutte. Comme seules les zones racinaires des cultures sont irriguées, l'azote qui est déjà dans le sol est moins sujet aux pertes par lessivage. En ce qui concerne les insecticides, moins de produits pourraient être nécessaires. Les coûts pour les engrains et les pertes de nitrates peuvent être réduits. Les applications de nutriments peuvent être mieux planifiées pour mieux répondre aux besoins des plantes.

La technologie de l'irrigation goutte-à-goutte est adaptable à tous les terrains, même là où d'autres systèmes ne peuvent pas bien travailler en raison des conditions climatiques ou du sol. La technologie de l'irrigation goutte-à-goutte peut être adaptée aux terres avec différentes topographies et un large éventail de types de sol (y compris les sols salés). Elle a été particulièrement efficace dans les zones sablonneuses avec des cultures permanentes comme les citrons, les olives, les pommes et les légumes.

Un système d'irrigation goutte-à-goutte peut être automatisé pour réduire les besoins en main-d'œuvre.

Désavantages

Le coût initial pour l'acquisition d'un système d'irrigation goutte-à-goutte peut être plus élevé que celui pour les autres systèmes d'irrigation. Les coûts dépendront des caractéristiques du terrain, de la structure du sol, des cultures et de la source d'eau. Les coûts sont généralement associés aux coûts élevés pour les pompes, tuyaux, tubes, émetteurs et pour l'installation. Des précipitations inattendues peuvent affecter le système mis en place, soit par l'inondation des émetteurs soit par le déplacement des tuyaux, ou en affectant le niveau de sel contenu dans le sol. Les systèmes d'irrigation goutte-à-goutte sont également exposés à des attaques de rongeurs ou d'autres animaux. Il peut s'avérer difficile de combiner l'irrigation goutte-à-goutte avec une production mécanisée comme les tracteurs et autres machines agricoles qui peuvent endommager les tuyaux, les tubes ou les émetteurs.

Connaissances et suivi requis

Un investissement sera nécessaire pour former les travailleurs à la maintenance du système et au contrôle des flux de l'eau. Par exemple, la bande de goutte ou les tubes doivent être entretenus avec soin afin d'éviter les fuites, et le colmatage et les émetteurs doivent être nettoyés régulièrement pour éviter leur blocage causé par des dépôts chimiques. Dans certains cas, il sera nécessaire de revoir le plan de contrôle des mauvaises herbes.

Coûts et besoins financiers

Cette technologie est très variable, et le coût d'un système d'irrigation goutte-à-goutte peut varier entre 800 USD et 2 500 USD par hectare, selon le type de technologie, les dispositifs automatiques choisis, les matériaux utilisés et selon la quantité de travail nécessaire. Le financement pour l'équipement peut être disponible auprès des institutions financières via des crédits-bails ou des crédits directs. Les agriculteurs couvrent généralement les coûts d'installation, de conception et de formation, qui représentent environ 30 à 40 pour cent des coûts finaux, en fonction de la taille des champs, les caractéristiques et la forme, les cultures et la technologie nécessaire.

Les facteurs qui entravent la mise en œuvre de cette technique

Comme pour le système d'irrigation par aspersion, la technologie d'irrigation goutte-à-goutte est confrontée à des obstacles possibles pour sa mise en place, comme par exemple le manque d'accès au financement pour l'achat du matériel, un montant plus élevé de l'investissement initial que pour les autres systèmes, et un marché limité pour l'équipement de seconde main/d'occasion. Même si plusieurs fournisseurs existent, ces entreprises sont généralement axées sur les grands projets d'extension territoriale et ne sont pas adaptées pour les petites et moyennes productions agricoles. Les conditions techniques telles que la présence d'argile dans le sol, les précipitations irrégulières ou les pentes raides peuvent accroître les coûts de mise en place et d'entretien, voire affecter l'efficacité du système d'irrigation. En outre, le rendement des cultures irriguées antérieurement par gravité ou par un autre système d'irrigation peut être affecté par le changement du système d'arrosage.

Les facteurs favorisant la mise en œuvre

L'irrigation goutte-à-goutte est particulièrement adaptée à une utilisation avec les eaux souterraines des puits. Elle exige certaines dispositions institutionnelles et nécessite un renforcement des capacités des usagers de l'eau pour éviter une surexploitation des ressources aquifères et les conflits potentiels qui pourraient s'ensuivre. Les technologies d'irrigation goutte-à-goutte peuvent être mises en place par des associations d'usagers d'eau ce qui permet de réduire les coûts d'investissement initiaux et d'améliorer les bénéfices. L'irrigation goutte-à-goutte est une technologie polyvalente adaptée à une application dans un large éventail de contextes. Elle peut être mise en œuvre à petite ou grande échelle, à faible coût ou avec des composantes plus sophistiquées. De plus, elle peut être utilisée en conjonction avec d'autres mesures d'adaptation, telles que la création de comités d'usagers d'eau, la polyculture ou la gestion responsable des engrains. La promotion de l'irrigation goutte-à-goutte contribue à une utilisation efficiente de l'eau, réduit les besoins d'engrais et augmente la productivité. Elle est particulièrement adaptée dans les zones de pénurie d'eau permanente ou saisonnière, puisque les variétés de cultures à planter peuvent également être adaptées à ces conditions.

Exemple concret d'application

Encadré 4.13 Irrigation goutte-à-goutte des oliviers dans le désert de la vallée d'Acari, au Pérou

Les oliviers sont particulièrement touchés par le changement climatique. Pour maximiser les rendements et la qualité, ces arbres ont besoin de températures modérées à élevées pendant l'été et modérées à fraîches en hiver. En outre, ces arbres ont besoin d'être irrigués à la fin de l'hiver pour que les fleurs puissent se développer. Une caractéristique des oliviers (caractéristique commune à de nombreux arbres fruitiers) est l'alternance de sa fructification. Cela signifie qu'après une année de bonne récolte (« année on ») s'ensuit une autre avec beaucoup moins d'olives sur les arbres (« année off »). Cela rend les oliviers particulièrement sensibles aux effets du changement climatique, car des températures trop élevées ou trop basses peuvent affecter le rendement sur deux ans voire plus. Les agriculteurs de la vallée d'Acari utilisent principalement des systèmes d'irrigation par gravité. Ils inondent les arbres pendant de longues heures pendant la période estivale, lorsque l'eau est disponible, et avec de petites quantités en hiver lorsque l'eau devient une denrée rare. Cette approche affecte profondément l'enracinement des arbres (en réduisant l'oxygène disponible) et change les propriétés du sol (en enlevant les nutriments du sol, notamment l'azote). Les champignons se développent ainsi plus facilement et par conséquent les coûts pour traiter les arbres augmentent tandis que les rendements et la qualité diminuent.

À partir de 2006, plusieurs petits producteurs ont commencé à installer des systèmes d'irrigation goutte-à-goutte. Dans certains cas, les financements ont été obtenus grâce à un programme gouvernemental (le programme sectoriel d'irrigation). Le programme a offert une assistance technique et organisé des ateliers pour promouvoir l'utilisation de systèmes d'irrigation goutte-à-goutte. En outre, il a participé aux coûts des mise en œuvre grâce à des co-financements sur le coût des installations (jusqu'à 500 USD\$ par hectare). Dans d'autres cas, les agriculteurs (après avoir pris connaissance des avantages du système) ont négocié et obtenu le crédit directement avec des fournisseurs. Une fois le système d'irrigation goutte-à-goutte mis en place, les agriculteurs peuvent utiliser les réservoirs afin de fournir un approvisionnement stable en eau à leurs terres, tout au long de l'année, en particulier à la fin de l'hiver lorsque les nutriments et l'humidité du sol sont le plus vitaux pour la floraison. Après quatre ans de mise en œuvre, les résultats sont très positifs. Les rendements ont augmenté de 28 à 35 pour cent par an. Et, encore plus important, la consommation d'eau a été réduite de 42 pour cent. La production des « années off » a été considérablement augmentée, représentant maintenant jusqu'à 60 pour cent de la production totale des « années on » (avant elle représentait environ 20 pour cent de la production totale des bonnes années). L'adoption d'un système d'irrigation plus efficace a également renforcé les relations et les liens entre les agriculteurs grâce à la création d'associations d'utilisateurs d'eau.

Source: Farm Manager Agriwer SAC, 2011

4.2.2 Captage de brouillard

Définition

Le brouillard a le potentiel de fournir une source alternative d'eau douce dans les régions sèches et peut être récolté grâce à l'utilisation de systèmes de collecte simples et peu coûteux. L'eau captée peut ensuite être utilisée pour l'irrigation agricole et l'usage domestique. La recherche suggère que les capteurs de brouillard fonctionnent mieux dans des endroits aux périodes de brouillard fréquentes, tels que les zones côtières où l'eau peut être récoltée lorsque le brouillard se déplace à l'intérieur du pays, entraîné par le vent. Cependant, la technologie pourrait aussi améliorer l'approvisionnement en eau dans les zones montagneuses si l'eau est présente dans les nuages stratocumulus, à une altitude d'environ 400 m à 1 200 m (PNUE, 1997). Selon le Centre de recherche sur le développement international (1995), en plus du Chili, du Pérou et de l'Équateur, les zones avec le plus grand potentiel pour bénéficier de cette technique comprennent la côte atlantique de l'Afrique australe (Angola, Namibie), l'Afrique du Sud, le Cap-Vert, la Chine, le Yémen de l'Est, l'Oman, le Mexique, le Kenya et le Sri Lanka.

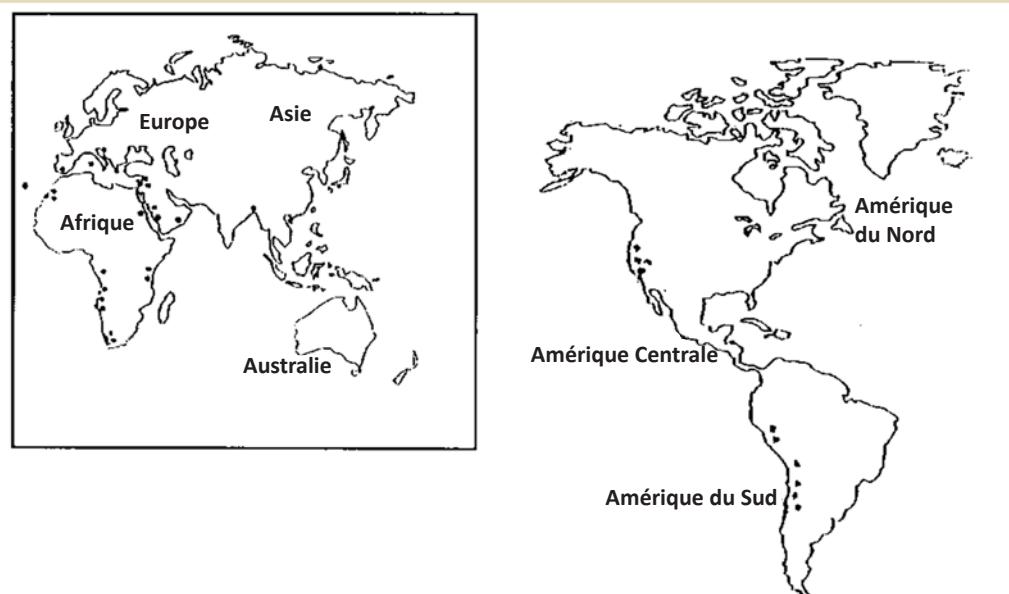
Description

Un système de captage de brouillard se compose d'un filet de maille simple ou double, supporté par deux poteaux s'élevant du sol. Ces filets en maille peuvent varier en taille. Ceux utilisés par l'Université d'Afrique du Sud dans un projet de recherche de captage de brouillard mesurent 70 m² (UNISA, 2008) alors qu'au Yémen, un ensemble de 26 petits capteurs de brouillard standard (SFC, acronyme anglais) de 1 m² ont été construits (Schemenau et al, 2004). Le filet, généralement fait en nylon, polyéthylène ou en polypropylène (également connu sous le nom de « toile d'ombrage »), peut avoir différentes densités capables de capturer des quantités différentes d'eau dans le brouillard qui le traverse (PNUE, 1997). Les capteurs sont positionnés sur les lignes de crête perpendiculairement aux vents dominants et retiennent l'eau quand le brouillard passe à travers. Le nombre et la taille des mailles choisies dépendront de la topographie locale, de la demande en eau, et de la disponibilité de ressources financières et matérielles. Selon FogQuest, la répartition optimale serait un maillage unique avec un espacement entre elles d'au

moins 5 m, avec des capteurs de brouillard supplémentaires placés en amont, à une distance d'une valeur au moins dix fois plus élevée que celle de l'autre collecteur de brouillard. En Afrique du Sud, le projet de recherche de l'université a réuni plusieurs panneaux à mailles pour étendre la zone de captage de l'eau et fournir une plus grande stabilité à la structure dans des conditions venteuses (UNISA, 2008).

Encadré 4.14 Applications potentielles de la technique de captage de brouillard

« Le captage de brouillard a été mis en œuvre avec succès dans les zones côtières montagneuses du Chili, de l'Équateur, du Mexique et du Pérou. En raison des conditions climatiques et montagneuses similaires, cette technologie pourrait également être mise en œuvre dans d'autres régions comme le montre l'illustration ci-dessous. »



Source: PNUE, 1997

Le système de capteur et d'adduction d'eau fonctionne grâce à la gravité. Les gouttelettes d'eau qui s'accumulent sur le maillage coulent vers le bas et atterrissent dans une gouttière au fond du filet d'où elles sont acheminées par des conduites d'eau vers un réservoir ou une citerne. Les taux moyens de production d'eau par capteur sont de 200 à 1 000 litres par jour, avec des variations considérables possibles, selon les jours ou les saisons (FogQuest). L'efficacité de la collecte s'améliore avec la taille des gouttelettes d'eau de brouillard, la vitesse des vents plus élevée, et les fibres de collecte plus étroites/largeur des mailles. En outre, le maillage doit avoir de bonnes caractéristiques de drainage. Les taux de collecte d'eau à partir de capteurs de brouillard sont présentés dans le tableau 4.9 ci-dessous.

Les dimensions du système d'adduction d'eau et le dispositif de stockage dépendront de la taille des champs à arroser. Les installations de stockage doivent correspondre au moins à 50 pour cent du volume maximal d'eau consommée par jour. L'eau est recueillie dans un réservoir de régulation, transférée à une cuve d'eau et puis acheminée vers le système d'irrigation que les agriculteurs peuvent utiliser pour arroser leurs cultures (PNUE, 1997).

Tableau 4.9 Taux de collecte d'eau avec les capteurs de brouillard

Projet	Surface de collecte (m ²)	Eau collectée (litres/jour)
Université de l'Afrique du Sud	70	3 800
Yémen	40	4 500
Cap-Vert	200	4 000
République Dominicaine	40	4 000
Érythrée	1 600	12 000

Sources: UNISA, 2008; Schemenauer et al, 2004; Washtechology, 2011; FogQuest

L'utilisation et l'entretien sont relativement simples une fois que le système a été correctement installé. Néanmoins, un facteur important pour la viabilité de cette technologie est la mise en place d'un programme de contrôle de qualité de routine qui devrait comprendre les tâches suivantes (PNUE, 1997):

- Inspection des filets à mailles et de la tension des câbles pour éviter la perte d'efficacité dans la récupération de l'eau et afin d'éviter les dommages structurels
- Maintenance des filets, des égouts et des canalisations pour éliminer la poussière, les débris et les algues
- Maintenance de la cuve ou du réservoir de stockage pour empêcher l'accumulation de champignons et de bactéries
- Là où les pièces de rechange ne sont pas disponibles localement, il est recommandé qu'un stock de maillage et d'autres composantes soit gardé en réserve, comme l'approvisionnement local peut être limité, notamment dans les régions montagneuses reculées.

La technologie et sa contribution à l'adaptation

La sécheresse provoquée par le changement climatique conduit à la réduction de la disponibilité des réserves d'eau douce dans certaines régions. Ceci a un impact sur la production agricole car cela limite les possibilités pour la plantation et l'irrigation. Le captage de brouillard est un moyen de se faire des approvisionnements en eau pour soutenir l'agriculture dans ces régions. En outre, lorsque l'irrigation est utilisée pour augmenter la surface des zones boisées ou la couverture de la végétation, l'approvisionnement en eau provenant du captage de brouillard peut aider à contrecarrer le processus de désertification. Si on plante des arbres sur les collines de la région, eux aussi peuvent capter l'eau du brouillard et approvisionner ainsi les aquifères. Les forêts peuvent alors subvenir à leurs propres besoins et contribuer au maintien de l'écosystème, aidant ainsi à renforcer la résilience face aux sécheresses.

Avantages

L'eau de l'atmosphère est généralement propre, ne contient pas de micro-organismes nocifs et est immédiatement prête à être utilisée à des fins d'irrigation. L'eau recueillie par captage du brouillard répond aux normes de l'Organisation mondiale de la Santé (UNISA, 2008; WaterAid, date inconnue). L'impact environnemental de l'installation et de la maintenance du système est minime (WaterAid, date

inconnue). Une fois toutes les composantes et la supervision technique assurées, la construction du système de captage du brouillard est relativement simple et peut être réalisée sur place. Le processus de construction nécessite peu de main-d'œuvre et celle-ci n'a besoin que de compétences de base. Une fois installé, le système ne nécessite pas d'énergie pour le fonctionnement. Le captage de brouillard est particulièrement adapté aux zones montagneuses où les gens vivent souvent dans des communautés éloignées. L'investissement en capital nécessaire est généralement bas en comparaison avec les sources conventionnelles d'approvisionnement en eau (PNUE, 1997).

Désavantages

La technologie de captage de brouillard dépend d'une source d'eau qui n'est pas toujours fiable, car l'apparition de brouillard est incertaine. Cependant, certaines zones ont une propension plus élevée pour le développement de brouillard, en particulier les zones côtières montagneuses du côté occidental de l'Amérique du Sud. Faire des estimations, même approximatives, de la quantité d'eau qui peut être obtenue à un endroit particulier est difficile (Schemenauer et Cereceda, 1994). Cette technologie peut représenter un risque de placement à moins qu'un projet pilote soit d'abord réalisé pour quantifier le débit d'eau potentiel qui peut être collecté dans la zone considérée.

Connaissances et suivi requis

Une gamme d'informations météorologiques et géographiques est nécessaire pour mettre en place un système de captage de brouillard, comprenant la direction des vents dominants et le potentiel pour extraire l'eau des brumes (tels que la fréquence d'apparition du brouillard et sa teneur en eau). Une étude de faisabilité et une évaluation devraient également être réalisées pour évaluer l'ampleur et la fiabilité de la source d'eau. Certaines de ces informations peuvent généralement être recueillies auprès des agences météorologiques du gouvernement, en présumant l'existence de stations météorologiques locales et de l'utilisation d'un neblinomètre¹³ pour la collecte des données dans les localités concernées (encadré 4.15).

Encadré 4.15 Informations requises pour évaluer la faisabilité/pertinence de la mise en place d'un système de captage de brouillard

La configuration des vents à l'échelle mondiale: des vents dominants dans une direction sont idéaux pour la collecte de brouillard. La zone de haute pression de la partie orientale de l'océan Pacifique sud produit des vents côtiers venant du sud-ouest au nord du Chili pendant presque toute l'année et des vents venant du sud le long de la côte du Pérou.

Topographie: il est nécessaire d'avoir un relief topographique suffisant pour intercepter le brouillard/les nuages. Les exemples à l'échelle continentale sont notamment les zones côtières montagneuses du Chili, du Pérou et de l'Équateur, et, à l'échelle locale, les collines isolées ou les dunes côtières.

Relief des zones environnantes: il est important qu'il n'y ait pas d'obstacle majeur pour le vent à quelques kilomètres autour de l'installation. Dans les régions côtières arides, la présence d'une dépression intérieure ou d'un bassin qui se réchauffe pendant la journée peut être avantageuse, car la zone de basse pression ainsi créée peut améliorer la brise de la mer et augmenter la vitesse avec laquelle les nuages marins s'abattent sur le dispositif de captage.

Altitude: l'épaisseur des stratocumulus et la hauteur de leur base varient avec l'emplacement. Une altitude souhaitable de travail est à deux tiers de l'épaisseur du nuage au-dessus de la base. Cette partie du nuage aura normalement la teneur en eau liquide la plus élevée. Au Chili et au Pérou, les altitudes de travail vont de 400 m à 1 000 m au-dessus du niveau de la mer.

Orientation des caractéristiques topographiques: il est important que l'axe longitudinal des chaînes montagneuses, des collines, ou des systèmes dunaires soit approximativement perpendiculaire à la direction du vent qui amène les nuages de l'océan. Les nuages vont être captés sur les lignes de crête et les cols, avec le brouillard se dissipant souvent du côté sous le vent.

Distance de la côte: il y a de nombreux endroits de haute altitude continentale, avec des brumes fréquentes, résultant soit du déplacement des nuages par le vent, soit de la formation de nuages orographiques. Dans ces cas, la distance à la côte n'est pas importante. Cependant, les zones à haut relief, près de la côte, sont généralement les sites préférés pour l'installation de systèmes de captage de brouillard.

Espace pour les capteurs: les lignes de crête et les bords de contrevents des montagnes à sommet plat sont de bons sites pour le captage de brouillard. Lorsque des capteurs de brouillard longs sont utilisés, ils doivent être placés à des intervalles d'environ 4,0 m pour permettre que le vent puisse souffler autour des capteurs.

Lignes de crête et vent: une altitude légèrement inférieure dans des endroits contre le vent est acceptable, comme le sont les endroits à altitude constante sur terrain plat. Cependant, les sites derrière une crête ou une colline, en particulier lorsque le vent souffle sur une pente descendante, doivent être évités.

Source: PNUE, 1997

Outre les spécifications techniques données dans l'encadré 4.15, une certaine expertise dans la construction et dans l'entretien de la technologie est nécessaire. Une formation devrait être fournie aux communautés locales pour qu'elles puissent entreprendre des inspections régulières des équipements.

Coûts et besoins financiers

Les coûts varient selon la taille des capteurs, la qualité et la disponibilité des matériaux, la main-d'œuvre, et selon le site d'implantation. Les petits capteurs de brouillard coûtent entre 75 \$ et 200 \$, les grands capteurs de 40 m² coûtent entre 1 000 \$ et 1 500 \$ et ont une durée de vie de dix ans. Une installation dans un village, censée produire environ 2 000 litres d'eau par jour, coûtera environ 15 000 \$ (FogQuest, 2011). Les systèmes à unités multiples ont l'avantage qu'ils sont moins coûteux par unité d'eau produite et que le nombre de panneaux peut être modifié selon les conditions climatiques et selon la demande en eau (PNUE, 1997). La participation communautaire contribuera à réduire le coût du travail de construction.

Exigences institutionnelles et organisationnelles

Il est recommandé que la population locale soit impliquée dans la mise en place du projet (PNUE, 1997; WaterAid, date inconnue). La participation communautaire contribue à éliminer les coûts pour le travail et à assurer un certain sentiment d'appropriation et un engagement à entretenir le système. Un comité de gestion communautaire pourrait être mis en place, composé des personnes formées pour assurer les tâches de réparation et d'entretien, aidant à garantir la viabilité de la technologie. Pour le lancement du projet, des subventions gouvernementales peuvent être nécessaires afin d'acheter les matières premières et pour financer une mission d'expertise technique.

Facteurs entravant la mise en œuvre

Plusieurs défis et questions ont émergé à l'issue des projets de captage de brouillard mis en place jusqu'à aujourd'hui:

- Là où le brouillard est uniquement une ressource saisonnière, l'eau doit être stockée en grandes quantités pour l'utilisation durant la saison sèche (WaterAid, date inconnue)
- Si les installations ne sont pas correctement entretenues, la qualité de l'eau devient un problème pendant les périodes de faibles pluies
- Le captage de brouillard nécessite des conditions environnementales et topographiques spécifiques, limitant son application à des régions spécifiques
- L'approvisionnement et le transport des matériaux sont difficiles dans les régions éloignées et sur des terrains en pente
- Les vents forts et les chutes de neige peuvent entraîner une défaillance structurelle du système pendant l'hiver
- L'apport en eau est difficile à prévoir, ce qui nécessite des études de faisabilité avant la mise en place à grande échelle des systèmes de captage de brouillard
- Pour que la collecte soit efficace, un brouillard fréquent est nécessaire afin de recueillir suffisamment d'eau et pour que l'investissement soit rentable. Cela limite l'installation de cette technologie à certaines régions spécifiques où ces conditions sont réunies
- Il y a peu de producteurs commerciaux de maillage et les principaux fournisseurs sont au Chili. Il n'y a pas de producteurs de maillage en Afrique, en Amérique du Nord ou en Asie (FogQuest, 2011). Par conséquent la mise en œuvre et la maintenance peuvent être coûteuses [en raison des coûts de transport et d'importation].

Les facteurs favorisant la mise en œuvre

La collecte d'eau à partir du brouillard est une technologie innovante pour les communautés montagneuses sans accès aux sources d'eau traditionnelles. Encore largement en phase de développement, il existe des possibilités en matière de recherche et développement pour la technologie du captage de brouillard qui a un fort potentiel pour améliorer la production agricole. Étant donné le manque de fournisseurs de maillage, utiliser les matériaux disponibles localement pour la fabrication des pièces détachées représente une opportunité pour le développement des entreprises locales. Cette technologie offre également l'opportunité de restaurer la végétation naturelle et d'apporter son soutien aux pratiques agricoles en fournissant un approvisionnement en eau pure pour les cultures et le bétail.

Un exemple concret d'application

Encadré 4.16 Développement des systèmes de captage de brouillard au Népal

Entre 1997 et 2004, quatre projets pilotes de captage de brouillard ont été mis en œuvre dans l'est du Népal, dans les régions de Dhankutta, Ilam et Taplejung. Ces projets se sont avérés très efficaces pour adresser le besoin en eau dans ces régions éloignées. Cependant, il y avait plusieurs défis et problèmes liés à la mise en place des systèmes de captage de brouillard. Il s'agissait notamment de l'intégrité et de l'ingénierie, de la qualité de l'eau, du stockage de l'eau, de l'entretien, et de la perception des villageois. Tous ces revers techniques et sociaux soulevaient des préoccupations sur la viabilité et la durabilité des systèmes de captage de brouillard au Népal. Néanmoins, les systèmes de captage de brouillard, s'ils sont bien développés, peuvent être en mesure d'accroître la disponibilité en eau dans de nombreuses régions montagneuses.

Les questionnements concernent:

- Le climat: au Népal, le captage de brouillard ne coïncide pas avec la saison sèche quand des pénuries en eau surviennent.
- Le choix du site: le choix du site doit être guidé par des paramètres climatologiques et topographiques. Sur une échelle macro, ou régionale, des pronostics éclairés peuvent être faits sur la pertinence de cette technologie. Sur une échelle micro cependant, l'identification des communautés et l'évaluation significative des conditions environnementales est une tâche difficile.
- La technique: pourtant simple en théorie et dans sa conception, la mise en place d'un système de captage de brouillard au Népal s'est avérée très difficile. Le terrain, l'achat et le transport des matériaux ainsi que les conditions météorologiques rudes rendent l'installation des équipements coûteuse en temps et en argent.
- Les installations de stockage d'eau: pour pouvoir contenir toute l'eau recueillie, on doit prévoir un réservoir avec une capacité suffisante pour répondre aux exigences minimales de la communauté pendant les mois secs.
- La qualité de l'eau: les perceptions de la communauté sur la source d'eau ont été influencées par des problèmes de turbidité. Pendant les périodes où il n'y a pas de brouillard, la poussière et la saleté s'accumulent sur les filets et s'infiltrent dans l'approvisionnement en eau, rendant l'eau trouble et la contaminant avec des bactéries. Les excréments d'oiseaux et les insectes sont une autre préoccupation.
- La maintenance: (i) s'assurer qu'il existe un fond d'entretien, (ii) les conflits communautaires en raison d'un manque de coopération, (iii) les pièces de rechange ne sont pas disponibles sur les marchés locaux, (iv) la technologie n'est pas facile à utiliser, (v) le manque de suivi et (vi) la gestion du calendrier d'évaluation.
- Les perceptions sociales: perception défavorable de l'eau du brouillard; les villageois sont contre l'idée que leur communauté soit prise comme « site test » pour la technologie, surtout que les questions liées à l'approvisionnement en eau sont si importantes; le manque de participation coordonnée de la communauté.
- Les institutions: On a besoin d'un bon flux de l'information, des matériaux et des données. Le savoir-faire technique devrait être transféré aux membres des collectivités locales (ou aux ONG locales). Il faut essayer de documenter et de partager au mieux les informations sur les expériences.

Source: Apigian, 2005

4.2.3 Collecte des eaux de pluie

Définition

Les pluies constituent sans doute la réserve d'eau d'origine naturelle la plus propre qui soit. Il existe des possibilités considérables pour la collecte des eaux de pluie quand elle tombe, avant que d'énormes pertes ne se produisent en raison de l'évapotranspiration, du ruissellement et du drainage de l'eau et avant qu'elle ne soit contaminée par des intermédiaires naturels ou les activités humaines. La collecte des eaux de pluie est une technologie particulièrement adaptée aux zones où il n'y a pas d'eau de surface, où les eaux souterraines sont trop profondes ou inaccessibles, ou encore si l'eau est trop salée ou acide.

Description

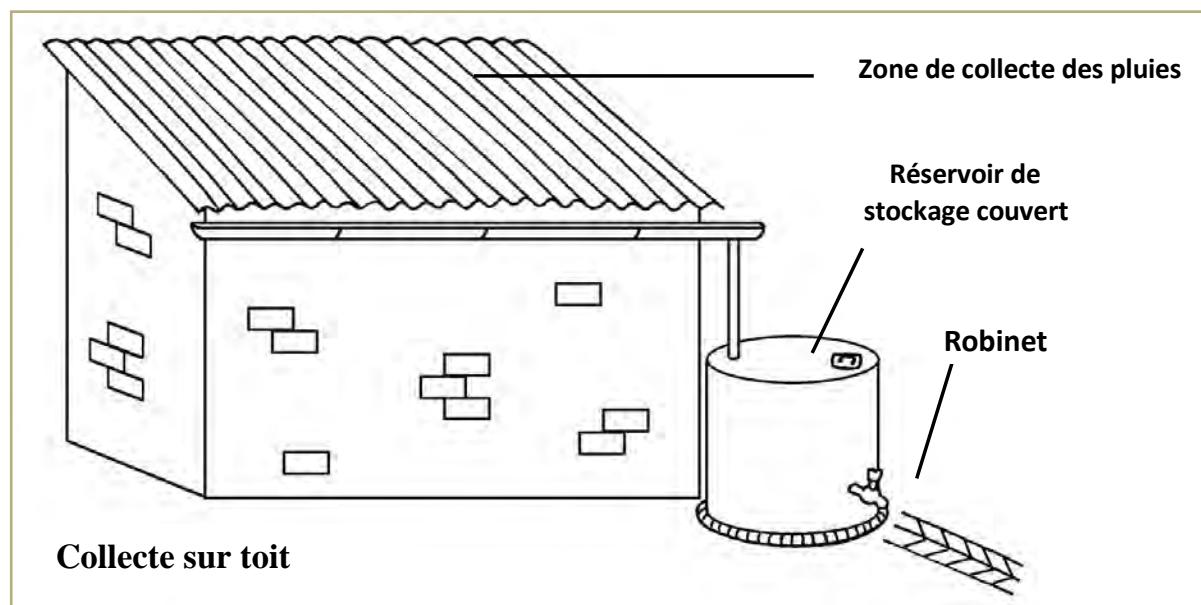
La technique de collecte des eaux de pluie est définie comme une méthode pour induire, collecter, stocker et conserver les ruissellements d'eau de surface¹⁴ pour l'agriculture dans les régions arides et semi-arides (Boers et Ben-Asher, 1982). Les petits ainsi que les grands récipients peuvent être utilisés pour la collecte et le stockage des eaux de pluie, comme par exemple les casseroles d'eau, les citernes, les réservoirs ou les barrages. Les systèmes de collecte d'eau de pluie communément utilisés sont construits à partir de trois composantes principales:

Bassin de drainage des eaux de pluie

Le bassin de drainage est la partie où le ruissellement de l'eau de pluie est collecté, dans la plupart des cas soit sur le toit d'une maison ou d'un bâtiment, soit à la surface du sol ou à la surface d'une roche.

Sur le toit

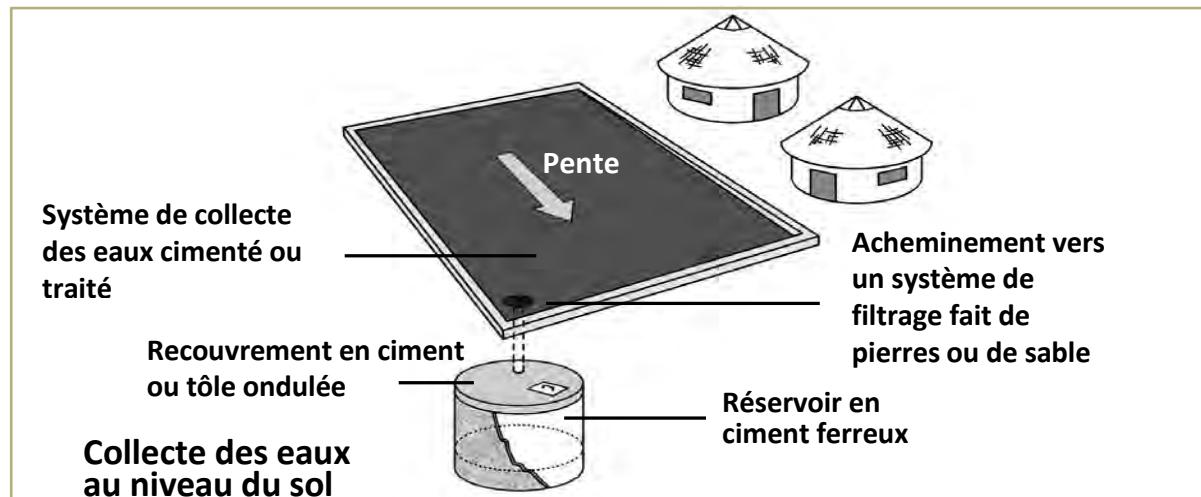
L'eau de pluie est collectée dans des récipients sur le bord du toit ou acheminée via les gouttières et tuyaux vers un système de stockage. Les toits peuvent être construits en tôle ondulée, en feuilles d'aluminium de ciment, en tuiles ou en ardoises par exemple. Les toits en chaume ou en feuilles de palmier sont une alternative à faible coût, mais peuvent être difficiles à nettoyer et entacher les eaux de ruissellement. Les toits en tuiles, en tôles d'acier ondulées ou autres matériaux sont préférables, car sont le plus facile à construire et donnent l'eau la plus propre (WaterAid, date inconnue). Des risques pour la santé peuvent découler de toits en feuilles d'amiante, couverts d'une peinture métallisée, ou d'autres revêtements qui peuvent contaminer l'eau (Gould, 1992). Les bassins de drainage installés sur les toits sont particulièrement appropriés à l'utilisation domestique et peuvent fournir un apport d'eau pour les besoins ménagers ou l'agriculture familiale.

Figure 4.5 Schéma d'un système classique de captage des eaux de pluie

Source: PNUE IETC, 1998

À la surface du sol

L'eau qui coule sur le sol pendant les pluies est généralement acheminée vers un réservoir sous la surface (Figure 4.6). Il y a une plus grande possibilité de perte d'eau que pour les systèmes sur les toits en raison de l'infiltration de l'eau dans le sol. L'eau est généralement d'une qualité inférieure à celle recueillie directement. Les techniques pour augmenter le ruissellement dans les bassins versants sous le sol comprennent: (i) modification ou élimination de la couverture végétale, (ii) augmentation de la pente du terrain à l'aide d'un sol artificiel, et (iii) réduction de la perméabilité du sol par le compactage et l'application de produits chimiques (PNUE, 1982). Des membranes imperméables peuvent également être utilisées pour faciliter le ruissellement. Les systèmes de collecte d'eau sous le sol sont particulièrement adaptés aux zones topographiques basses et pour la production agricole à grande échelle, car ils permettent le stockage et l'utilisation de l'eau douce pour l'irrigation in situ.

Figure 4.6 Système de collecte des eaux de pluie enfoui sous le sol

Source: PNUE IETC, 1998

Encadré 4.17 Système de collecte des eaux de pluie à la surface du sol au Paraguay

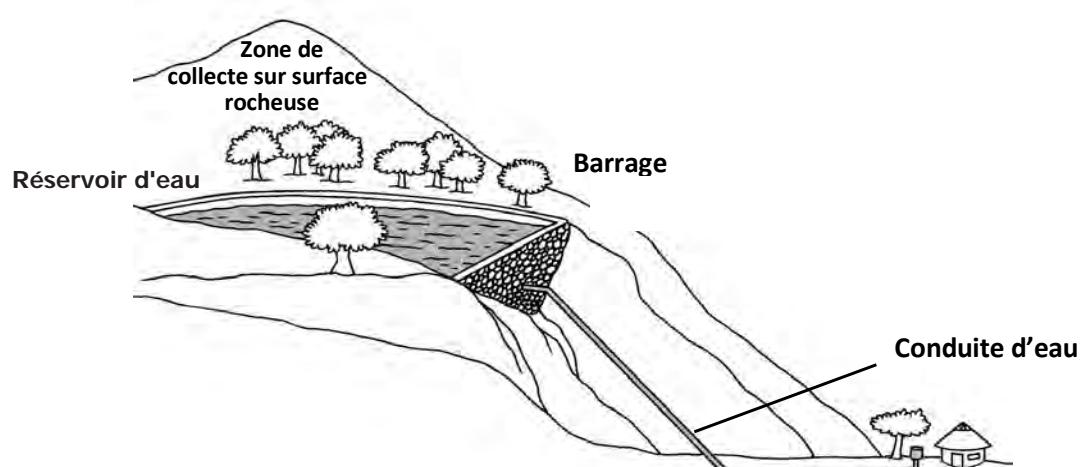
Au Paraguay, les zones à faible relief, utilisées pour le stockage de l'eau de pluie, s'appellent les tajamares. Les tajamares sont construits dans des zones au sol argileux à au moins 3 m de profondeur. Les tajamares sont reliés par des conduites qui transportent l'eau de la zone de stockage vers les zones d'utilisation. Les zones de collecte et de stockage doivent être clôturées pour éviter la contamination de l'eau par les animaux. Cette technologie est généralement combinée avec des réservoirs de stockage construits en argile. L'eau est acheminée à partir de la zone de collecte des eaux vers le réservoir de stockage au moyen d'une pompe, généralement alimentée par un moulin à vent. L'eau stockée dans les tajamares est normalement utilisée pour l'abreuvement du bétail et peut être utilisée pour la consommation humaine après filtration et/ou chloration. Les tajamares individuels ont également été utilisés comme un moyen de remplir artificiellement les nappes souterraines. Le coût de construction d'un tajamar au Paraguay a été rapporté à 4 500 \$. Ce coût comprend non seulement le coût de la préparation du sol, mais aussi le coût des équipements auxiliaires tels que le réservoir de stockage et les moulins à vent.

Source: PNUE, 1997

Surfaces rocheuses

Les surfaces rocheuses peuvent également être utilisées comme bassins de collecte. Les surfaces rocheuses trouvées en haut des pentes rocheuses ou sur les affleurements rocheux des basses terres ont souvent des cavités naturelles ou des vallées qui peuvent être transformées en réservoirs d'eau en construisant un barrage (figure 4.7). L'installation d'un système de collecte des eaux de pluie sur une surface rocheuse implique généralement le nettoyage et le défrichage du site pour tracer la zone de collecte qui va devoir être close avec des gouttières. Les surfaces rocheuses ne devraient pas être fracturées ou fissurées, car cela pourrait provoquer une fuite de l'eau. Comme pour les bassins terrestres, l'eau est généralement de moindre qualité qu'avec une collecte directe. La qualité de l'eau peut être améliorée si l'accès à la zone de stockage est limité (inaccessible aux animaux et aux enfants par exemple) (WaterAid, date inconnue).

Figure 4.7 Collecte des eaux sur des surfaces rocheuses



Source: PNUE IETC, 1998

Système de conduite d'eau

Plusieurs systèmes de conduite d'eau existent pour acheminer l'eau du bassin versant vers le dispositif de stockage, comme par exemple les gouttières, les tuyaux, les pentes glissantes, les drains de surface ou les canaux. Les systèmes de conduite d'eau de plus grande envergure peuvent nécessiter des pompes pour transporter l'eau sur de plus grandes distances. Ceux-ci devraient être construits à partir de matériaux chimiquement inertes tels que le bois, le bambou, le plastique, l'acier inoxydable, l'aluminium ou la fibre de verre, afin d'éviter d'affecter négativement la qualité de l'eau (PNUE, 1997). Dans le cas de collecte d'eau dans des bassins de roche, les gouttières peuvent être construites à partir d'un mur de pierre en pierres rugueuses et jointes avec du mortier (PNUE IETC, 1998). Pour la collecte des eaux de pluie pour les besoins des ménages, des gouttières, tuyaux de descente, des entonnoirs et des filtres sont nécessaires pour transférer et nettoyer l'eau collectée avant son entrée dans le dispositif de stockage.

Dispositif de stockage

Les dispositifs de stockage sont utilisés pour stocker l'eau qui est recueillie à partir des bassins versants. On peut les classer de la façon suivante (i) réservoirs hors-sol et (ii) citernes ou réservoirs de stockage souterrains. Ces installations peuvent varier en taille, allant d'un mètre cube jusqu'à des centaines de mètres cubes pour les grands projets. Les récipients communément utilisés pour le stockage de l'eau à petite échelle sont des bols en plastique, des seaux, des jerrycans, des bocaux d'argile ou de céramique, des pots de ciment, ou de vieux bidons d'huile. Les dispositifs de stockage peuvent être faits à moindre coût avec des matériaux locaux comme le bambou ou l'acier, revêtus d'un mélange de sable et de ciment (WaterAid, date inconnue). Les réservoirs en ferro-ciment, dans lesquels du mortier est appliqué à un cadre métallique cylindrique qui aide à contrôler la fissuration, deviennent de plus en plus populaires. Ces réservoirs peuvent avoir une taille jusqu'à 100 m³. Pour le stockage de plus grandes quantités d'eau, le système nécessite généralement un plus grand réservoir avec une résistance et une durabilité suffisante. Généralement, ces réservoirs peuvent être construits en briques revêtues de ciment. Pour les eaux collectées à partir d'un bassin de roche, un barrage est la forme la plus commune de stockage.

Un entretien régulier est nécessaire pour le nettoyage des réservoirs, des gouttières, tuyaux et robinets afin d'éliminer la saleté, les feuilles ou autres matériaux accumulés. Ce nettoyage doit avoir lieu chaque année, avant le début de la grande saison des pluies, avec des inspections régulières. Dans les régions où les précipitations sont imprévisibles, un entretien et des nettoyages plus réguliers seront nécessaires pour s'assurer que l'équipement est maintenu en bon état de fonctionnement. Les fissures dans les réservoirs de stockage peuvent créer des problèmes majeurs et doivent être réparées immédiatement pour éviter la perte d'eau. Dans le cas des bassins versants sur la surface du sol et des roches, des soins supplémentaires sont nécessaires pour éviter les dommages et la contamination causés par des personnes ou des animaux et afin de garder la zone de collecte exempte de végétation.

Comment cette technique contribue-t-elle à l'adaptation au changement climatique?

Le changement climatique perturbe fortement le régime des précipitations mondiales causant, dans certaines parties du monde, une baisse drastique des précipitations et entraînant une baisse des niveaux d'eau dans de nombreux barrages et rivières. En Afrique sub-saharienne, où deux tiers de la région sont désertiques et arides, la nécessité d'améliorer la gestion de l'eau dans le secteur de l'agriculture est particulièrement critique. La collecte des eaux de pluie représente une stratégie d'adaptation face aux fortes variabilités des précipitations, à la fois pour les besoins ménagers et pour améliorer les cultures, le bétail et toutes autres formes d'agriculture (PNUE et SEI, 2009).

Généralement, la quantité d'eau recueillie par cette technique est limitée et doit être consommée économiquement pour éviter des pénuries d'eau pendant les phases critiques de la croissance des cultures. L'irrigation d'appoint est une stratégie clé et peut aider à augmenter les rendements de plus de 100 pour cent. Une production supplémentaire en eau entre 50 et 200 mm par hectare par saison pour l'irrigation, combinée à une meilleure gestion agronomique, peut doubler les rendements de l'agriculture à petite échelle irriguée avec l'eau des pluies (UNEP et SEI, 2009).

Avantages

Les systèmes de collecte des eaux de pluie sont simples à installer et à utiliser. Les populations locales peuvent être facilement formées pour mettre en place ces systèmes, et les matériaux de construction sont généralement facilement disponibles. Les systèmes de collecte des eaux de pluie sont pratiques, car ils acheminent l'eau jusqu'au point d'utilisation et les agriculteurs ont le contrôle sur leurs propres systèmes. Les systèmes de collecte des eaux de pluie favorisent l'autosuffisance et ont un impact minimal sur l'environnement. Les coûts de fonctionnement sont assez faibles. La construction, l'exploitation et la maintenance nécessitent peu de main-d'œuvre. L'eau recueillie est de qualité acceptable pour les besoins agricoles. Les autres avantages comprennent l'augmentation des niveaux d'humidité du sol et l'augmentation de la nappe phréatique par la recharge artificielle. La collecte des eaux de pluie et son application pour augmenter les rendements peuvent encourager les agriculteurs à diversifier leurs entreprises, en augmentant par exemple la production, en améliorant leurs semences, en investissant dans l'élevage ou en améliorant les infrastructures d'irrigation, les engrains et les antiparasitaires (PNUE et SEI, 2009).

Désavantages

Le principal inconvénient de cette technologie est lié à l'incertitude et la diminution des précipitations. L'eau de pluie n'est pas une source d'eau fiable pendant les périodes sèches ou en temps de sécheresse prolongée. La faible capacité de stockage des eaux limite le potentiel de collecte d'eau, tandis que l'augmentation de capacité de stockage va ajouter des coûts de construction et d'exploitation supplémentaires rendant la technologie moins rentable. L'efficacité de stockage peut être limitée par l'évaporation entre les pluies. Dans les bassins versants avec des stocks excédentaires limités, l'eau de pluie dans les zones en amont peut avoir un impact dommageable en aval et peut provoquer des conflits communautaires graves. Aussi, lorsque le ruissellement à partir d'une grande surface est concentré dans des petites structures de stockage, il y a un danger potentiel de dégradation de la qualité de l'eau due à l'introduction de produits agrochimiques et autres impuretés dans l'eau (PNUE et SEI, 2009).

Connaissances et suivi requis

Les informations nécessaires pour l'implémentation de systèmes de collecte des eaux de pluie sont liées à la disponibilité et à la demande en eau (encadré 4.18).

Encadré 4.18 Informations nécessaires pour la sélection d'un système de collecte des eaux de pluie

- Taux de précipitations (mm/an)
- Fréquence des pluies – la fréquence des précipitations ainsi que le total des précipitations déterminent la faisabilité de la mise en place d'un système de collecte des eaux de pluie. Si dans une région, la pluie tombe régulièrement tout au long de l'année, les besoins de stockage seront moindres et donc le coût du système sera proportionnellement faible et vice versa.
- Surface de la zone de collecte (m²)
- Capacité de stockage disponible (m³)
- Consommation journalière (litres/personne /jour)
- Nombre d'utilisateurs
- Coût – facteur important pour chaque projet
- Sources d'eau alternatives – s'il y a une source d'eau souterraine à distance de marche des habitations (moins d'un kilomètre ou deux), alors un système de collecte des eaux de pluie qui peut fournir un approvisionnement fiable en eau pour la majorité de l'année aura un impact significatif sur les modes de vie des utilisateurs.
- Stratégie d'utilisation de l'eau – peu importe les conditions, avoir une stratégie d'utilisation rationnelle de l'eau est toujours un atout. Là où il y a une forte dépendance par rapport aux stocks des eaux de pluie, l'utilisation de l'eau doit être rationalisée afin que les stocks ne s'épuisent pas avant les nouvelles pluies.

Source: Practical Action, date inconnue

Coûts et besoins financiers

Le coût des systèmes de collecte des eaux de pluie dépend du type de matériaux utilisés, du transport et des réservoirs de stockage choisis, mais en général, les coûts pour les systèmes de collecte des eaux de pluie sont faibles (PNUE, 1997). Le dispositif du réservoir de stockage est l'élément le plus coûteux et représente habituellement environ 90 pour cent du coût total (WaterAid, date inconnue). Une étude de cas sur 311 programmes de bassins versants en Inde, avec des composantes importantes de collecte des eaux de pluie et d'utilisation rationnelle de l'eau, a enregistré en moyenne un rapport coût-bénéfice relativement élevé, de 1:2,14 (Joshi et al, 2005).

Au Bhoutan, un projet de collecte des eaux de pluie sur trois ans, avec un budget total de 850 000 \$, avait comme objectif de protéger les agriculteurs contre les pénuries d'eau pendant les périodes sèches et des irrégularités de précipitations pendant la mousson. Les activités comprenaient:

- Le développement de l'irrigation à petite échelle basé sur les technologies de collecte des eaux de pluie
- Le renforcement de la participation des agriculteurs, des services de recherche et de vulgarisation
- L'évaluation de la vulnérabilité
- Le plan d'arpentage
- Le crédit rural

- La gestion de projet
- L'identification des zones vulnérables à la sécheresse et aux pluies de mousson irrégulières
- Les études aériennes et l'évaluation des images de télédétection/photographies pour déterminer les zones propices à la récolte de l'eau
- L'évaluation des technologies de collecte des eaux de pluie les plus adaptées
- L'adaptation technologique pour répondre aux besoins et exigences spécifiques à chaque endroit
- La recherche de nouvelles conceptions et d'ensemble de technologies améliorées (étude et modélisation des ruissellements d'eau)
- Le renforcement des capacités des agriculteurs à mobiliser des ressources locales pour la mise en place de la technologie
- Démonstration de technologies émergentes comme le système supplémentaire d'eau, le système à double usage, le système combiné, la modélisation
- La formation des agriculteurs au maintien des systèmes de collecte des eaux de pluie, et l'utilisation efficace de l'eau collectée
- L'analyse économique des techniques de collecte des eaux de pluie

Les coûts de chaque activité réalisée dans le cadre du projet sont présentés dans le tableau 4.10 ci-dessous:

Tableau 4.10 Répartition budgétaire du projet de collecte des eaux de pluie au Bhoutan

Activités	Année 1 (USD)	Année 2 (USD)	Année 3 (USD)
Développement de l'irrigation à petite échelle avec les technologies de collecte des eaux de pluie	50 000	100 000	200 000
Renforcement de la participation des agriculteurs, services de recherche et de vulgarisation	100 000	150 000	50 000
Évaluation des vulnérabilités	25 000	-	-
Plan d'arpentage	25 000	10 000	-
Crédit rural	-	-	150 000
Gestion de projet	10 000	10 000	15 000
Coût total	210 000	270 000	415 000

Source: CCNUCC, 2008

Au Burundi, un projet pilote de quatre ans pour installer des unités de collecte d'eau de pluie et former des techniciens locaux s'élevait à 1 000 000 \$, comme détaillé dans le tableau 4.11.

Tableau 4.11 Coûts des activités du programme pilote au Burundi

Activités	Coût (USD)
Former des techniciens spécialistes sur 3 mois à l'étranger (en Afrique) dans l'utilisation des techniques d'irrigation par la récupération des eaux de pluie/techniques d'irrigation des collines et dans le stockage de l'eau	100 000
Former localement des techniciens A2 (deux par commune, 12 pour le Bugesera) en techniques d'irrigation par la récupération des eaux de pluie/techniques d'irrigation des collines et dans le stockage de l'eau	50 000
Mettre en place au moins une installation pilote de collecte des eaux de pluie et un système d'irrigation des collines dans chacune des six communes du Bugesera	400 000
Faciliter les installations de systèmes similaires chez des agriculteurs/éleveurs ciblés par le programme	250 000
Installer un système d'adduction d'eau par pompage photovoltaïque dans la région du Bugesera	200 000
Total	1 000 000

Source: CCNUCC, 2008

Exigences organisationnelles et institutionnelles

La technologie de collecte des eaux de pluie est simple à installer et à utiliser, et n'implique pas d'exigences institutionnelles ou organisationnelles spécifiques. Cependant, les gouvernements et les donateurs pourraient jouer un rôle clé en fournissant des subventions pour l'achat d'équipement, rendant ainsi la technologie accessible à un plus grand nombre d'agriculteurs, et en particulier aux petits agriculteurs (PNUE et SEI, 2009).

Facteurs entravant la mise en œuvre

Le coût des systèmes de stockage de l'eau de pluie est souvent cité comme un obstacle potentiel à une plus large diffusion de cette technologie (Gould, 1992). Pour les ménages les plus pauvres, une certaine forme de mécanisme de financement, de préférence accompagné d'une subvention, sera le seul moyen d'acquérir un système de collecte d'eau de pluie. Une absence de politique nationale de collecte d'eau de pluie pourrait également présenter un obstacle à la mise en œuvre généralisée, l'accès à un financement et à une assistance technique. Les installations appartenant à la collectivité souffrent souvent d'un manque de protection, de soins et d'entretien (Hatibu et Mahoo, 1999).

Facteurs favorisant la mise en œuvre

La faible et variable productivité dans les zones d'agriculture pluviale est la principale cause de pauvreté de 70 pour cent des pauvres dans le monde (PNUE et SEI, 2009). La technologie de collecte d'eau de pluie offre donc une réelle opportunité pour augmenter la productivité dans les régions aux précipitations faibles et irrégulières. Dans ces régions, le développement et l'utilisation de systèmes de collecte des eaux de pluie peuvent fournir un point de départ pour la réussite des programmes de développement.

Exemples réels d'application

Encadré 4.19 Collecte des eaux de pluie aux Philippines

Aux Philippines, la technologie de collecte des eaux de pluie a été lancée en 1989 avec l'aide du CRDI, Canada. Environ 500 réservoirs de stockage d'eau de pluie ont été construits dans la province de Capiz au cours de ce projet. Les capacités des réservoirs variaient de 2 à 10 m³, et ils ont été faits en ciment ferreux. Pour les réservoirs, il fallait construire un cadre avec une armature en acier et un treillis métallique sur une fondation en béton armé robuste. Les réservoirs ont ensuite été plâtrés à l'intérieur et à l'extérieur afin de réduire leur sensibilité à la corrosion par rapport à des réservoirs simples en métal.

Le système de collecte d'eau de pluie aux Philippines a été mis en œuvre dans le cadre des activités génératrices de revenus dans la province de Capiz. Initialement, des prêts ont été accordés pour financer le coût des réservoirs et des activités agricoles connexes. Chaque bénéficiaire a reçu un prêt de 200 \$, remboursable sur une période de trois ans, et couvrant non seulement le coût du réservoir, mais aussi une ou plusieurs activités génératrices de revenus telles que l'achat et l'élevage de porcs, coûtant environ 25 \$ chacun. Un porc adulte peut se revendre à un prix allant jusqu'à 90 \$ par tête, ce qui a généré des revenus pour les agriculteurs, leur permettant de rembourser leur prêt. Ce mécanisme novateur pour le financement de l'approvisionnement en eau en milieu rural a permis d'éviter le type de subventions accordées par de nombreux projets de développement dans le passé.

Source: Gould, 1992

Encadré 4.20 La collecte des eaux de pluie pour réaliser le plein potentiel de l'agriculture pluviale en Inde

L'Inde occupe la première place parmi les pays pratiquant une agriculture pluviale, aussi bien en termes d'étendue (86 millions d'hectares) qu'en valeur produite. Les systèmes traditionnels de l'agriculture de subsistance ont changé et actuellement les agriculteurs ont peu d'options. Les agriculteurs ont donc commencé à cultiver des espèces à forte valeur ajoutée qui requièrent une utilisation intensive d'intrants. L'apparition fréquente de sécheresses en mi-saison et terminales, d'une à trois semaines consécutives au cours de la saison principale de croissance des cultures, est la première cause des échecs et des faibles rendements. L'irrigation est donc cruciale pendant ces périodes et a le potentiel d'améliorer les rendements de 29 à 114 pour cent selon les différentes cultures. Une étude détaillée à l'échelle des districts et à l'échelle agro-éco régionale, comprenant 604 districts, a montré que sur une superficie cultivée de 25 millions d'hectares (hors zones très arides et humides), un excédent de précipitations de 9,97 Mha/m était disponible. Une petite partie de cette eau (environ 18 %) était suffisante pour fournir une application d'irrigation critique de 18,75 millions d'hectares au cours d'une année de sécheresse et de 22,75 millions d'hectares au cours d'une année normale. L'eau utilisée pour l'irrigation complémentaire avait la productivité marginale la plus élevée et pouvait augmenter la production de l'agriculture pluviale de plus de 50 pour cent, là où c'était possible. Plus précisément, les bénéfices nets ont été multipliés par 3 pour le riz, par 4 pour les légumineuses et par 6 pour les graines oléagineuses. Les sécheresses semblent avoir un impact limité lorsque les agriculteurs sont équipés de systèmes de collecte d'eau de pluie. La collecte de l'eau et l'irrigation d'appoint sont économiquement viables au niveau national et ont des effets limités en aval pendant les années normales. Cette intervention décentralisée et plus équitable a ciblé les petits producteurs, pauvres en ressources, et a le potentiel de servir comme une stratégie alternative aux projets de connexion aux rivières et de transfert d'eau.

Source: Sharma et al., 2008

4.3 Gestion des sols

Certains changements généralisés dans la composition des sols sont attendus en raison du changement climatique mondial. Les augmentations de CO₂, l'élévation du niveau de la mer, les changements dans la couverture végétale et dans les pratiques agricoles, la hausse des températures et les changements dans les précipitations auront un impact positif ou négatif sur la fertilité et les conditions physiques des sols, bien que la nature précise de ces changements soit soumise à des incertitudes majeures. Malgré cette incertitude, une gamme de technologies de gestion des sols peut aider à améliorer la qualité du sol et augmenter la résilience contre les effets négatifs du changement climatique (Brinkman et Sombroek, 1996) afin de maintenir la productivité agricole.

4.3.1 Terrasses de formation lente

Définition

Une terrasse est une surface nivélée utilisée dans l'agriculture pour cultiver des terrains en pente, accidentés ou montagneux. Les terrasses peuvent également être utilisées sur un terrain relativement plat, dans les cas où le sol et les conditions climatiques sont propices à l'érosion. Les terrasses sont efficaces pour la croissance d'une large variété de cultures comme le riz, les pommes de terre, le maïs, les oliviers et les vignobles. Les terrasses ont quatre fonctions principales (Gonzales de Olarte et Trivelli, 1999):

- Améliorer les conditions naturelles pour la production agricole
- Diminuer le taux d'érosion
- Augmenter l'humidité du sol
- Générer des avantages environnementaux positifs

Description

Les terrasses de formation lente sont construites à partir d'une combinaison de fossés d'infiltration, de haies et de murs en terre ou en pierres. Cette technologie diminue le ruissellement des eaux de surface, augmente l'infiltration d'eau et intercepte les sédiments du sol (UNESCO-ROSTLAC, 1997). Les terrasses de formation lente sont appelées comme ça parce qu'elles prennent entre trois et cinq ans, peut-être même dix ans, pour se développer pleinement.

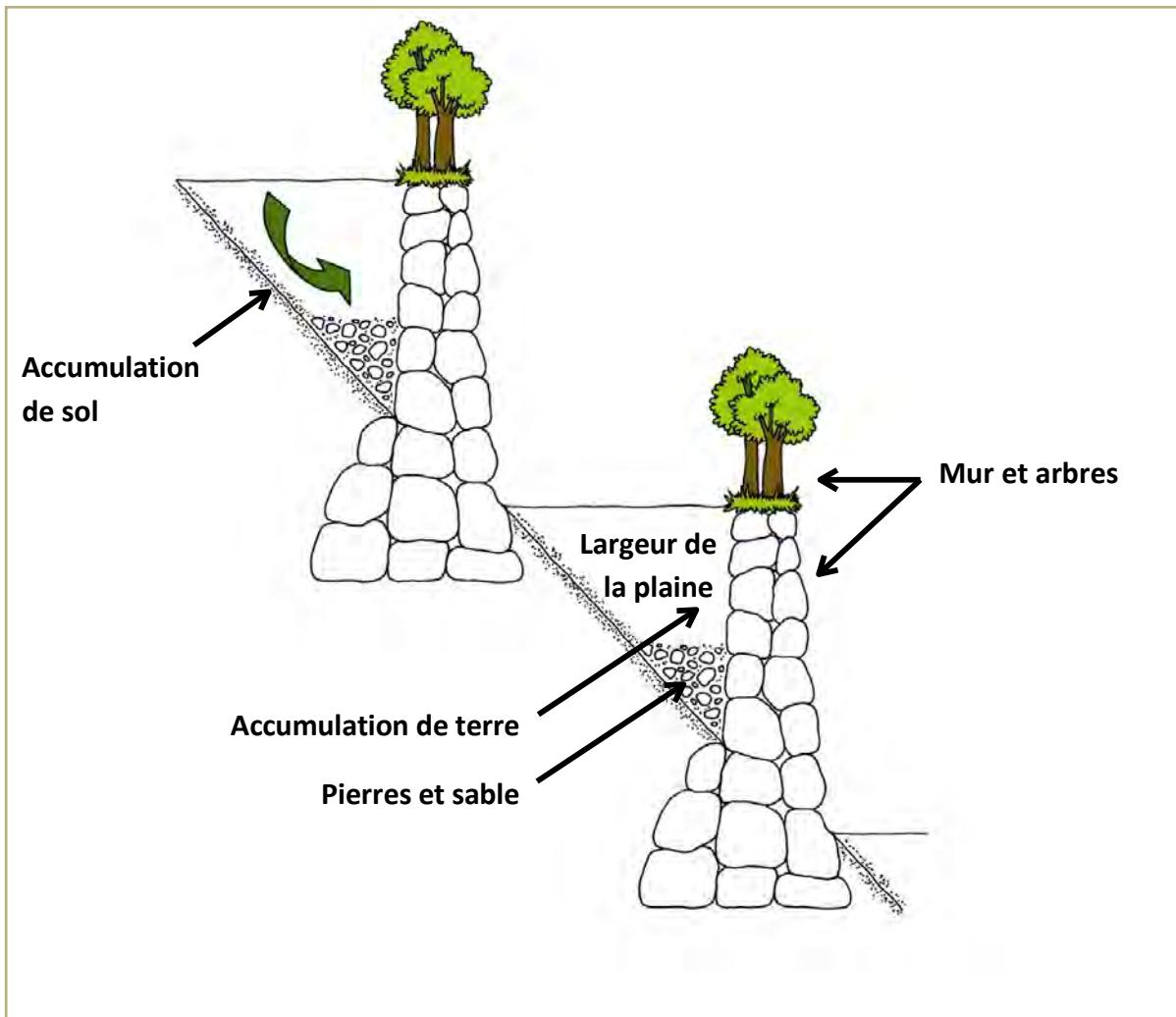
Les terrasses de formation lente peuvent être construites là où la terre est légèrement ou fortement inclinée et là où le sol est suffisamment profond pour créer un effet de traînée. Cela conduit à la formation d'échelons en raison de l'accumulation de sédiments par les pluies ou par la gravité naturelle. Des fossés à différents niveaux sont tracés et excavés le long de la ligne de contour d'une pente, puis un remblai de terre, de pierres ou de plantes est construit à intervalles réguliers. Au fil des années, le sol érodé s'accumule dans ces bandes tampons et des terrasses se forment lentement. Pour éviter la rupture de ces zones tampons par de fortes pluies, une inclinaison d'un à deux pour cent est recommandée (Fantappiè, date inconnue).

Selon le type de sol, les fossés doivent généralement être de 40 cm de large et de profondeur. La longueur recommandée pour les terrasses est entre 50 et 80 mètres et la hauteur de la pente devrait être la même que la hauteur des fossés de terre ou de pierres (Soluciones Prácticas-ITDG, 2007).

Les plantes à cultiver le long des bandes tampons doivent être résistantes aux conditions locales et pousser vite et bien. Lorsque cela est possible, les plantes qui peuvent fournir du bois pour le carburant

et des aliments pour le bétail doivent être choisies. Si possible, des espèces légumineuses devraient être plantées pour améliorer l'approvisionnement du sol en azote (Fantappiè, date inconnue). La structure des terrasses de formation lente est représentée sur la figure 4.8.

Figure 4.8 Structure des terrasses de formation lente



Source: Valdivia, 2002, adaptée par Valdivia de Carrion, 1999

Des options à bas coûts ont été développées et sont également efficaces pour accumuler les sédiments, sans qu'il y ait besoin de construire des structures physiques. Une option est de planter des haies sur les lignes de contour (Young, 1997). Ce système a été utilisé sur 10 000 hectares de terres aux Philippines, au Rwanda et en Haïti. Des doubles haies de type Leucaena ou Gliricidia voire des arbustes sont plantés à 4-8 mètres de distance le long des contours. Les arbustes sont taillés deux ou trois fois par an et les feuilles et les branches appliquées au sol ou contre les tiges des arbustes sont utilisées pour capturer les sédiments. Cela conduit à la formation de terrasses jusqu'à 50 cm de hauteur dans les deux ou trois premières années. Une autre alternative est d'utiliser des espèces d'herbe à enracinement profond telles que le vétiver ou Panicum Tussack, souvent utilisées pour couper et transporter le fourrage. Une méthode encore plus simple est de laisser les bandes de végétation naturelle qui vont ensuite former progressivement les bords

stabilisés de terrasses (ICRAF, 1996). Ces différentes méthodes de terrassement réduisent l'érosion du sol de la moitié à seulement 2 pour cent et améliorent l'infiltration des précipitations.

Comment cette technique contribue-t-elle à l'adaptation au changement climatique?

Cette technologie facilite l'adaptation au changement climatique en optimisant l'utilisation de l'eau. Ceci est particulièrement pertinent dans les régions qui dépendent de la fonte des glaciers pour leur approvisionnement en eau et les régions où il y a des incertitudes quant aux modèles futurs de précipitations, comme dans les régions andines, par exemple. La variabilité du climat affecte aussi le sol, car de fortes pluies associées à une pauvre gestion des sols donnent lieu à des glissements de terrain et des coulées de boue. Les terrasses de formation lente réduisent l'érosion du sol et, par conséquent, le danger d'importants glissements de terrain.

Les terrasses fournissent également un procédé de régulation du microclimat pour la production agricole. En capturant la chaleur du soleil dans les parois rocheuses, les terrasses absorbent la chaleur pendant la journée et la libèrent la nuit, créant un microclimat interne légèrement plus chaud qui permet de protéger les cultures contre les gelées, de prolonger la saison de croissance et de diversifier les cultures (Mars, 2005).

Avantages

Les terrasses de formation lente permettent le développement de grandes superficies de terres arables sur des terrains accidentés et peuvent favoriser l'introduction de techniques de culture modernes telles que la mécanisation, l'irrigation et le transport sur les terrains en pente. Elles augmentent la teneur en humidité du sol en retenant une grande quantité d'eau. Elles capturent les ruissellements qui peuvent être détournés par les conduites d'irrigation, à une vitesse contrôlée pour prévenir l'érosion du sol. Elles augmentent l'exposition du sol au soleil et reconstituent et maintiennent sa fertilité, car les sédiments sont déposés à chaque niveau, augmentant ainsi la teneur en matière organique et préservant la biodiversité.

Il a également été démontré que les terrasses de formation lente augmentent la productivité des cultures. Les recherches menées au Pérou ont démontré que les pois répondaient le mieux à l'effet des terrasses (tableau 4.12). Les rendements pour le maïs, les pommes de terre et les fèves ont également augmentés. La raison principale de cette augmentation est attribuée à la meilleure rétention d'eau.

Tableau 4.12 Rendement (kg/ha) pour les principales cultures à La Encañada, Pérou

Culture	Champs terrassés	Champs non terrassés	Augmentation (%)
Pommes de terre	4300	3800	13,16
Maïs	951	794	19,77
Orge	798	726	9,92
Tubercules des Andes	6709	6331	5,97
Fèves	755	640	17,97
Pois	830	596	39,26

Source: Valdivia, 2002; CONDESAN, 1995; 60

En Bolivie, il a également été démontré que les terrasses de formation lente augmentent le rendement des cultures entre 25 et 75 pour cent (tableau 4.13).

Tableau 4.13 Rendements des cultures (t/ha) dans la communauté de Chullpa K'asa, Bolivie

Culture	Champs terrassés	Champs non terrassés	Augmentation (%)
Pommes de terre	12	9	33,3
Oca	14	11	27,3
Maïs	7	4	75
Blé	1.3	0.8	63
Orge	1.5	1.2	25

Source: basé sur Delgadillo et Delgado, 2003

Les terrasses faites en utilisant les haies ou les bandes enherbées présentent l'avantage que le matériel que l'on en a fait peut être utilisé comme fourrage pour le bétail. En outre, ce système prend moins d'espace, occupant seulement 10 à 15 pour cent de la terre au lieu de 20 à 30 pour cent comme c'est le cas pour les systèmes de fossés par exemple. Enfin, elles exigent considérablement moins de travail à établir.

Désavantages

En termes de limites, une analyse économique des investissements des terrasses de formation lente dans les Andes péruviennes a montré qu'appliquées à une échelle régionale, ces terrasses ont des rendements variés et parfois limités. Lorsque les agriculteurs doivent payer la totalité des coûts d'investissement, les rendements peuvent être aussi bas que 10 pour cent (Antle et al, 2004). La rentabilité dépendra de facteurs tels que les taux d'intérêt, les coûts d'investissement et les coûts de maintenance. L'analyse coût-bénéfice doit cependant tenir compte d'autres facteurs, notamment de la productivité accrue des sols et des avantages de conservation. En outre, les terrasses de formation lente sont formées sur une longue période, comprise entre trois et cinq ans, ce qui signifie que leurs effets positifs ne sont pas immédiats.

Les terrasses formées avec des haies ou des herbes peuvent rivaliser avec les cultures associées si elles ne sont pas suffisamment taillées. Généralement, cette technologie est moins efficace sur des pentes de plus de 30 pour cent si les haies sont placées à plus de 4 m de distance.

Connaissances et suivi requis

Des connaissances sur la conception des terrasses, leur construction et maintenance, y compris les techniques de contournement ou de nivellement, ainsi que des connaissances sur les cultures adaptées à l'irrigation des terrasses de formation lente sont nécessaires. La méthode la plus fiable pour définir le contour est la méthode dite « A-frame ».¹⁵ Pour pouvoir juger le rapport coût-bénéfice d'un système de terrasse de formation lente, des informations sur les investissements et les rendements économiques probables seront nécessaires.

Coûts et besoins financiers

La composante la plus coûteuse des terrasses à formation lente est la main-d'œuvre qui dépendra de la moyenne des salaires locaux. Le temps nécessaire pour construire une terrasse de formation lente dépendra de la main-d'œuvre disponible, du type de sol travaillé et du moment de l'année. Les outils de base nécessaires (comme des pioches et des pelles) appartiennent généralement à l'agriculteur et peuvent être utilisés sans coût supplémentaire. Une fois construite, les coûts annuels de maintenance sont minimes (Treacey, 1989). La recherche indique que deux personnes peuvent construire 7 m² de paroi en une seule journée. Prenons une terrasse avec un mur de 1,8 m de haut et 50 m de long, deux personnes pourraient restaurer cette terrasse en deux semaines, ou en construire une nouvelle en un peu plus de deux semaines (Valdivia, 2002). Pour un projet au nord du Pérou, un investissement initial de 350 \$/ha a été nécessaire, avec des coûts autour de 86 \$/ha par an pour l'entretien (Yanggen et al, 2003).

Planter des haies ou des bandes enherbées est moins cher à l'investissement, mais nécessite une gestion continue par la suite.

Exigences institutionnelles et organisationnelles

Les terrasses à formation lente peuvent être mises en place au niveau des exploitations agricoles mêmes, sans arrangements institutionnels ou organisationnels spécifiques. Nonobstant, les agences gouvernementales locales peuvent fournir une assistance sous forme de transfert de technologie, de formation et de subventions. En termes d'organisation sociale, il convient de profiter de l'éthique de travail commun et d'autres systèmes de coopération mutuelle pour une construction plus rapide et une maintenance plus efficace.

Facteurs entravant la mise en œuvre

Les obstacles à l'implémentation de cette technologie comprennent le manque d'accès au crédit par les agriculteurs et le temps nécessaire pour que les rendements des cultures augmentent, ce qui peut prendre jusqu'à dix ans (Yanggen et al, 2003). Cela peut conduire à l'abandon de la technologie par les agriculteurs, si les avantages à long terme ne sont pas bien compris. Yanggen et al (2003) estiment que, dans le cas du Pérou, des subventions de l'ordre de 40 pour cent du coût total de la mise en place de terrasses à formation lente seraient nécessaires pour rendre cette technologie plus attrayante aux yeux des agriculteurs. Compte tenu du temps nécessaire pour obtenir des résultats, le manque d'accès à la terre ou les droits fonciers pourraient empêcher un agriculteur de préférer cette technologie aux pratiques traditionnelles. En général, les petits producteurs louent seulement les terres qu'ils travaillent, et ont donc tendance à avoir des horizons de planification plus courts et voient les structures permanentes, nécessitant des investissements importants, comme plus risquées (Dvorak, 1996).

La réduction de la superficie des terres disponibles pour la culture en raison de l'espace occupé par les fossés ou des bandes de végétation peut être un important facteur de dissuasion pour les agriculteurs ayant déjà un accès très limité à la terre. Aussi, si la terre cultivée est louée à un autre propriétaire foncier, il y a peu d'incitations à investir dans la conservation des sols.

Facteurs favorisant la mise en œuvre

La construction de terrasse peut être une opportunité pour l'amélioration des pratiques de gestion des sols, des cultures et de l'eau. Cela à son tour peut offrir des possibilités aux agriculteurs d'augmenter leurs rendements et diversifier la production agricole afin de générer des revenus supplémentaires.

Exemple concret d'application

Encadré 4.21 Conservation et restauration des sols volcaniques détériorés dans les Andes équatoriennes

Un projet financé par le ministère italien des Affaires étrangères et mis en œuvre par l'ONG MLAL à Guamote, en Équateur, a mené des recherches sur l'utilisation et la gestion de l'eau, y compris des pratiques conservatrices de l'eau comme les terrasses de formation lente.

Principales conclusions

- Les plantes indigènes telles que le pasto millin (*Festuca arundinacea*) et la lupina (*cititus monpesulanus*) étaient les meilleures plantes à utiliser le long des murs de la terrasse en tant que coupe-vent parce qu'elles sont très résistantes aux conditions locales (sol et climat). Elles peuvent être utilisées comme aliments pour les animaux domestiques, fournir du bois pour le carburant et, dans le cas de la lupina (*cititus monpesulanus*) qui est une espèce de légumineuses, fournir aussi un bon apport d'azote pour améliorer la qualité globale des sols.
- Les principales cultures étaient la pomme de terre, le quinoa, le soja et les tubercules andins, le facteur crucial pour la productivité était l'eau. Pour cette raison, les variétés locales de pommes de terre ont donné des rendements dix fois meilleurs que celles sélectionnées pour leur résistance face aux maladies.
- Pour préserver au mieux le sol et l'eau, il était nécessaire de couvrir le sol à l'aide de techniques agronomiques telles que le paillage, les plantes de couverture, et de peu travailler le sol voire pas du tout.
- D'autres facteurs de productivité importants étaient les nutriments organiques, en particulier l'azote. Pour cette raison, de meilleurs résultats ont été obtenus en associant les pommes de terre avec des espèces de légumineuses comme les haricots.

Source: *Fantappiè, date inconnue*

Encadré 4.22 L'agriculture sur les terres en pente

Le système de plantation de haies le long des contours des terrasses a été développé par l'église baptiste de Mindanao, aux Philippines, et a ensuite été transféré à d'autres pays comme le Népal.

Essentiellement, le système consiste à planter des doubles rangées rapprochées d'arbustes de légumineuses tels que le Gliricidia ou le Leucaena (tous les 20 cm) et avec un espace de 4 à 6 m entre les rangs. Les haies sont taillées tous les un à deux mois pendant la saison de croissance jusqu'à une hauteur de 1,0 m. Les espèces annuelles sont cultivées entre les haies, mais il est également recommandé qu'à chaque troisième rangée, des espèces pérennes soient plantées pour augmenter la stabilité globale du sol. En somme, les agriculteurs sont encouragés à planter une variété de cultures annuelles et pérennes et à utiliser une variété d'espèces d'arbustes différentes pour les haies.

L'érosion des sols a pu être réduite à moins de 5 pour cent avec cette technique agricole. Une étude économique du système sur dix ans a montré que le revenu des agriculteurs a été multiplié par trois après l'adoption de ce système de production. L'investissement de mise en place est supérieur aux rendements de maïs au cours des deux ou trois premières années, mais génère un bénéfice net dès la cinquième année. Depuis sa création à la fin des années 1970, le système a été développé et utilisé par au moins 5 000 agriculteurs depuis le début des années 1990.

Source: <http://www.fao.org/ag/AGP/agpc/doc/PUBLICAT/Gutt-shel/x5556e0y.htm>

Figure 4.9 Plantation de haies le long des terres agricoles en pente aux Philippines

Source: Paolo Lim (2007)

4.3.2 Agriculture de conservation/Conservation des sols

Définition

Le travail du sol est la préparation agricole du sol avec des moyens mécaniques, la traction animale ou la main-d'œuvre humaine (labourer, creuser, renverser, pelleter, ratisser). Pour l'agriculture à petite échelle, la tendance est d'utiliser des outils manuels et, dans certains cas, des animaux de trait, alors qu'à moyenne ou à grande échelle, la tendance est d'utiliser des techniques plus adaptées à la taille de la terre travaillée, telles que les tracteurs. L'objectif global du travail du sol est d'augmenter la production agricole tout en préservant les ressources (sol et eau) et l'environnement (IBSRAM, 1990).

L'agriculture de conservation est un ensemble de stratégies et de techniques de plantation de cultures dans les résidus d'une culture précédente, délibérément laissés à la surface du sol (voir figure 4.10 et figure 4.11). Environ un tiers des résidus des cultures précédentes est laissé à la surface du sol (voir Figure 4.12). Cela ralentit le mouvement de l'eau, ce qui à son tour réduit l'érosion des sols. La technique de conservation du sol est appropriée à une large gamme de cultures, dont les céréales, les légumes, les tubercules, la canne à sucre, le manioc, les fruits et les vignes.

L'agriculture de conservation est une technique populaire en Amérique, pratiquée par environ 44 pour cent des producteurs en Amérique latine. Des études suggèrent qu'il y a un grand potentiel pour appliquer cette technologie en Afrique, en Asie et en Europe de l'Est, même si les facteurs limitatifs doivent être pris en compte (voir les obstacles cités ci-dessous) (Derpsch, 2001; GTZ, 1998).

Description

Les pratiques de conservation de sol les plus courantes sont la réduction voire la suppression du travail de la terre, le semis direct et le semis sous litière.

Le non-travail de la terre est une façon de cultiver sans perturber le sol. Cette pratique consiste à laisser le résidu de la récolte de l'année dernière et de planter directement dans le résidu, sur le lit de semence. La culture sans travail préalable de la terre nécessite un équipement de semis spécialisé, conçu pour planter des graines dans les résidus de cultures précédentes et les sols non travaillés. La méthode de conservation du sol change considérablement la composition des mauvaises herbes. Les mauvaises herbes à croissance rapide ne sont plus un problème face à une concurrence accrue, mais les arbustes et les arbres peuvent commencer à se développer aussi. Les cultures de couverture – « engrais vert » – peuvent être utilisées pour aider à contrôler les mauvaises herbes. Les cultures de couverture sont généralement des légumineuses qui sont riches en azote et qui augmentent ainsi la fertilité du sol.

Dans les pratiques de cultures sur billon, le sol est laissé au repos, de la récolte jusqu'à la prochaine plantation, et les cultures sont plantées sur des crêtes soulevées (Figure 4.13). Planter consiste généralement à enlever le sommet de la crête. La plantation est ensuite complétée par des balayages et l'utilisation de socs, de socs à disque, ou de dispositifs de nettoyage des rangées. Le résidu est laissé à la surface entre les crêtes. Le désherbage est réalisé avec des cultures de couverture, des herbicides et/ou par l'entretien. Les crêtes sont reconstruites pendant la culture entre les rangs.

Figure 4.10 Binage en Inde



Source: Practical Action

Pour les techniques de culture sur paillis, les sols sont travaillés entre la récolte d'une culture et la plantation de la prochaine, mais en laissant environ un tiers du sol couvert de résidus après le semis. Les instruments utilisés pour cette technique comprennent des burins, des balais et des cultivateurs.

Comment cette technique contribue-t-elle à l'adaptation?

L'imprévisibilité des précipitations et une augmentation de la température moyenne peuvent affecter les niveaux d'humidité du sol conduisant à des réductions ou échecs de rendements des cultures. Les pratiques de l'agriculture de conservation réduisent les risques liés à la sécheresse en réduisant l'érosion des sols, en améliorant la rétention de l'humidité et en minimisant l'impact sur le sol. Ceci améliore la résilience

aux effets climatiques de la sécheresse et des inondations (Smith, 2005). L'amélioration du recyclage des nutriments du sol peut également aider à combattre les ravageurs et les maladies (Hollande, 2004).

Figure 4.11 La traction animale au Népal



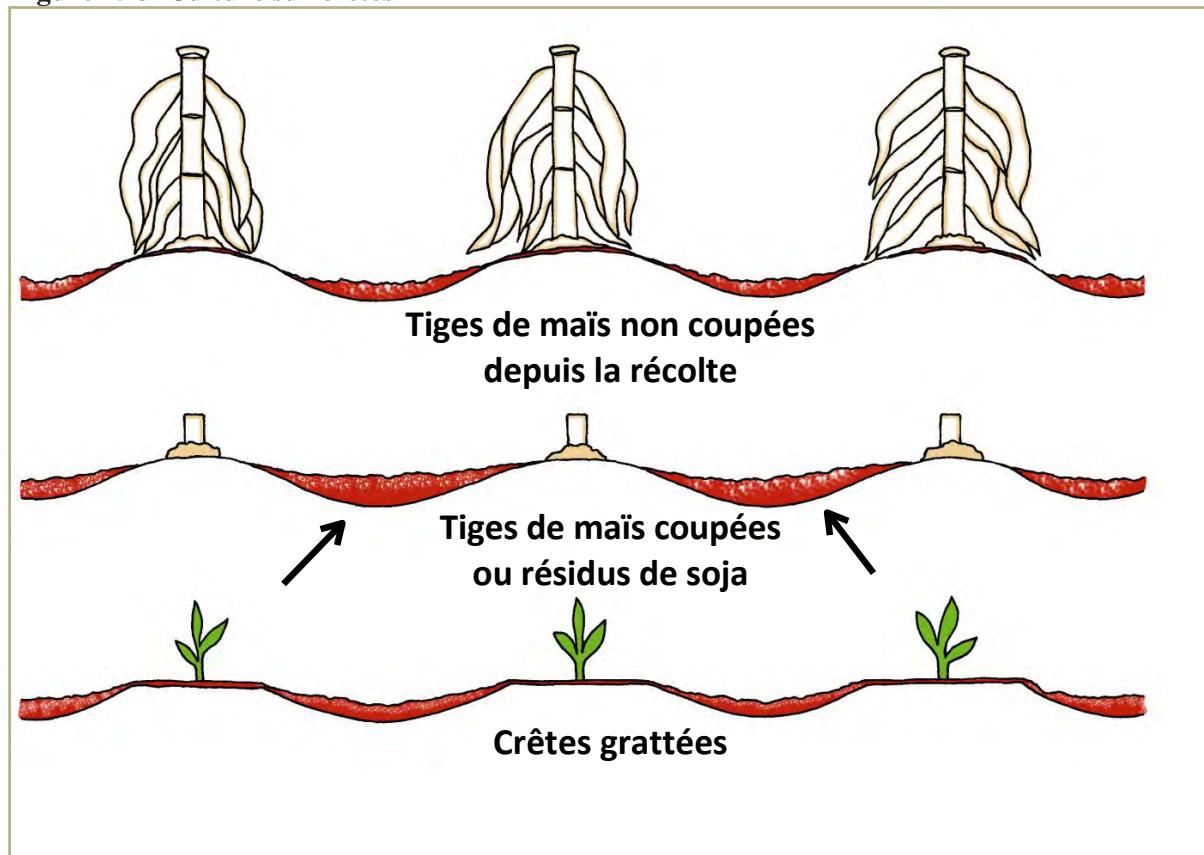
Source: Rajesh, K.C., Practical Action

Figure 4.12 Agriculture de conservation utilisant des disques et des fourchons



Source: Peeters Agricultural Machinery, Pays-Bas

Figure 4.13 Culture sur crêtes



Source: Adapté de « *Introduction à la culture de crêtes pour le maïs et le soja.* », Coopérative du Service d'Extension de l'Université de Purdue ID-180

Avantages

Les avantages de l'agriculture de conservation sont la minimisation de l'érosion, l'amélioration de la fertilité des sols ainsi que du rendement. Le labourage adoucit et aère le sol ce qui facilite une pénétration plus profonde des racines. Le travail du sol est censé aider à la croissance des micro-organismes présents dans le sol et contribue à distribuer les résidus de la récolte, les matières organiques et les éléments nutritifs dans le sol de manière uniforme. L'agriculture de conservation permet également de réduire la consommation de carburant et le compactage du sol. En réduisant le nombre de fois où ils doivent se déplacer sur le champ, les agriculteurs font d'importantes économies de carburant et réduisent leurs besoins en main-d'œuvre. Les besoins en ressources humaines pour la préparation du sol et le désherbage sont également réduits une fois le système installé. En retour, cela peut augmenter le temps disponible pour les activités additionnelles ou extra-agricoles pour la diversification des activités de subsistance. Aussi, une fois le système établi, les exigences en herbicides et engrains sont réduites. Selon Sorrenson et al (1998), le total des avantages économiques découlant de l'agriculture de conservation pour les petites exploitations de moins de 20 ha au Paraguay ont atteint environ 941 millions de dollars.

Désavantages

L'agriculture de conservation peut exiger l'application d'herbicides dans le cas de fortes infestations, en particulier dans la phase de transition jusqu'à ce qu'un nouvel équilibre soit établi (FAO, date inconnue).

L'agriculture de conservation peut également conduire à la compaction du sol au fil du temps; mais cela peut être évité avec des charrues à soc ou décompacteurs. L'investissement initial en temps et en argent ainsi que l'achat de matériel et d'herbicides seront nécessaires pour établir le système. Des niveaux plus élevés de résidus de surface peuvent entraîner une hausse des maladies des plantes et des infestations de ravageurs, si ce n'est pas géré correctement. Il y a une forte relation entre cette approche et les caractéristiques appropriées du sol. Cela est néfaste pour les sols à forte teneur en argile et les sols compacts.

Connaissances et suivi requis

Les agriculteurs ont besoin d'une bonne formation pour savoir comment mettre en œuvre l'agriculture de conservation, ils doivent acquérir des connaissances sur la rotation des cultures; l'analyse de l'état du sol; le contrôle de la température et de l'humidité du sol; la gestion des nutriments et des mauvaises herbes; et sur la sélection des équipements appropriés. Des études en Amérique latine ont montré que le principal obstacle à la diffusion de l'agriculture de conservation du sol est le manque de connaissances spécifiques sur le contrôle des mauvaises herbes. La vulgarisation des informations sur les mauvaises herbes, les herbicides (comprenant les détails sur leurs caractéristiques chimiques et toxicologiques) et des techniques d'application, est donc une exigence pour pratiquer l'agriculture de conservation du sol (Derpsch, 2001).

Exigences institutionnelles et organisationnelles

Les agriculteurs, pour l'achat des équipements, peuvent être appuyés par les organisations paysannes nationales, régionales ou locales. En Zambie, le programme *Africare Smallholder Agricultural Mechanisation Promotions* (SAMeP, acronyme anglais) a aidé les petits agriculteurs à accéder aux technologies nécessaires à l'agriculture de conservation en encourageant les entrepreneurs ruraux à accroître leur base de fourniture d'équipements et de pièces de rechange (Sakala, 1999). Ce type de programme pourrait être élargi pour améliorer l'accès à d'autres intrants tels que les semences de cultures de couverture, les herbicides ou les engrains. Les fournisseurs d'équipement du secteur public et privé ont également un rôle à jouer en répondant aux demandes des agriculteurs pour l'acquisition d'outils et d'équipements adaptés.

Coûts et besoins financiers

Le coût de l'équipement pour la mise en place d'un système de conservation du sol dépendra de comment la terre est travaillée; avec la traction motorisée, animale ou humaine. Le coût le plus important pour les grands producteurs sera les machines et le carburant. Cependant, l'application importante d'herbicides pourrait compenser ces économies, en particulier dans les phases d'adoption initiale. Pour les petites exploitations, les économies sur les coûts de la main-d'œuvre pourraient être substantielles. Une étude menée au Nigeria a montré que les pratiques de conservation du sol peuvent réduire d'environ 50 pour cent les besoins en main-d'œuvre par rapport aux systèmes traditionnels (Ehui et al, 1990). Des incitations financières ou des subventions pourraient être nécessaires pour appuyer les agriculteurs dans l'adoption de cette pratique. Au Brésil, les incitations monétaires ont permis de motiver la formation de groupements d'agriculteurs, conduisant à une augmentation de la coopération et de l'innovation technologique (Banque mondiale, 2000).

Facteurs entravant la mise en œuvre

Un manque de connaissances appropriées et/ou de recherche et de développement de la méthode de conservation du sol représentent les principaux obstacles à son utilisation (Derpsch, 2001). De même, là

où il n'y a pas de production ou de disponibilité d'équipement et d'autres intrants, tels que les herbicides, les coûts vont augmenter significativement et peuvent présenter un obstacle à l'implémentation de la technique. Les barrières écologiques à la mise en place de ce système de production comprennent les faibles précipitations, avec une faible production de biomasse, des courtes saisons de croissance et des sols à fort risque d'engorgement d'eau. Les facteurs socio-économiques contraints incluent: une forte demande pour les résidus de récolte comme par exemple le fourrage pour le bétail, des droits incertains d'utilisation des terres et des infrastructures peu développées (marché, crédit, services de vulgarisation) (GTZ, 1998).

Facteurs favorisant la mise en œuvre

En Amérique latine, l'adoption de cette technique a été grandement facilitée par l'échange d'informations par le biais d'associations d'agriculteurs (Banque mondiale, 2000), des publications contenant des informations pratiques sur la mise en œuvre adéquate de la technique et des études montrant les rendements économiques positifs (Derpsch, 2001).

Cas réel d'application

Encadré 4.23 La conservation du sol au Brésil

Au Brésil, l'agriculture de conservation est passée de 180 000 hectares en 1992 à 6 000 000 d'hectares en 2002. Les producteurs ont constaté que de ne pas travailler la terre pendant certaines séquences de la plantation, ainsi que la rotation des cultures sur des durées plus longues, permet d'augmenter la production de 10 pour cent. Cela permet également aux producteurs de réduire l'utilisation de la chaux, des pesticides et des fongicides de 50 pour cent ou plus, et l'utilisation d'autres produits chimiques de 10 pour cent.

Réduction des coûts, rendements plus élevés

Le rendement net par hectare est presque 50 pour cent plus élevé que celui des producteurs utilisant les méthodes conventionnelles. Moins de machines sont nécessaires pour l'agriculture de conservation que pour la culture conventionnelle, ce qui, pour les agriculteurs qui ont déjà investi des sommes importantes dans les machines, pourrait être un fardeau. En outre, même si moins de machines sont nécessaires, il faut cependant acheter quelques équipements spéciaux. Des machines pourront toujours être achetées au fur et à mesure, ou des planteurs pourraient être engagés pour planter les cultures. En général, il ne semble pas y avoir d'importants obstacles financiers à l'adoption de l'agriculture de conservation.

L'agriculture de conservation réduit l'érosion des sols

Les techniques de conservation peuvent réduire l'érosion du sol à 5,6 tonnes de sol par hectare (t/ha) par an. Le ruissellement des précipitations sur les champs travaillés de façon conventionnelle est généralement de l'ordre de 138 mm par mois. L'agriculture de conservation permet de réduire le ruissellement à environ 42 mm. La réduction du ruissellement est le résultat des résidus de récolte sur la surface du sol qui ralentissent le mouvement de l'eau. L'eau prend donc plus de temps pour être absorbée par le sol et peut être stockée par les plantes pour une utilisation ultérieure.

Les avantages économiques

Les prestations annuelles estimatives de l'adoption des techniques agricoles de conservation s'élèvent à environ 1,386 millions de dollars pour 35 pour cent, et 3,081 milliards de dollars pour les 80 pour cent d'une superficie totale cultivée de 15,4 millions d'hectares.

Contd...

Obstacles à l'application

Les principaux obstacles à l'introduction de l'agriculture de conservation sont d'ordre culturel. Les producteurs peuvent ne pas être à l'aise avec la nouvelle technique, car elle va à l'encontre de comment ils ont travaillé dans le passé. En plus des rendements financiers, il y a aussi un certain nombre de gains en termes de conservation du sol. Au Brésil, l'agriculture conventionnelle provoque généralement des pertes de sol de quelques 23,6 tonnes par hectare (t/ha) par an.

Source: Clay, 2004

Encadré 4.24 Culture en crêtes et bandes de végétation naturelle comme des obstacles à l'érosion aux Philippines

Un projet coordonné par l'ICRAF aux Philippines a travaillé avec les agriculteurs pour comparer les effets de la combinaison de différentes techniques de conservation des sols sur une période de trois ans. Traditionnellement, les agriculteurs labourent et hersent leurs champs deux fois par an et sèment des graines de maïs hybride à la main. Le sol de la crête a été fait en utilisant la même charrue à soc et les mêmes animaux de trait que les agriculteurs utilisaient traditionnellement. Les agriculteurs travaillent généralement la terre aussi sur les contours, au mieux de leur capacité, afin de réduire l'érosion.

Les systèmes qui ont été comparés sont la culture sur crêtes et les bandes de végétation naturelle, isolément ou combinés. La culture de crête combine bandes de terre cultivée, alternées avec des bandes de terre non cultivée, les cultures étant plantées sur les bandes de terre non travaillées. Les bandes « tampons », entre les bandes cultivées, sont labourées afin de contrôler les mauvaises herbes et pour éléver les crêtes de terre non travaillée. Utilisant la traction animale, un sillon peu profond est planté à travers le chaume de la récolte précédente et de nouvelles graines plantées dans la même rangée. Ensuite, la charrue à soc est utilisée pour cultiver et enterrer les mauvaises herbes dans les rangées intercalaires et une deuxième fois pour éléver le niveau des crêtes, environ un mois après la plantation. Si la croissance des mauvaises herbes est trop importante, l'utilisation d'herbicides peut être nécessaire. Habituellement, la deuxième culture est plantée directement dans les rangs sans autre travail du sol, mais l'utilisation d'herbicides peut être nécessaire.

Les bandes de végétation naturelle étaient disposées environ tous les 8 m ou une chute verticale de 1,5 m, et occupaient environ 10 pour cent de la surface des terres.

Principales conclusions

- La culture sur billons réduit les pertes de sol de moitié, voire d'un tiers, comparé aux méthodes traditionnelles de profond labourage, les rendements de la production de maïs étaient les mêmes, mais l'avantage étant que la culture sur billons a des coûts inférieurs parce qu'elle nécessite moins d'entretien.
- Les bandes de végétation naturelle réduisent l'érosion de moins de 10 pour cent, soit moins d'une tonne de perte de sol par hectare, par rapport aux méthodes traditionnelles; mais les rendements de maïs étaient en moyenne 13 pour cent plus bas en raison de l'occupation de la terre par les bandes de végétation. La combinaison de bandes de végétation et de crêtes cultivées donnait le même résultat que les bandes de végétation seules pendant la période d'évaluation, mais il reste à espérer que des deux techniques réduisent l'affouillement du sol d'un bord de la terrasse.
- Dans tous les cas, les avantages productifs de l'agriculture de conservation du sol n'ont pas été perçus lors de l'évaluation des trois années de ce projet pilote.
- Planter la deuxième culture sans labourer le sol est faisable uniquement lorsque les mauvaises herbes ont été éliminées en appliquant l'herbicide glyphosate habituel.

Source: Rapport annuel ICRAF, 1996

4.3.3 Gestion intégrée des éléments nutritifs

Définition

Un bon sol est une exigence fondamentale pour la production agricole, car il fournit aux plantes l'ancrage, l'eau et les nutriments dont elles ont besoin. Une certaine quantité de nutriments minéraux et organiques sont toujours présents dans les sols, mais doivent souvent être complétés par des applications externes en engrais pour garantir une meilleure croissance des cultures. Les engrais améliorent la fertilité des sols, assurent une meilleure croissance des plantes, améliorent les rendements des cultures et permettent l'intensification agricole.

Les engrais sont de nature organique ou minérale. Les engrais organiques sont dérivés de substances d'origine végétale ou animale, comme le fumier, le compost, les algues et la paille céréalière. Les engrais organiques contiennent généralement moins d'éléments nutritifs pour les plantes, comme ils sont combinés avec de la matière organique qui améliore les caractéristiques physiques et biologiques des sols. Les engrais minéraux les plus couramment utilisés sont à base d'azote, de potassium et de phosphate.

L'utilisation optimale et équilibrée des apports de nutriments provenant d'engrais minéraux sera d'une importance fondamentale pour satisfaire la demande mondiale croissante en produits alimentaires (Institut international de recherche sur les politiques alimentaires, 1995). L'utilisation d'engrais minéraux a presque quintuplé depuis 1960 et a grandement contribué à satisfaire les besoins alimentaires d'une population mondiale toujours croissante – Smil (2002) estime que les engrais à base d'azote ont contribué à hauteur d'environ 40 pour cent à l'augmentation de la production alimentaire par habitant dans les 50 dernières années. Néanmoins, les préoccupations environnementales et les contraintes économiques signifient que les besoins nutritifs des cultures ne doivent pas seulement être atteints avec des engrais minéraux. L'utilisation efficace de toutes les sources d'éléments nutritifs, y compris les sources organiques, les déchets recyclables, les engrais minéraux et les engrais biologiques, devrait donc être encouragée dans le cadre de la gestion intégrée des éléments nutritifs (Roy et al, 2006).

Description

L'objectif de la gestion intégrée des éléments nutritifs (INM, acronyme anglais) est de combiner l'utilisation des éléments nutritifs de source naturelle et artificielle pour augmenter la productivité des cultures et préserver leur productivité pour les générations futures (FAO, 1995a). Plutôt que de se concentrer sur une seule culture, l'approche INM vise une utilisation optimale des sources d'éléments nutritifs pour une large variété de cultures différentes ou pour des cultures de rotation. Cela encourage les agriculteurs à faire des planifications à long terme et à avoir plus conscience des impacts environnementaux.

L'approche INM s'appuie sur un certain nombre de facteurs comprenant la conservation et l'application appropriée de nutriments ainsi que le transfert de connaissances aux agriculteurs et aux chercheurs sur les pratiques de l'INM. Afin d'améliorer l'apport d'éléments nutritifs aux plantes, une gamme de pratiques, décrites dans ce livret, comme les cultures en terrasses, l'agriculture de conservation, les cultures intercalaires et la rotation des cultures, peuvent être utilisées. Étant donné que ces technologies sont traitées dans d'autres parties de ce livret, cette section ne se concentrera que sur l'utilisation appropriée des engrais pour améliorer et conserver la fertilité des sols. En plus de la sélection et de l'application typique d'engrais, les pratiques INM comprennent de nouvelles techniques, telles que le placement en profondeur des engrais et l'utilisation d'inhibiteurs ou de revêtements d'urée,¹⁷ qui ont été développées pour améliorer l'absorption des nutriments par les plantes.

Les éléments clés de l'approche INM comprennent:

- Des tests pour déterminer la disponibilité ou les carences de nutriments dans les plantes et les sols. Ceux-ci sont:
 - i. L'analyse des symptômes des plantes – des indices visuels peuvent fournir des indications sur les carences en nutriments spécifiques. Par exemple, les plantes qui ont une carence en azote semblent rabougries et pâles par rapport aux plantes saines.
 - ii. L'analyse des tissus et l'analyse du sol – là où les symptômes ne sont pas visibles à l'œil nu, des prélèvements d'échantillon de tissus post-récolte peuvent être analysés dans un laboratoire et comparés avec un échantillon de référence d'une plante saine.
- L'évaluation systématique des contraintes et opportunités dans les pratiques actuelles de gestion de la fertilité des sols et la façon dont celles-ci influencent le niveau des nutriments dans les sols afin de déterminer s'il y a par exemple une utilisation insuffisante ou excessive d'engrais
- L'évaluation de la productivité et de la durabilité des systèmes agricoles. Différents climats, types de sol, de cultures, de pratiques et de techniques agricoles dictent le bon équilibre des nutriments. Une fois que ces facteurs sont compris, les techniques appropriées peuvent être choisies.
- L'expérimentation et le développement de pratiques d'INM par les agriculteurs. Le besoin de méthodes appropriées au niveau local signifie que la participation des agriculteurs dans l'expérimentation et l'analyse de toute technique INM est essentielle (encadré 4.25).

Encadré 4.25 Essais dans les exploitations agricoles de stratégies de gestion intégrée des éléments nutritifs du sol en Ouganda de l'Est

Un projet de recherche-action mené par le CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical) dans trois villages de l'est de l'Ouganda a fait des tests participatifs sur le terrain (dans les fermes) sur les méthodes INM conçues par les paysans, et ce sur une période de deux ans. Vingt agriculteurs, utilisant différentes méthodes de gestion de la fertilité des sols dans trois villages, ont été choisis par les groupes d'agriculteurs pour participer à ces tests et être soumis à un suivi intensif afin d'évaluer leurs méthodes de production.

Au cours de la phase de diagnostic du processus de reconnaissance des acquis, les agriculteurs ont analysé la diversité de la gestion de la fertilité des sols et la dotation en ressources, ce qui les a conduits à l'identification et la hiérarchisation de 12 contraintes relatives à la fertilité des sols et à la gestion. La sécheresse était la principale contrainte, suivie par le manque de connaissances et de compétences, la faible fertilité du sol, et les maladies transmises par le sol et les ravageurs. Le coût élevé des engrains minéraux a été classé sixième, tandis que l'érosion des sols et les mauvaises méthodes de travail du sol ont été classées septièmes. Pendant la phase de planification, des visites d'échange ont été organisées afin que les producteurs puissent rencontrer d'autres agriculteurs plus innovateurs qui pratiquaient déjà certaines des technologies proposées.

Les agriculteurs ont conçu 11 expérimentations et ils ont proposé des procédures de collecte de données pour le suivi et l'évaluation. Des échantillons de sol ont été prélevés afin d'être analysés en laboratoire, et la croissance des plantes a été suivie pour connaître le pourcentage de germination, le rendement des cultures, pour savoir comment gérer les mauvaises herbes, les ravageurs et les maladies, ainsi que pour déterminer le temps de la récolte.

Contd...

Résultats

L'application de fumier de ferme à 10 t/ha (poids à sec) avait tendance à améliorer le rendement de maïs dans les deux premières années du projet. Et bien que l'augmentation des rendements céréaliers ne fut pas significative, les agriculteurs étaient prêts à adopter la technique à grande échelle. Cependant, la disponibilité, la quantité et la qualité du fumier dans la région furent un obstacle majeur à l'adoption à grande échelle de cette technique. Les agriculteurs ont conçu une expérience pour évaluer les différentes sources d'engrais phosphorés. Ils ont comparé cinq différents engrais, ou mixture d'engrais, avec un témoin sans engrais. Il y avait une réponse significative aux différents engrais phosphatés pour le rendement de maïs. Cependant, les contraintes financières ont été identifiées comme facteur limitant considérablement l'adoption de cette pratique. L'application d'engrais vert n'a pas amélioré de manière significative les rendements de maïs, cependant le rendement annuel moyen de matière sèche (biomasse) était significativement différent. Les agriculteurs de la zone d'essai ont eu recours à l'engrais vert depuis plus de cinq ans. Par conséquent, il a été proposé que cette pratique soit diffusée à d'autres exploitations sans d'autres essais supplémentaires.

Les évaluations des expériences ont montré que les techniques simples et peu coûteuses, qui nécessitent peu de travail et dont les ressources sont disponibles localement, ont un potentiel élevé d'être adoptées. Cependant, les études de modélisation bioéconomique ont montré qu'une amélioration socio-économique substantielle est nécessaire afin de donner des incitations suffisantes aux agriculteurs pour qu'ils adoptent des pratiques de gestion durable des terres. Les résultats soutiennent l'hypothèse que l'apprentissage systématique avec les parties prenantes ainsi que des incitations économiques sont nécessaires pour que les producteurs modifient leurs pratiques agricoles. Cependant, la capacité des différents agriculteurs à investir dans l'amélioration de la gestion de la fertilité des sols dépend de l'accès au travail, à l'élevage, à la terre et au capital ainsi que des moyens des ménages. Les options accessibles aux petits producteurs sont beaucoup plus limitées que celles accessibles aux agriculteurs bien dotés qui sont en mesure d'investir dans l'utilisation à grande échelle de nutriments organiques et inorganiques.

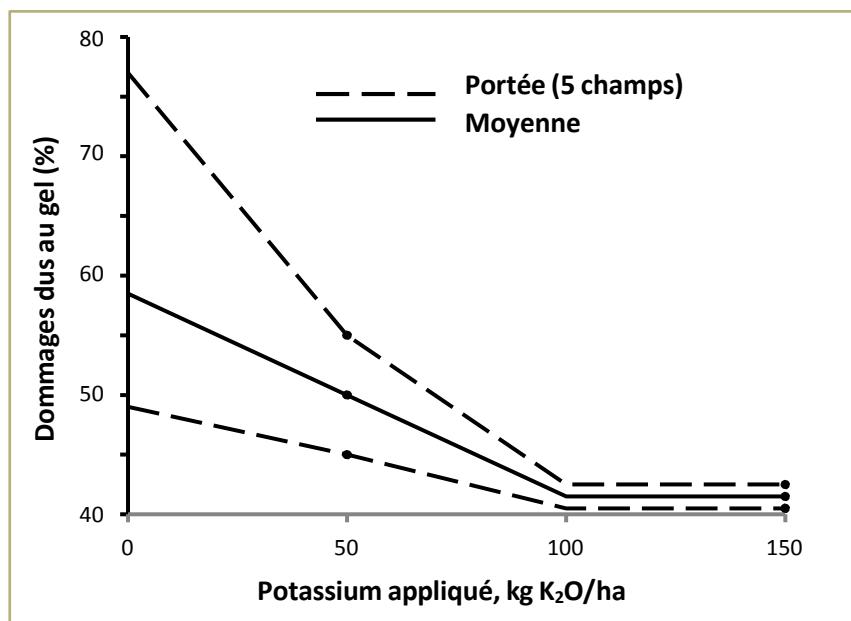
Source: Esilaba et al, 2004

La technologie et sa contribution à l'adaptation au changement climatique

Des conditions climatiques difficiles sont une cause majeure de l'érosion des sols et de l'épuisement des stocks de nutriments disponibles dans les sols. En augmentant la fertilité des sols et en améliorant la santé des végétaux, l'approche INM peut avoir des effets positifs sur les cultures:

- Un bon apport de phosphore, d'azote et de potassium influence considérablement la sensibilité voire la résistance des plantes à de nombreux types de ravageurs et de maladies.
- Une culture recevant un apport équilibré en nutriments est en mesure d'explorer un plus grand volume de sol afin d'accéder à l'eau et aux nutriments. En outre, l'amélioration du développement des racines permet à la plante d'accéder à l'eau des couches plus profondes du sol. Avec un système racinaire bien développé, les cultures sont donc moins sensibles à la sécheresse.
- Sur des terres à forte teneur en sel, les plantes peuvent être soutenues avec un apport en potassium pour maintenir une croissance normale.
- Par la fertilisation adéquate en potassium, le point de congélation de la sève est abaissé, améliorant ainsi la tolérance des cultures au froid (Figure 4.14).

Figure 4.14 Effet de l'application du potassium sur les dommages aux cultures de pommes de terre causés par le gel



Source: Grewal and Sharma, 1978

Avantages

L'approche INM permet d'adapter la nutrition des plantes et la gestion de la fertilité des sols aux caractéristiques du site, profitant de l'utilisation combinée et harmonieuse de nutriments organiques et inorganiques pour répondre aux besoins simultanés de la production alimentaire et de la viabilité économique, environnementale et sociale. L'approche INM renforce l'expertise technique et les capacités de prise de décisions des agriculteurs. L'approche INM encourage également des changements dans l'utilisation des terres, la rotation des cultures, et les interactions entre la sylviculture, l'élevage et l'agriculture afin de favoriser l'intensification et la diversification agricole.

Désavantages

Bien qu'elle facilite l'adaptation au changement climatique dans le secteur de l'agriculture, l'approche INM est également sensible à l'évolution des conditions climatiques et pourrait produire des effets négatifs si la teneur en nutriments du sol et des cultures n'est pas systématiquement surveillée et les pratiques de fertilisation modifiées en conséquence. En Afrique, les coûts élevés de transport dans les pays enclavés rendent les prix pour les engrains inabordables (FAO, 2008b). Pour les petits agriculteurs ces coûts peuvent représenter une proportion trop élevée du coût variable total de la production, ce qui exclut les engrains inorganiques en tant qu'option réaliste.

Suivi et connaissances requis

L'approche INM presuppose de bonnes connaissances des besoins des plantes afin d'atteindre un niveau optimal de production – fertilisation sous quelle forme et à quel moment, et de la manière dont ces exigences peuvent être intégrées afin d'obtenir des niveaux de productivité plus élevés dans des

limites économiques et environnementales acceptables. Déterminer ces informations nécessitera des recherches localisées, mais peut aussi bénéficier de la coopération des centres nationaux et internationaux de recherche agricole. Les agents de vulgarisation, qui sont capables de traduire les données de la recherche en recommandations pratiques pour les producteurs, devront tenir compte de l'expertise des agriculteurs et des résultats de recherche applicables. Les connaissances disponibles devront être évaluées économiquement afin de fournir des directives pratiques à l'adoption de l'approche INM aux agriculteurs qui ont les capacités d'investissement nécessaires.

Exigences institutionnelles et organisationnelles

Le succès de l'approche INM dépendra des efforts combinés des agriculteurs, des chercheurs, des agents de vulgarisation, des gouvernements et des ONG. Fournir simplement des engrains n'est pas suffisant pour soutenir la mise en œuvre de l'approche INM. Des cadres politiques appropriés, des structures de marché adaptées, le développement des infrastructures, l'accès au crédit et le transfert de technologies et de connaissances sont indispensables.

Coûts et besoins financiers

Le principal coût associé à la gestion intégrée des éléments nutritifs concerne l'achat et la distribution des engrains inorganiques qui sont influencés par une série de facteurs différents (tableau 4.14).

Tableau 4.14 Coût moyen de l'engrais par tonne métrique en Afrique

Pays	Facteurs affectant le coût	Coût
Mozambique	<p><i>Pays côtier</i> Marché privé dominé par un seul importateur faisant des achats à faible volume Absence de réseau de détail résultant en une faible provision dans les zones rurales Coûts de transport très élevés et mauvaise infrastructure routière Pas de fabrication locale ou d'installations de mélange Demande et consommation d'engrais faibles</p>	\$ 554
Malawi	<p><i>Pays enclavé</i> Les engrains constituent l'un des quatre plus grands marchés du pays. Importateur net avec une certaine production locale Le gouvernement joue un rôle central dans l'importation et la livraison lorsqu'il choisit le port dans les offres publiques (Afrique du Sud, Tanzanie ou Mozambique), choix qui affecte grandement le coût et la disponibilité Coûts élevés de transport en raison des prix élevés du carburant et de la mauvaise infrastructure routière Programme d'engrais subventionné grâce à un système de vouchers pour les producteurs Marges excessives des importateurs, de la vente en gros ou au détail</p>	\$ 495

Contd...

Ghana	<p><i>Pays côtier</i></p> <p>Tous les engrais sont importés</p> <p>Marché privé dominé par trois principaux importateurs-grossistes</p> <p>Distributeurs et concessionnaires bien organisés</p> <p>Pas de droit à l'importation ou de taxes sur la vente</p> <p>Marché en croissance</p> <p>Concurrence robuste des prix du marché</p> <p>Transport marin (de fournisseurs internationaux) et par camion (de fournisseurs nigérians aux distributeurs) principalement</p> <p>Coûts importants de stockage dans les ports</p> <p>Coûts élevés pour le transport intérieur</p>	\$ 386
-------	--	--------

Source: Chemonics, 2007

Les engrais organiques constituent une option à faible coût, voire sans coût, pour améliorer la fertilité du sol, s'ils sont produits et utilisés localement.

Facteurs entravant la mise en œuvre

Une offre insuffisante de crédits à prix abordables est souvent mentionnée comme étant un obstacle à l'utilisation des engrais. L'accès aux engrais minéraux peut être limité dans les zones rurales ou sous-développées en raison des prix élevés d'importation et des coûts de transport. Un manque d'infrastructures adéquates pour la distribution et la conservation peut également constituer un obstacle à l'utilisation des engrais. En outre, les engrais ont une durée de conservation limitée et peuvent être en forte demande (entraînant des pénuries) pendant la haute saison si une planification appropriée n'est pas faite. La concurrence pour les ressources organiques peut être importante dans les zones où les résidus de culture sont utilisés pour le carburant et l'alimentation animale.

Facteurs favorisant la mise en œuvre

Les déchets urbains constituent une source largement inexploitée d'engrais potentiels. Bien que la qualité de l'engrais produit à partir de déchets urbains ne soit pas comparable aux engrais chimiques, sa boue¹⁸ contient de l'azote, du phosphore, du potassium et d'autres micronutriments. Utiliser les déchets urbains pour fertiliser les terres agricoles près des centres urbains met à profit une substance qui autrement devrait être éliminée via des procédés coûteux (Gruhn et al, 2000). Les associations d'agriculteurs et les services de vulgarisation sont responsables pour la production et la diffusion d'informations sur les technologies les plus appropriées et les plus rentables.

Exemple concret d'application

Encadré 4.26 Promotion de la gestion intégrée des éléments nutritifs en Inde

L'Inde est le troisième plus grand producteur et consommateur d'engrais dans le monde, après la Chine et les États-Unis. D'importantes initiatives ont été mises en place pour promouvoir l'utilisation équilibrée et intégrée des engrais. Le gouvernement indien encourage une utilisation des engrais chimiques, biologiques et organiques disponibles localement (comme le fumier, le compost Nadep¹⁹, le vermicompost²⁰, l'engrais vert et la boue pressée) équilibrée et judicieuse et basée sur des tests préalables des sols, afin de maintenir la fertilité et la productivité des sols. Le *Centrally Sponsored Scheme on Balanced and Integrated Use of Fertilisers* (le programme du gouvernement central sur l'utilisation équilibrée et intégrée des engrais), maintenant intégré sur le *Macro-Management of Agriculture Scheme* (le programme de macro-gestion de l'agriculture), appuie la promotion de l'application d'engrais chimiques basée sur des tests préalables des sols, le renforcement des laboratoires d'analyses des sols dans le pays et la mise en place d'usines de compostage pour la conversion des déchets urbains biodégradables en engrais organiques. À l'heure actuelle, il existe 609 laboratoires d'analyses des sols en Inde. Cela comprend 487 laboratoires fixes et 122 laboratoires mobiles, sous le contrôle du gouvernement fédéral et de l'industrie des engrais. Ils ont une capacité d'analyse annuelle de 6,7 millions d'échantillons de sols. Ainsi, grâce à ce programme, des cartes de santé des sols ont pu être réalisées, puis diffusées aux producteurs afin de les aider et de les conseiller sur l'utilisation correcte et équilibrée des engrais, avec l'objectif final d'obtenir une efficacité et rentabilité maximale.

Source: Gouvernement de l'Inde 2007

Encadré 4.27 Gestion équilibrée des éléments nutritifs organiques sur les plantations de café au Nicaragua

Les petites exploitations de café au Nicaragua, ainsi que dans une grande partie de l'Amérique centrale et au Mexique, ont une productivité très faible, 0,5 tonne de café vert par hectare en moyenne. Cette faible productivité est commune à la plupart des petites exploitations de café, et pas seulement aux exploitations organiques. Toutes les cultures de café sur les petites exploitations sont cultivées à l'ombre, généralement sous des arbres de légumineuses. Les fermes biologiques appliquent un biofertilisant liquide fabriqué à partir de fumier fermenté, de mélasse et de lait, ainsi qu'avec des quantités modérées de compost (généralement moins de 10 tonnes par hectare). En même temps, les agriculteurs connaissent des variations considérables de leur productivité d'une année à l'autre. La productivité peut être de 0,8 tonne/ha sur une bonne année, mais seulement de 0,3 t/ha l'année d'après. C'est souvent en corrélation avec les variations climatiques (Baker et Haggar, 2007), et la sensibilité aux variations climatiques est aggravée par le mauvais état des cultures. Les niveaux d'application d'engrais étaient faibles, mais l'analyse a indiqué que les agriculteurs ont exporté plus de nutriments dans le café vendu qu'ils en appliquaient à leur plantation de café, car les biofertilisants contenaient très peu de nutriments et les quantités de matériaux à partir desquels on peut faire du compost étaient très limitées (Haggar et Soto, 2010). L'un des concepts fondamentaux de la gestion de la fertilité du sol est que les niveaux de fertilisation doivent au moins remplacer les éléments nutritifs exportés dans la récolte sinon la fertilité des sols et la productivité vont inévitablement diminuer. À la lumière de cette découverte, un processus a été conçu pour permettre aux agriculteurs, appuyés par les agents de vulgarisation de leurs coopératives, de développer des pratiques efficientes de gestion des éléments nutritifs dans les sols qui peuvent maintenir voire améliorer la production. En résumé, ces pratiques sont:

Contd...

- Pour chaque tonne de café produite, environ 3 kg d'azote, 1 kg de phosphate et 4 kg de potasse sont enlevés au sol.
- Si la pulpe de café est réappliquée au sol après la récolte, près de la moitié des nutriments pourront être remplacés dans les sols. La pulpe de café doit retourner sur les plantations aussi vite que possible, car les nutriments sont rapidement lessivés, en particulier en ce qui concerne la potasse.
- Pour remplacer les nutriments dans les sols, deux tonnes de compost devraient être appliquées au café pour chaque tonne de café vert vendue. Le compost doit venir de l'extérieur de la ferme. Des calculs plus exacts peuvent être faits selon les matériaux utilisés pour la fabrication du compost (fumier ou résidus de récolte).
- L'utilisation de bois de chauffage provenant des arbres de la plantation enlève également beaucoup d'éléments nutritifs au système, les cendres du bois de chauffage devraient donc être retournées dans les plantations de café, soit directement ou mélangées au compost.

Plusieurs coopératives organiques au Nicaragua utilisent maintenant ce système pour s'assurer que les agriculteurs appliquent des quantités suffisantes d'engrais. Là où des installations centralisées de fabrication de composte sont mises en place, les coopératives peuvent calculer de combien de compost ils auront besoin pour compenser la perte de nutriments dans le café qui est exporté vers l'Europe et l'Amérique. Bien que développé pour les producteurs biologiques, ce système a également été utilisé avec succès par les producteurs conventionnels pour garantir un niveau minimal de fertilité dans les sols, car cela leur permet d'avoir des rendements plus soutenus.

Source: Haggar et Soto 2010

4.4 Gestion durable de la santé des cultures

La productivité des cultures ne sera pas seulement affectée par des changements liés aux stress abiotiques climatiques (par exemple la hausse des températures, la diminution de la disponibilité de l'eau, l'augmentation de la salinité des sols ou les inondations) et biotiques (comme l'augmentation des ravageurs et des maladies), mais aussi par des changements concernant la concentration atmosphérique de CO₂, les pluies acides et l'ozone troposphérique. Ainsi, un défi majeur consiste à évaluer la façon dont les cultures vont réagir à ces changements et les contraintes possibles qui peuvent s'en suivre. Répondre à des contextes environnementaux imprévisibles, exigea des progrès dans la recherche sur les cultures et l'adoption de technologies appropriées, fondées sur les principes de la production durable et de la conservation des ressources.

4.4.1 Diversification des cultures et utilisation de nouvelles variétés

Définition

L'introduction de nouvelles espèces et de variétés améliorées de cultures est une technique visant à améliorer la productivité, la qualité, la santé et la valeur nutritionnelle et/ou la résistance des cultures aux maladies, aux organismes nuisibles et aux stress environnementaux. La diversification des cultures est l'introduction de nouvelles cultures ou de systèmes de culture à la production agricole existante sur une exploitation agricole, en tenant compte des différents rendements des cultures à valeur ajoutée et en saisissant des opportunités connexes. Les principaux arguments pour la diversification des cultures sont:

- l'augmentation du revenu pour les petites exploitations agricoles;

- la résistance aux fluctuations des prix;
- les effets de mitigation face à une variabilité croissante du climat;
- l'atteinte d'un équilibre pour la demande alimentaire;
- l'amélioration du fourrage pour les animaux d'élevage;
- la conservation des ressources naturelles;
- la minimisation de la pollution environnementale;
- la réduction de la dépendance face aux intrants non agricoles;
- selon la rotation des cultures, la diminution des insectes nuisibles, des maladies et des mauvaises herbes;
- l'accroissement de la sécurité alimentaire de la communauté.

Description

Des nouvelles espèces de cultures améliorées peuvent être introduites selon deux processus différents:

- Expérimentation avec de nouvelles variétés. Les agriculteurs ont introduit des espèces améliorées et nouvelles au fil des siècles, principalement dans les régions qui constituent des centres mondiaux de la diversification des cultures, telles que la Méso-Amérique, les Andes, l'Afrique et dans certaines parties de l'Asie, en réponse à des conditions de stress environnemental. Il y a des milliers de variétés existantes dans toutes les cultures importantes, avec de grandes variations dans leurs capacités à s'adapter aux conditions climatiques. Les chercheurs agricoles et les agents de vulgarisation peuvent aider les agriculteurs à identifier de nouvelles variétés qui pourraient être mieux adaptées à l'évolution des conditions climatiques et faciliter la comparaison de ces nouvelles variétés avec celles qu'ils produisent déjà. Dans certains cas, les agriculteurs peuvent participer à la sélection des semences de variétés végétales qui démontrent les qualités qu'ils recherchent afin de développer de nouvelles variétés qui auront les caractéristiques qu'ils désirent.
- L'introduction de nouvelles espèces de cultures dans le but de diversifier les systèmes de production agricole doit tenir compte de certains facteurs interdépendants comme:
 - i. La disponibilité et la qualité des ressources, l'irrigation, les précipitations et la fertilité des sols
 - ii. L'accès aux ressources/techniques telles que les semences, les engrains, l'eau, la commercialisation, le stockage et le traitement
 - iii. Les besoins des ménages en nourriture et fourrages, ainsi que leur capacité d'investissement
 - iv. Les facteurs liés aux prix et au marché, y compris les prix de sortie et d'entrée ainsi que les politiques commerciales et autres politiques économiques qui affectent les prix soit directement ou indirectement
 - v. Les facteurs institutionnels et liés aux infrastructures, comme la taille des exploitations et les droits fonciers, la recherche, les systèmes de vulgarisation et de commercialisation et les politiques de réglementation du gouvernement

Comment cette technique contribue-t-elle à l'adaptation au changement climatique?

La sélection de nouvelles variétés améliorées de cultures augmente la résistance des plantes aux contraintes possibles résultant du changement climatique. Ces contraintes potentielles comprennent la réduction de la disponibilité de l'eau, l'augmentation des températures, la salinisation de l'eau et l'émergence

de nouveaux ravageurs. Les variétés de culture qui sont développées pour résister à ces conditions peuvent garantir que la production agricole peut continuer et même s'améliorer malgré les incertitudes liées aux impacts futurs du changement climatique. Les variétés à contenu nutritionnel amélioré peuvent offrir des avantages pour les animaux et les humains, comme la réduction de la vulnérabilité à la maladie et l'amélioration de la santé globale.

L'objectif de la diversification des cultures est d'augmenter la gamme de cultures afin que les agriculteurs ne soient pas tributaires d'une seule culture pour générer leur revenu. Lorsque les agriculteurs ne cultivent qu'un seul type de culture, ils sont exposés à des risques élevés dans le cas d'événements climatiques imprévus qui pourrait peser lourdement sur la production agricole, tels que l'apparition de ravageurs, de gels du sol ou d'une sécheresse. L'introduction d'une plus grande gamme de variétés conduit également à la diversification de la production agricole qui peut augmenter la biodiversité naturelle, le renforcement des capacités de l'agroécosystème pour répondre aux contraintes, réduisant ainsi le risque de perte totale des récoltes et également fournir aux producteurs d'autres moyens de générer du revenu. Avec des cultures diversifiées, l'agriculteur augmente ses chances de faire face à l'incertitude et/ou aux mutations créées par le changement climatique, car les cultures réagissent de différentes manières aux changements climatiques. Alors que le froid peut affecter négativement une culture, la production d'une autre peut augmenter.

Avantages

Le processus d'expérimentation agricole et l'introduction de nouvelles variétés peuvent renforcer les systèmes de production des agriculteurs en augmentant leurs rendements, en améliorant la résilience à la sécheresse, en augmentant la résistance aux parasites et aux maladies et aussi en leur offrant de nouveaux débouchés sur le marché. Afin d'adapter les produits de la recherche aux besoins des petits producteurs agricoles, les organismes de recherche sont de plus en plus engagés dans la recherche participative. Il est nécessaire d'identifier les cultures et les variétés qui sont adaptées à une multitude d'environnements et de tenir compte des préférences des agriculteurs. Les approches participatives augmentent la validité, l'exactitude et en particulier l'efficacité du processus de recherche et de ses résultats. Les chercheurs sont mieux instruits et peuvent mieux informer les producteurs sur les caractéristiques qui devraient être intégrées dans les variétés améliorées. Les processus participatifs renforcent également la capacité des agriculteurs à rechercher des informations, à renforcer l'organisation sociale, et à expérimenter avec différentes variétés de cultures et travailler avec différentes pratiques de gestion.

La diversification des cultures peut améliorer la sécurité alimentaire et permet aux agriculteurs d'avoir des excédents de production pour vendre au marché et obtenir un revenu pour répondre aux autres besoins liés au bien être des ménages. La diversification des cultures peut permettre aux agriculteurs d'accéder aux marchés nationaux et internationaux avec de nouveaux produits, nourriture ou plantes médicinales. La diversification peut avoir des avantages importants pour les agriculteurs des pays en développement et peut aider un pays à devenir plus autonome en termes de production alimentaire. La diversification peut également diminuer les risques liés aux variations des prix, étant donné que les prix des différents produits ne chuteront pas tous en même temps. Par rapport à la monoculture, la diversification des cultures est une méthode de gestion plus durable et respectueuse des ressources naturelles.

Désavantages

Bien que l'adaptation locale et son acceptation soit assurées, les processus d'expérimentation agricole qui utilisent seulement des variétés indigènes peuvent limiter l'éventail d'avantages et de réponses que l'on peut trouver parmi les matériaux testés. En même temps, il peut y avoir aussi des problèmes avec

l'importation d'espèces exotiques (d'autres centres d'origine) qui après avoir été introduites peuvent se transformer en nuisances. Il existe plusieurs exemples d'espèces introduites qui se sont transformées en nuisances ou en mauvaises herbes agricoles (Ojasti, 2001; Hall, 2003).

Un désavantage de la diversification des cultures, c'est qu'il peut être difficile pour les agriculteurs d'atteindre un rendement élevé, en termes de tonnes par hectare, étant donné qu'ils ont une plus grande gamme de cultures à gérer. En termes d'agriculture commerciale, l'accès aux marchés nationaux et internationaux peut être limité par une série de facteurs, comme la politique du gouvernement, y compris les subventions, le prix et la fourniture d'intrants, les infrastructures de stockage et de transport, etc. Les agriculteurs sont également confrontés à des risques de retombées économiques pauvres si les cultures ne sont pas sélectionnées en fonction de l'évaluation du marché. Par exemple, des variétés de cultures résistantes à la sécheresse peuvent avoir un prix de marché bas s'il n'y a pas une demande suffisante.

Connaissances et suivi requis

La sélection des plantes nécessite un savoir-faire et un investissement en termes de ressources humaines et financières. Cela peut prendre un certain nombre d'années pour créer une nouvelle variété avec des caractéristiques améliorées et quelques années encore pour qu'elle soit introduite sur le marché et reprise par les agriculteurs.

Avant d'envisager toute introduction, une évaluation rigoureuse des impacts doit être menée. Il s'agit de dresser un inventaire des variétés par culture, y compris les variétés actuellement utilisées par les agriculteurs, ainsi que des nouvelles variétés pas encore disponibles pour les agriculteurs. Il est important d'avoir un aperçu des forces et des faiblesses des systèmes agricoles et des semences actuelles et une bonne compréhension des causes profondes des contraintes et des potentiels actuels. Fondamentalement, la décision d'introduire de nouvelles variétés doit être fondée sur des preuves suffisantes que les nouvelles variétés offrent des possibilités prometteuses, et que leur introduction n'exposera pas les agriculteurs à des risques.

Il est important de surveiller et d'évaluer (avec la participation des agriculteurs) la performance de nouvelles variétés et faire des recommandations sur les prochaines étapes et changements à entreprendre pour améliorer les processus. Il est également important de fournir des informations détaillées sur les rendements et les conditions de production.

En prenant des décisions sur la diversification des cultures, les agriculteurs ont besoin d'examiner si les revenus générés par les nouvelles variétés seront plus importants que ceux générés par les cultures existantes, et si les risques sont similaires ou moindres. Alors que l'introduction de nouvelles cultures ou l'élevage d'animaux peuvent être techniquement possibles, ceux-ci peuvent ne pas convenir aux agriculteurs en termes de ressources, de main d'œuvre et du capital disponible. En outre, les marchés pour les produits peuvent faire défaut. Par conséquent des études préliminaires de faisabilité et de marché sont recommandées.

Exigences institutionnelles et organisationnelles

Afin de soutenir l'innovation agricole, les communautés doivent être liées à des programmes de recherche et devraient avoir accès aux produits de recherche. Ces liens pourraient être directs ou par l'intermédiaire d'organisations comme les ONG ou les organisations de développement. Dans tous les cas, ces liens doivent être explicites et institutionnalisés. La sélection décentralisée de variétés par les agriculteurs (ainsi

que leur production et commercialisation) devrait être considérée comme faisant partie d'un ensemble plus large d'interventions visant à décentraliser les prestations de services pour les producteurs.

Les recommandations institutionnelles comprennent l'établissement de comités d'agriculteurs afin de synchroniser la diversification des exploitations agricoles sur des parcelles communes ou voisines partageant un même écosystème. Ce comité exerce une certaine autorité en établissant un portefeuille des cultures les plus appropriées et il peut mettre en place un organisme qui soutiendra les agriculteurs locaux dans l'accès au financement et aux moyens techniques. La production peut également être coordonnée par rapport à la demande du marché, soit en échelonnant la production afin de fournir un approvisionnement stable ou en faisant coïncider avec la demande pour une vente en vrac. Le soutien de la politique gouvernementale est essentiel pour faciliter l'accès aux intrants et aux compétences techniques et pour la création de marchés nationaux et le développement de liens avec les marchés externes.

Coûts et besoins financiers

Les coûts pour l'expérimentation agricole sont généralement faibles, mais les résultats ne peuvent avoir qu'une applicabilité locale. Les investissements porteront surtout sur l'achat de nouvelles variétés de semences (si non disponibles localement à l'état « sauvage ») et le temps de travail nécessaire. Là où les agriculteurs mettent en œuvre un projet initié par un organisme externe, des coûts pour une formation, les experts techniques, le personnel de terrain, l'équipement d'essai (une parcelle expérimentale peut être essentielle) et des visites de sites peuvent également être nécessaires. Dans un projet mis en œuvre au Mexique, les coûts estimatifs totaux d'un projet de cinq ans auprès d'environ 1 000 agriculteurs ont atteint environ 300 000 \$ (Smale et al, 2003).

Les besoins financiers comprennent les coûts pour la recherche sur les espèces à planter et la formation dans la bonne gestion des systèmes diversifiés. Les études de faisabilité et de marché doivent également être prises en compte. L'infrastructure (tel que le transport et le stockage) et les coûts de marketing devront également être envisagés.

Facteurs entravant la mise en œuvre

Le principal obstacle à l'introduction de nouvelles variétés de cultures par le biais de l'expérimentation agricole est l'idée fausse véhiculée que les espèces locales n'ont qu'une faible productivité. Plusieurs communautés dans les pays en développement ont perdu ainsi leurs connaissances anciennes sur les espèces résistantes.

Le principal obstacle à la diversification est la demande du marché qui peut conduire les agriculteurs à produire moins de cultures ou des monocultures et à s'appuyer sur les intrants chimiques. À son tour, cela peut accroître la vulnérabilité du système agricole lui-même face aux facteurs externes tels que le changement climatique, et la vulnérabilité des producteurs aux fluctuations de prix.

Facteurs favorisant la mise en œuvre

Des occasions de création de nouvelles variétés améliorées se posent là où des espèces indigènes attractives peuvent être développées pour être vendues sur les marchés nationaux et internationaux. En mettant en œuvre des stratégies de développement de marché et en intégrant les différents acteurs de la chaîne de valeur de la production, de la vente/stockage et de la commercialisation, la rentabilité et la compétitivité des cultures peuvent être augmentées. Des opportunités pour la création de partenariats

innovants entre les producteurs, les instituts de recherche et le secteur privé peuvent également se présenter.

Exemples réels d'application

L'expérimentation agricole sur les variétés améliorées de haricots au Honduras a permis de réduire la propagation de maladies et d'éviter des baisses de productivité. Les processus de développement participatifs ont augmenté l'accès à l'adoption de variétés améliorées pour les petits agriculteurs (Rosas 2001). En Amérique centrale, il y a déjà d'autres expériences d'amélioration participatives sur les haricots et le maïs qui se sont créées, et on constate un intérêt croissant de la part des agriculteurs, des organisations et des donateurs (Rosas 2001).

Encadré 4.28 Sélection des variétés de pommes de terre résistantes (*Solanum spp*) comme semence.

La pomme de terre est la troisième culture vivrière la plus importante dans le monde après le riz et le blé. Elle est une source majeure d'hydrate de carbone, présente dans l'alimentation de centaines de millions de personnes dans les pays en développement et elle est fondamentale à l'alimentation des populations des pays d'Amérique du Sud, d'Afrique et d'Asie (International Potato Center 2010). La pomme de terre donne des rendements plus rapidement et est l'un des aliments les plus nutritifs, ayant besoin de moins de terres et pouvant croître dans des climats plus rudes que toute autre grande culture: jusqu'à 85 pour cent de la plante sont comestibles pour l'homme, tandis que pour les céréales, ce ne sont qu'environ 50 pour cent (International Potato Center, 2010).

La sélection de variétés qui sont résistantes aux climats hostiles permet de continuer les activités agricoles, même dans les scénarios climatiques les plus extrêmes qui sont soit (i) inattendus en raison de la variabilité climatique extrême résultant du changement climatique; (ii) prévus par les systèmes d'alerte précoce; ou (iii) prévus en fonction de la saisonnalité. En ce sens, la même technique peut être appliquée à différents scénarios.

Pour la culture de pommes de terre indigènes résistantes à la sécheresse, au gel et aux fortes précipitations (excès d'eau, mais pas inondations), les tubercules pour les semences botaniques sont sélectionnés sur la base des critères suivants:

- absence de maladie
- une taille moyenne est préférable
- robustesse et bonne apparence
- ayant un grand nombre d'yeux (tissu de méristème)

Traditionnellement, les tubercules sélectionnés sont stockés séparément du produit pour la consommation, pour une utilisation à la prochaine saison agricole.

La sélection de variétés très résistantes aux sécheresses et à l'humidité crée les bonnes conditions pour faire face à deux des scénarios climatiques les plus fréquents causés par le changement climatique. Cela réduit le risque de perdre des plantations entières, garantissant ainsi la disponibilité d'une quantité minimale de pommes de terre, un aliment stratégique pour les peuples des pays en développement. Cette technologie offre également la possibilité pour les agriculteurs de pommes de terre de produire un surplus pour le marché local et donc de gagner un surplus de revenus pour couvrir leurs besoins de base.

Contd...

Une limitation de cette technique, qu'il faut garder à l'esprit, est que les variétés indigènes ne produisent pas autant que les variétés génétiquement modifiées, dont le rendement en terme de volume et de poids est supérieur (tonnes par hectare). Les variétés autochtones peuvent produire jusqu'à 10 t/ha, les spécialistes disent que la moyenne est de 7 t/ha (Medina, 2010; Torres, 2010), tandis que d'autres variétés produisent plus de 10 t/ha. Toutefois, les variétés génétiquement modifiées sont beaucoup moins résistantes aux changements extrêmes des conditions météorologiques.

Conditions à garder à l'esprit pour mettre en œuvre cette technique:

- La variabilité génétique des variétés indigènes
- Les principes d'expérimentation dans le domaine
- La variabilité du climat dans la région
- La diversité comme un moyen de réduire les risques, en particulier dans les écosystèmes de haute altitude

Il faut également une communauté paysanne ou une organisation d'agriculteurs qui est respectée dans la région et qui a des compétences organisationnelles suffisantes pour semer une grande diversité génétique de cultures. Pour atteindre son potentiel, la technique devrait être encouragée sur la base de dispositions juridiques entre les différents acteurs. Si possible, elle devrait être mise en œuvre par une organisation dans laquelle les experts se réunissent pour gérer et générer des variétés indigènes locales.

Source: CCTA, 2006

Encadré 4.29 Une diversification des cultures résistantes à la sécheresse au Zimbabwe

Sur les 30 dernières années, le Zimbabwe a subi des pertes dramatiques dans la production agricole résultant dans des pénuries alimentaires et de carburant. Couplés avec les contraintes économiques et politiques, la sécheresse et le changement climatique testent les limites de la production agricole au Zimbabwe. Au Zimbabwe rural, et plus particulièrement dans la zone d'un projet pilote dans le district de Chiredzi, la sécheresse devient un événement de plus en plus commun. Avec environ 70 pour cent de la population du Zimbabwe tirant leurs revenus de l'agriculture de subsistance et d'autres activités rurales, les effets les plus notables de ces sécheresses sont les impacts dévastateurs sur la sécurité alimentaire des ménages et les moyens de subsistance des pauvres.

En réponse à ces problèmes, le projet « Gestion des sécheresses et du changement climatique au Zimbabwe » cherche à renforcer les capacités des communautés agricoles et pastorales à s'adapter au changement et à la variabilité climatiques. Un des objectifs principaux du projet est d'augmenter le nombre de producteurs cultivant plus de 4 cultures différentes (sorgho, millet perlé, variétés de maïs à pollinisation libre, arachides, niébé et manioc) sur au moins 60 pour cent des espaces cultivables. Le projet encourage la réplication de la production agricole optimisée grâce aux écoles pratiques d'agriculture (FFS, acronyme anglais). Les FFS sont une composante du projet qui vise à créer des espaces d'apprentissage pour les producteurs afin qu'ils puissent améliorer leurs capacités et leurs stratégies de production. Des visites d'échange, des campagnes de sensibilisation et des missions de terrain des décideurs politiques sont seulement quelques-uns des moyens qui servent à encourager la mise en place de meilleures pratiques agricoles. Les exploitations agricoles pilotes bénéficient à quelques 6 000 ménages dans le district de Chiredzi et des milliers d'autres ménages au niveau national.

Contd...

Principales conclusions:

- Renforcer les capacités institutionnelles et les cadres politiques à un niveau national: une bonne gouvernance locale et nationale et un cadre institutionnel et légal sont nécessaires pour coordonner et guider l'adaptation au changement climatique. Des institutions locales fortes sont également un facteur critique pour la réussite de l'adaptation. Par exemple, la présence du centre de recherches de Chiredzi est un facteur stratégique pour le développement de nouvelles technologies pertinentes pour les conditions biophysiques des districts et au-delà. Mais les institutions ont besoin de ressources et de capacités humaines pour remplir ce rôle.
- Utilisation de méthodes participatives pour la conception des projets: la conception de projet dite « bottum-up » et les processus participatifs sont cruciaux pour faciliter l'appropriation et afin de créer des méthodes d'appropriation adaptées au contexte local et culturel.
- Identification d'activités d'adaptation basées sur des évaluations/analyses et sur des preuves: Les évaluations de risques et de vulnérabilité au niveau du climat ont révélé le profil de risque, les stratégies de substances, les méthodes de gestion prédominantes de l'utilisation de la terre et la sensibilité des moyens de subsistance face aux scénarios passés, présents et futurs de changement climatique. La sécheresse est le risque le plus important causant des pertes de cultures, l'accroissement du taux de mortalité du bétail et des pertes de revenus. Les scénarios de changements climatiques futurs dans la région ont prédit des montées de température et des changements possibles dans les précipitations, mais pas nécessairement des conditions de sécheresse. Les modèles de changement climatique ont également suggéré que les changements pourraient également être positifs (plus de précipitations) et que ces opportunités pourraient être saisies par les bénéficiaires du projet.
- Apprendre des interventions antérieures: en se basant sur des expériences antérieures, le projet a résisté à la tentation de réinventer la roue. Les expérimentations agricoles se concentraient sur l'extension du travail déjà entamé par le centre de recherche Chiredzi, le SEDAP, le Challenge Programme et les ONG travaillant dans la région.
- Des expériences menées par les agriculteurs sont une manière efficace d'essayer différentes technologies d'adaptation: pendant la durée du projet, les agriculteurs ont été exposés à une gamme de stratégies différentes dans le secteur des cultures et à d'autres cultures en dehors. Les expériences menées par les agriculteurs sont la meilleure façon de tester les technologies, car elles permettent de répondre à des questions importantes pour leur évaluation comme: qu'est-ce qui marche bien, pourquoi et sous quelles circonstances? Ce genre d'information sera important pour adopter les stratégies d'adaptation à une large échelle.
- Faire du suivi/évaluation une priorité: le suivi et l'évaluation sont cruciaux, mais difficiles à mettre en œuvre. Évaluer l'impact du projet sur la protection/l'amélioration des moyens de subsistance contre les effets de la sécheresse presuppose de prendre en compte la ligne de base (dynamique) du climat. Ceci peut être fait via le suivi des conditions dans un groupe de contrôle.

Source: *Adaptation Learning Mechanism, 2011*

4.4.2 Crédit de nouvelles variétés grâce à la biotechnologie

Contexte

Les pénuries d'eau touchent déjà entre 1,5 et 2,0 milliards de personnes. En plus des sécheresses, et des niveaux élevés de CO₂ et d'ozone, le changement climatique entraînera des inondations des terres basses et des inondations et des eaux de ruissellement provenant de tempêtes tropicales, ce qui aura pour conséquence l'engorgement et la salinisation de l'eau. La sélection classique pour augmenter la

tolérance des cultures à ces problèmes a déjà connu des succès considérables, mais elle n'avance que très lentement et est limitée à l'exploitation de matériaux génétiques déjà présents dans les cultures et à leurs parents très proches. La biotechnologie et le génie génétique apportent des perspectives de pouvoir modifier plus considérablement et plus rapidement les réponses des cultures aux stress climatiques.

Des succès impressionnants ont été constatés en termes de lutte antiparasitaire et de rendements avec les variétés de soja, de maïs et de coton génétiquement modifiés, depuis leur introduction en 1996 (voir encadré 4.30, l'expérience en Inde). Des résultats plus modestes ont été obtenus avec la luzerne, le canola, la papaye et la courge transgéniques. Jusqu'à présent, ces modifications génétiques commercialisées n'ont concerné que des traits génétiques simples (gène simple ou double). Une raison majeure qui puisse expliquer le progrès relativement lent des réponses au stress exercé par le changement climatique de la génétique conventionnelle, est que l'adaptation des plantes, par exemple aux sécheresses ou à la salinisation, ne résulte probablement pas de traits génétiques simples. Des voies métaboliques entières voire des cascades de voies sont probablement impliquées dans ces processus. Apporter ce genre de modification est donc un vrai défi pour la sélection classique et même les cultures génétiquement modifiées par la biotechnologie ne sont qu'à des stades d'expérimentation à large échelle par des communautés agricoles. Aucune variété tolérante à la sécheresse n'a, jusqu'à présent, été lancée. Néanmoins, le processus de recherche et de développement sous-jacent présente un potentiel considérable et dynamique, avec des techniques précieuses qui auront des impacts de plus en plus importants sur les stratégies agricoles dans un avenir proche. Bien sûr, ces technologies sont relativement nouvelles et sont accompagnées d'importantes préoccupations quant à leurs impacts potentiels à long terme, à la sécurité et aux changements que leur adoption pourrait apporter au complexe agro-industriel sur les marchés traditionnels de semences.

Définition

La sélection de variétés qui vise à donner de meilleurs résultats dans des conditions de pressions croissantes exercées sur l'environnement, presuppose de réunir les allèles favorables (différentes formes de gènes) qui peuvent contribuer à l'amélioration de la tolérance à ces pressions exercées par le climat. Les contributions de la biotechnologie à l'adaptation au changement climatique ne concernent pas uniquement, ni majoritairement, la transmission de gènes d'un organisme à un autre (par exemple les organismes génétiquement modifiés). Les outils biotechnologiques servent à directement détecter et à transférer des gènes d'intérêt à partir d'autres lignées de plantes ou d'organismes dans la culture d'intérêt, sans avoir continuellement besoin d'utiliser l'apparence ou la réaction de la plante au stress (son phénotype) comme une indication de la présence de ce gène. Le phénotypage (mesure de la réponse d'une lignée de plantes dans un environnement donné) correspond toujours à une partie vitale du processus de sélection mais, lorsqu'on a identifié une certaine région génétique qui a démontré la possibilité de conférer un avantage adaptatif, celui-ci peut être transféré (même d'une espèce à l'autre) beaucoup plus rapidement et plus efficacement que cela n'a été possible jusqu'à présent.

Des gènes ou allèles supérieurs peuvent souvent être trouvés dans d'autres lignées ou races de la même culture, et leur accumulation efficace peut être grandement accélérée par la sélection moléculaire où la présence de gènes ou d'allèles souhaitables peut être directement et immédiatement identifiée, même dans les graines ou de très jeunes plantes qui ne sont pas exposées au stress en question. Plus complexes sont les rétrocroisements assistés de marqueurs (MAB, acronyme anglais) et les sélections récurrentes assistées par marqueurs (MARS, acronyme anglais) permettant d'identifier des éléments d'ADN (allèles individuels, gènes ou locus de caractères quantitatifs (LCQ)) qu'on veut inclure dans la lignée de plantes, tout en minimisant le transfert d'autres gènes moins désirables. Des séquences entières du génome de soja, maïs, riz, sorgho, et plus récemment de pommes de terre, sont disponibles, et le séquençage à haut

débit de « nouvelle génération » signifie que ce processus peut être accéléré, permettant le séquençage de génomes de cultures complexes telles que le blé et l'orge. Une fois qu'un locus génétique est identifié dans un génome, il peut rapidement être recherché dans d'autres (des définitions plus détaillées des termes sont données dans le tableau 4.15).

Tableau 4.15 Termes liés à la biotechnologie

Génie génétique (GE, acronyme anglais): manipulation de matériel génétique d'un organisme en utilisant une technologie de recombinaison de l'ADN.
Organismes génétiquement modifiés (OGM): une plante créée par le GE et dont les gènes proviennent d'autres espèces.
Séquence cis: un OGM produit au moyen du GE dont les gènes ou allèles proviennent d'autres variétés de la même espèce.
Rétrocroisement assisté par marqueurs (MAB): la sélection à l'aide de marqueurs sert à introduire le segment d'un organisme donneur à une lignée d'un autre organisme suite à quoi un rétrocroisement est réalisé afin de rétablir le génome parent désiré.
Sélection récurrente assistée par marqueurs (MARS): la sélection assistée par marqueurs utilise plusieurs lignées parentes afin de produire des génotypes supérieurs en essayant de prendre différents fragments génétiques ayant les LCQ désirés (impossible à réaliser avec la sélection naturelle).
Sélection moléculaire (MB, acronyme anglais): utilisation d'outils génétiques tels que les marqueurs ADN dans les processus de sélection traditionnelle (augmente l'efficacité de la sélection et réduit la longueur des cycles de sélection).
Locus de caractères quantitatifs (LCQ): parties du génome associées à des caractères quantitatifs complexes gouvernés par quelques gènes qui ont d'importants effets et quelques-uns qui ont des effets moindres. Transférer des LCQ entiers peut aider à produire des transferts avec des caractéristiques stables.

Source: basé sur Varshney et al, 2011

Comment la technique contribue-t-elle à l'adaptation au changement climatique?

Des gènes qui confèrent une certaine tolérance aux stress abiotiques peuvent être obtenus à partir des collections des banques de semences, des parents sauvages, ou d'autres organismes connus pour donner de bons résultats dans des conditions de pénurie/excès d'eau, de forte salinité ou à des températures très élevées. Les encadrés 4.31 et 4.32 donnent des exemples d'identification et d'intégration de caractéristiques de tolérance à la sécheresse pour les deux principales cultures mondiales de base, à savoir le riz et le maïs. Une utilisation judicieuse des outils de sélection moléculaire décrits ci-dessus a permis une augmentation de trois à cinq fois des rendements de riz et a quintuplé les rendements des meilleures lignées de maïs. Ces matériaux sont aujourd'hui diffusés activement à travers toute l'Asie et l'Afrique et, tout aussi important, ils ont été transmis à des entreprises de semences commerciales pour la production de lignées hybrides supérieures.

Il y a beaucoup d'activité au sein des grandes sociétés de biotechnologie, des instituts de recherche agricole et des établissements universitaires sur la recherche transgénique pour l'adaptation des cultures aux sécheresses (Ortiz et al, 2007 et Varshney et al, 2011). Dans le monde en développement, la Chine, le Brésil et l'Inde sont les leaders. La communauté internationale des donateurs soutient les travaux dans ce domaine par le biais du Groupe consultatif pour la recherche agricole internationale (GCRAI) et en particulier grâce au Generation Challenge Programme, dans le cadre duquel les partenaires des institutions du GCRAI, comme le Centre international de recherche sur le riz (IRRI, acronyme anglais) ou le Centre de recherche international du maïs et du blé (CIMMYT, acronyme anglais), travaillent avec les principaux instituts ARI et ARS des pays en développement. En plus des lignées de plantes qui sortent de ces collaborations, la plate-forme de la génomique et de l'élevage intégré (*The Genomics and Integrated Breeding Platform*) mise au point par ce programme fournira la suite technique des outils pour permettre à tout éleveur d'utiliser ces nouvelles technologies en ligne. En outre, des « communautés de pratique » sont en cours de mise en place afin de fournir un soutien à leurs pairs qui sera nécessaire pour l'utilisation efficace de ces technologies.

La plupart du travail initial a été fait avec des plantes cobayes « *Arabidopsis* », or des avantages pour les cultures émergent rapidement. Par exemple, le gène HRD dans le riz transgénique a amélioré l'efficacité de l'utilisation de l'eau et le ratio de la biomasse produite par quantité d'eau utilisée, grâce à un processus de photosynthèse amélioré, et une réduction de la transpiration (Karaba et al, 2007). La corrélation entre la tolérance aux sécheresses et l'architecture des racines (répartition, profondeur et volume) a été examinée pour le niébé (Afrique du Sud, Afrique de l'Ouest et Inde), le riz (Inde) et les haricots (Amérique centrale et Amérique du Sud). D'autres modifications sont encore plus loin du stade de la commercialisation (Tableau 4.16).

Tableau 4.16 Produits/procédés biotechnologiques montrant une adaptation à long terme au changement climatique

Produit	Caractéristique	Fonction	Référence
Riz résistant à la sécheresse	Gène HARDY (HRD) de l' <i>Arabidopsis</i> , réduction de la transpiration et amélioration de l'assimilation photosynthétique	Réduction de la transpiration, augmentation du ratio biomasse/ utilisation d'eau, augmentation de la capacité d'adaptation de la masse racinaire sous stress hydrique	Karaba et al, 2007
Tabac tolérant à la sécheresse (modèle)	Retardement de la senescence des feuilles à cause de la sécheresse	Rétention d'eau et photosynthèse afin de minimiser les pertes de rendement à cause de la sécheresse (30 % des besoins en eau normale)	Rivero et al, 2007
Maïs tolérant à la sécheresse	Expression du glutamate déshydrogénase (gdhA) gène de l' <i>E.coli</i>	La germination et la production de biomasse augmente sous les effets de la sécheresse	Lightfoot et al, 2007 Castiglioni et al, 2008

Contd...

Maïs tolérant à la sécheresse	Expression accrue de phospholipase spécifique par ZmNF- YB2 réduisant la conductance stomatique	Le rendement des graines augmente à cause du dépérissement réduit et du maintien de la photosynthèse dans les conditions de sécheresse	Nelson et al, 2007
Riz tolérant au sel	un QTL (tolérance au sel) associé à une résistance à la sécheresse	Permet des rendements soutenus dans des conditions de forte salinité (Bangladesh)	IRRI, 2010

Avantages

Si les solutions de la biotechnologie, qui aident à mitiger les effets négatifs du changement climatique, peuvent être diffusées aux producteurs, il existe un large potentiel de maintenir la production alimentaire et de fibres dans un environnement de plus en plus hostile, voire d'étendre les aires agricoles en transformant les aires actuellement dégradées. Ceci ne veut pas dire qu'un assainissement environnemental n'est pas nécessaire, mais cette technique peut représenter une solution en cas d'urgence. Le bénéfice majeur de la sélection moléculaire est la rapidité avec laquelle des caractéristiques multiples peuvent être identifiées, capturées et introduites dans des plantes afin d'être testées par rapport à leur stabilité et efficience. Ceci a augmenté de façon exponentielle dans les 15 à 20 dernières années. Les techniques de génie génétique permettent d'avoir des capacités qui normalement ne seront pas incluses dans les plantes. Comme l'introduction de nouveaux gènes peut maintenant être ciblée et contrôlée comme jamais auparavant, on peut avoir plus confiance dans la sécurité des nouvelles lignées de plantes et on peut être sûr que les autres caractéristiques des gènes ne seront pas affectées. L'encadré 4.30 énumère certains des bénéfices du coton génétiquement modifié en Inde. On peut s'attendre à des bénéfices comparables d'autres produits de la sélection moléculaire (y compris du génie génétique) à moyen ou long terme.

Désavantages

Les sécheresses et les inondations deviennent de plus en plus imprévisibles. S'assurer que les plantes répondent bien à une large gamme de conditions environnementales est un défi qui va exiger des connaissances encore plus approfondies des bases moléculaires. Comme pour d'autres secteurs technologiques modernes, la sélection moléculaire devient de plus en plus complexe et inaccessible pour ceux avec des ressources limitées. L'investissement financier nécessaire pour une sélection moléculaire efficace est important et les entreprises essaient de récupérer leur investissement grâce à des prix plus élevés des semences et la vente d'hybrides uniquement, empêchant toute replantation des graines produites. D'un côté cela garantit un contrôle de la qualité et de la pureté des semences, mais d'un autre côté cela réduit fortement l'autonomie des producteurs. Les craintes de perte de la biodiversité des cultures ont une histoire controversée. L'Inde par exemple compte aujourd'hui plus de 750 variétés différentes de Cotton BT, ce qui représente plus ou moins le même chiffre qu'il y a 9 ans quand le trait génétiquement modifié Bt a été introduit, mais il n'y a aucun doute sur le fait que ces variétés ont une base génétique plus étroite qu'avant - les *Gossypium arboreum* couvraient environ 40 pour cent de la superficie des plantations de coton) - et sur les zones qui étaient couvertes de *G. hirsutum*, 60 pour cent abritaient une gamme de variétés différentes et seulement 50 pour cent d'hybrides. Aujourd'hui, 95 pour cent du pays cultivent une gamme limitée d'hybrides de type *G. hirsutum*. Cette concentration de variétés issues de la sélection biologique risque de s'intensifier, ne serait-ce qu'en raison de l'investissement important que représentent

les coûts de main-d'œuvre et les coûts liés à la régulation pour la production et la commercialisation de nouvelles lignées végétales. Ces investissements doivent être compensés par de vastes marchés, conduisant alors à marginaliser les variétés et les races du pays destinés à des marchés de niche.

Connaissances requises

Les connaissances requises par la biotechnologie pour les agriculteurs et les services de vulgarisation sont relativement basiques. Or, comme on peut le constater dans l'encadré A, comme pour toutes les avancées technologiques, un environnement accueillant est nécessaire pour maximiser et générer des bénéfices. Souvent, les gens ont des attentes trop importantes vis-à-vis des cultures génétiquement modifiées, et l'industrie des semences est en partie responsable. Étant donné le prix de ces semences, il est important que l'industrie et les services de vulgarisation donnent une image exacte aux producteurs de ces semences et de leurs capacités à répondre aux effets environnementaux négatifs et à quel rendement on peut s'attendre selon les conditions locales.

L'accès limité des programmes de sélection publics et des pays en développement à ces technologies est adressé par la plate-forme de sélection moléculaire du « Generation Challenge Programme » (GIBS, acronyme anglais). C'est une tentative courageuse pour mettre ces outils de pointe entre les mains de petits éleveurs.

Coûts

Les coûts des cultures transgéniques varient à l'échelle mondiale en fonction des systèmes de réglementation en place. Lorsque les entreprises semencières privées ont été en mesure de monopoliser le marché, elles ont misé sur des accords avec les agriculteurs leur interdisant la conservation des semences et imposant une taxe sur la technologie, en plus de l'augmentation du coût des semences (c'est le cas par exemple aux États-Unis et en Australie). Lorsque ceci n'était pas réaliste, comme en Inde, le secteur des semences s'est créé un monopole par la production de semences hybrides uniquement. Les prix pour les semences biotechnologiques ont commencé à des prix six à dix fois supérieurs à ceux pour les semences non-biotech, puis ont graduellement baissé en raison des exigences de justice et de la concurrence croissante et ne sont plus que 3 à 4 fois supérieurs au prix des semences traditionnelles. La Chine a forcé la concurrence depuis le début et a eu moins de problèmes d'inflation des prix. Cependant, même dans les pays où les prix des semences étaient très élevés, les bénéfices nets que les producteurs pouvaient en tirer étaient toujours supérieurs à leurs dépenses. Après une brève période d'adaptation, environ 60 à 80 pour cent des bénéfices financiers tendent à aller à l'agriculteur et environ 10 pour cent pour le développeur de la technologie, le reste rentrant dans la chaîne d'approvisionnement. Beaucoup des réponses apportées aux changements climatiques sont le fruit de recherches menées par le secteur public, destinées à être diffusées gratuitement, ou sans faire aucun bénéfice, aux petits producteurs qui ont peu de moyens pour payer l'amélioration des intrants, particulièrement dans les milieux marginaux qui risquent d'être les premiers touchés par le changement climatique. Cependant, vu la réalité du système global de distribution des semences, il est probable que le secteur commercial sera le diffuseur de semences le plus efficace et de surcroît le contrôleur de la qualité des semences, à condition qu'il reçoive certains droits de propriété. Les prix seront alors fixés sur la base des avantages moyens pour les agriculteurs, comme c'est le cas dans d'autres secteurs du marché.

Il y a assez peu de publications sur les impacts économiques des produits de la biotechnologie sur l'adaptation au changement climatique. Alpuerto et al (2009) ont entrepris une analyse de la tolérance à la salinité et au phosphore du riz où le bénéfice cumulé pour les agriculteurs du Bangladesh utilisant

la sélection assistée par marqueurs plutôt que la sélection conventionnelle devraient représenter 800 millions de dollars pour la tolérance à la salinité et 450 millions de dollars pour la carence en phosphore si la sélection conventionnelle prend 5 ans de plus que la MAB, ce qui est une estimation prudente. L'impact à moyen terme des avancées de la biotechnologie (voir Tableau 4.16 pour des exemples) devrait être dramatique.

Facteurs entravant la mise en œuvre

La communauté mondiale des cultivateurs a constaté qu'il était plus difficile que prévu d'utiliser les résultats de la recherche de la sélection moléculaire dans ses diverses formes pour le développement rapide de cultures améliorées pour les agriculteurs les plus démunis. Même au sein des espèces cultivées, la structure du génome et des gènes s'est révélée être plus variable que prévu. La prévalence des traits polygéniques avec des interactions génétiques/environnement fortes a été plus marquée que prévu, rendant l'expression réussie du trait souhaité après transfert intra ou interspécifique plus insaisissable qu'on l'avait espéré. Ceci ralentit la recherche de toutes les organisations (y compris des sociétés commerciales) dans ce domaine.

La sélection moléculaire n'est ni plus rapide ni moins chère que la sélection traditionnelle, même si sa valeur a déjà été démontrée pour les caractères simples. La nature polygénique des traits nécessaires pour améliorer l'adaptation aux changements climatiques dans l'environnement rend cette tâche plus difficile encore. Cependant, contrairement à la sélection traditionnelle, les connaissances acquises avec la sélection moléculaire sont progressives, efficaces, productives, ciblées et permettront un développement plus rapide de nouvelles variétés de cultures au fil du temps. Le développement de caractéristiques recherchées est coûteux et les lignées de semences de haute qualité sont coûteuses à entretenir. Comme pour d'autres sections du secteur des semences, le développement de variétés/d'hybrides efficaces et la diffusion dépendra des mécanismes de capture de la valeur mis à la disposition des acteurs de la chaîne des semences. Bien conçus, il n'y a aucune raison pour laquelle ces mécanismes devraient retarder des gains importants pour les agriculteurs. Dans le domaine spécifique des OGM, les coûts sont extrêmement élevés dus à la réglementation, ce qui augmente significativement les coûts pour les agriculteurs et fait que les droits de propriété glissent de plus en plus entre les mains des grandes multinationales. Il est probablement vrai que ce fardeau réglementaire a conduit à une diffusion des cultures génétiquement modifiées dans le monde en développement, principalement via le secteur informel, et les produits ne recevaient l'approbation réglementaire que rétrospectivement. Ce n'est pas souhaitable, mais semble susceptible de se poursuivre et s'étendre ainsi, tant que les réglementations actuelles ne changent pas.

Facteurs favorisant la mise en œuvre

Ces techniques de stabilisation ou d'amélioration des rendements sont susceptibles d'être reprises très rapidement par les agriculteurs, et plus particulièrement là où la chaleur/sécheresse/salinité jouent clairement contre eux. Les entreprises de semences ne tarderont pas à exploiter les opportunités offertes, mais il est probable que bon nombre des meilleures lignées parentales seront développées par des programmes du secteur public.

Cas concrets d'application

Encadré 4.30 Coton génétiquement modifié résistant aux insectes

Le coton génétiquement modifié résistant aux insectes (Bt) a été officiellement mis sur le marché en 2002, même s'il existait déjà auparavant une large production informelle. En dépit d'être seulement efficace pour le contrôle d'un spectre limité de ravageurs du coton (la plupart des larves qui se nourrissent des organes de fructification du coton, mais pas toutes), l'adoption était fulgurante. Neuf ans plus tard, 6 800 000 agriculteurs ont planté 9,4 millions d'hectares d'hybrides de coton Bt – la quasi-totalité de la production nationale. Dans les quatre années de son introduction, l'usage d'insecticides sur le coton a réduit de moitié (de 46 pour cent de la consommation d'insecticides en Inde en 2001-2 à 25 pour cent en 2005-6) et la moyenne des bénéfices a à peu près doublée (augmentation de 250 \$/ha). Les cinq années consécutives à l'année 2005, l'Inde a produit plus de 5,1 millions de tonnes de coton, avant l'introduction du coton Bt le record était de 3 millions de tonnes seulement, et ainsi l'Inde est devenue un des plus grands exportateurs nets pour la première fois. Le contrôle des ravageurs par le Bt était en lui-même déjà un facteur important, mais le contrôle de la qualité des semences introduite avec les nouveaux hybrides jouait également un rôle important. De trois hybrides provenant d'une seule entreprise en 2002, il y a maintenant quelques 780 variétés de coton Bt provenant de 34 entreprises et ayant plusieurs traits génétiques différents. Le prix des semences Bt étaient initialement très élevé, autour de 1 350 roupies indiennes (INR) par paquet de 450 grammes, mais grâce à la concurrence (et à la réglementation) le prix a diminué et est maintenant plus proche du prix des semences non-Bt, qui est de 650 INR. La rentabilité accrue a entraîné l'achat de meilleurs pesticides, de nouvelles plantations, et d'un meilleur désherbage. En bref, la solution biotechnologique a changé l'économie de la production si radicalement que d'autres investissements pour plus de productivité sont devenus possibles et utiles.

Source: <http://cotton247.com/news?storyid=2160> and Qaim et al 2010

Encadré 4.31 Maïs tolérant à la sécheresse pour l'Asie

Le CIMMYT du Centre International de Recherche des Tropiques semi-arides (ICRISAT, acronyme anglais) développe des lignées de maïs résistantes à la sécheresse pour l'Asie. Les lignées de maïs résistantes à la sécheresse d'Afrique ont été combinées avec celles adaptées aux conditions locales de l'Asie. Un certain nombre de gènes sont impliqués (la caractéristique est polygénique) et la sélection assistée par marqueurs (MARS) est utilisée pour accroître les rendements sous l'influence de la sécheresse de 2 t/ha jusqu'au maximum théoriquement possible de 13 t/ha. Des recherches sont menées en Chine, en Thaïlande, aux Philippines, au Vietnam et en Inde, financées par le projet de recherche sur le maïs résistant aux sécheresses en Afrique de la Fondation Bill et Melinda Gates. La meilleure lignée (CML444) est déjà la lignée parente utilisée en Inde pour les cultures résistantes à la sécheresse, financée par un projet de la « Syngenta Foundation's Affordable, Accessible, Asian (AAA) » qui connaît déjà des succès énormes de rendements pouvant atteindre jusqu'à 10 t/ha avec des précipitations modestes de 500-600 mm par an.

Source: <http://dtma.cimmyt.org/> and <http://www.cimmyt.org/fr/what-we-do/newsletter/37-2008/152-asian-maize-network-tackles-drought>

Encadré 4.32 Riz tolérant à la sécheresse pour l'Asie

L'Institut International de Recherche pour le maïs (IRRI) travaille depuis quelques années sur la recherche de variétés de riz résistantes à la sécheresse. La découverte du locus des caractères quantitatifs responsable de la résistance à la sécheresse et son intégration dans les lignées de riz en Chine et en Inde sous le « CGIAR's Generation Challenge Programme » a aidé à augmenter les rendements de 0,5 t/ha à 1,5 t/ha. Le trait recherché est lié à l'absorption d'eau, mais étonnamment pas à la longueur des racines. Ceci est un bon exemple de sélection moléculaire ayant du succès sans nécessairement comprendre les mécanismes de fonctionnement du trait introduit. Les meilleures lignées produisent maintenant jusqu'à 2,8 tonnes/ha sous des conditions de sécheresse et le Département indien de Biotechnologie ainsi que le « All Indian Co-ordinated Rice Trail system » les évaluent dans cinq états; les résultats serviront au « Global Rice Partnership ». La Fondation Bill and Melinda Gates appuie également des tests à large échelle de ces lignées de riz au Népal, en Thaïlande et en Afrique et il devrait y avoir des publications officielles en Inde (de l'Université des Sciences Agrologiques à Bangalore) en 2013.

Source: <http://irri.org/partnerships/networks/strasa/stresses/drought-tolerant-rice>

4.4.3 Lutte antiparasitaire écologique

Définition

La lutte antiparasitaire écologique (EPM, acronyme anglais) est une approche pour renforcer et appuyer les systèmes naturels dans la régulation des ravageurs et l'amélioration de la production agricole. Aussi connue comme la lutte antiparasitaire intégrée (LAI), cette pratique peut être définie comme « l'utilisation de plusieurs tactiques d'une manière compatible pour maintenir les populations de ravageurs à des niveaux inférieurs à ceux qui causent des dommages économiques tout en offrant une protection contre les risques pour les humains, les animaux, les plantes et l'environnement ». La technique LAI est une gestion écologique des ravageurs qui tire pleinement parti des processus et des méthodes naturelles et culturelles, y compris la résistance de l'hôte et la lutte biologique. La technique LAI privilégie la croissance de cultures saines avec le moins de dérangements possible pour les agroécosystèmes, encourageant ainsi les mécanismes naturels de lutte contre les ravageurs. Les pesticides chimiques sont utilisés seulement là, où et quand ces méthodes naturelles ne parviennent pas à empêcher la prolifération des parasites en dessous des niveaux dommageables (Frison et al, 1998; 10).

Description

La base de cette méthode naturelle de gestion des ravageurs est la biodiversité des systèmes agro-écologiques. Plus il y a de diversité, moins il y a de ravageurs et vice versa (Pesticide Action Network NorthAmerica 2009).

Concepts clés de l'approche LAI:

Gestion des cultures: sélection de cultures adaptées aux conditions locales. Les pratiques incluent:

- La sélection de variétés natives locales résistantes aux ravageurs et des cultivars bien adaptés
- L'utilisation de rotation de cultures avec des cultures de type légumineuse afin d'accroître la disponibilité de nitrate dans les sols et ainsi améliorer la fertilité et créer des conditions favorables pour cultiver des plantes robustes qui résistent mieux aux ravageurs et aux maladies

- L'utilisation de cultures de couverture, comme les engrains verts, afin de réduire la prolifération des mauvaises herbes, de maladies et de ravageurs²¹
- L'intégration de système de cultures intercalaires ou de systèmes d'agroforesterie
- L'espacement des cultures, les cultures intercalaires et le taillage afin de créer des conditions défavorables aux ravageurs

Gestion des sols: Les pratiques incluent:

- Créer des structures de sol saines²² pour les différentes cultures (telles que les variations de profondeurs du sol ou les différentes teneurs en minéraux):
- Allonger les rotations de cultures afin d'augmenter la présence de populations microbiennes et afin de détruire les cycles des maladies, des ravageurs et des mauvaises herbes
- Appliquer des engrains organiques afin de maintenir des niveaux équilibrés de pH et de nutriments. Ajout de moulages de vers de terre, de minéraux colloïdaux et d'inoculant du sol. Les microbes dans le compost permettront d'améliorer l'absorption de l'eau et l'échange d'air.
- Les éléments nutritifs du sol peuvent être réactivés en allégeant le compactage du sol.
- Réduire le travail de la terre – un sol non travaillé avec un approvisionnement suffisant en matière organique fournit un bon habitat pour la faune du sol.
- Conserver les résidus des cultures ou des plantes vivantes

Gestion des ravageurs: utilisation d'organismes bénéfiques qui se comportent comme des parasitoïdes ou prédateurs. Les pratiques incluent:

- La libération d'insectes bénéfiques dans la nature en leur fournissant un habitat convenable
- La gestion de la densité des plants de manière à dissuader les maladies
- La culture pour le contrôle des mauvaises herbes basée sur la connaissance de la période critique de la concurrence
- Gestion des limites des champs et des habitats sur le terrain pour attirer les insectes bénéfiques et piéger ou désorienter les insectes ravageurs

Les stratégies LAI peuvent exister à différents niveaux d'intégration. Notez que l'intégration aux quatre niveaux n'est pas commune (Frison et al, 1998; 11):

- Contrôle d'un seul ravageur sur une culture particulière
- Contrôle de plusieurs ravageurs sur une même culture
- Plusieurs espèces cultivées (ou espèces non cultivées) au sein d'une même unité de production agricole
- Plusieurs fermes dans une région (lutte à l'échelle régionale)

Ces pratiques, si elles sont bien mises en œuvre, créent des systèmes qui sont:

- Autorégulateurs et maintiennent les populations de ravageurs dans des limites acceptables
- Auto-suffisants, avec un besoin minimal pour des interventions « réactives »
- Résistants aux stress comme la sécheresse, le compactage du sol, les invasions de ravageurs
- Capable de bien récupérer du stress causé par les influences environnementales

Contribution à l'adaptation au changement climatique

Depuis la Conférence des Nations Unies sur l'environnement et le développement, tenue à Rio de Janeiro en juin 1992, l'attention du monde entier a été axée sur l'importance de l'EPM. L'Agenda 21, le plan d'action élaboré par la conférence, a reconnu la pollution par les pesticides comme une menace majeure pour la santé humaine et l'environnement dans le monde et a identifié la technique LAI comme un élément clé dans le développement agricole durable (Frison et al, 1998; 9).

L'EPM est une biotechnologie appartenant aux technologies dites « propres » qui combine le cycle de vie des cultures, des insectes et des champignons impliqués, avec des apports naturels externes (c.-à-d. des bio-pesticides). Cette biotechnologie permet de garantir une meilleure récolte, même dans des conditions difficiles où des parasites et des maladies apparaissent avec les changements de température et des niveaux d'eau (augmentation de l'humidité relative de l'air et des eaux de ruissellement), conditions typiques du changement climatique. C'est donc une biotechnologie pour faire face à l'incertitude causée par le changement climatique.

L'EPM contribue à l'adaptation au changement climatique en fournissant un écosystème sain et équilibré dans lequel la vulnérabilité des plantes aux parasites et aux maladies est diminuée (LEISA, 2007). Par la promotion d'un système de production diversifiée, la pratique de l'EPM renforce la résilience des agriculteurs aux risques potentiels posés par le changement climatique, tels que les dommages aux rendements des cultures causés par les ravageurs et les maladies émergentes.

Avantages

Avec l'approche EPM, les agriculteurs peuvent éviter les coûts pour les pesticides et le carburant ainsi que ceux pour le matériel et la main-d'œuvre nécessaires pour les appliquer. Un essai sur 22 ans comparant des systèmes conventionnels et biologiques de maïs/soja a trouvé que les approches de l'agriculture biologique pour ces cultures nécessitent en moyenne 30 pour cent moins d'énergie fossile (Pimentel et al, 2005). Même si cela peut provoquer une légère baisse de la performance productive, le risque de perdre une récolte entière est réduit de façon spectaculaire.

Il existe également des rapports démontrant que les niveaux de production ont augmenté quand il y a eu une réduction de l'utilisation des pesticides (Pesticide Action Network North America 2009). C'est le cas quand il y a des contrôleurs spécifiques pour un ravageur déterminé. Par exemple, en Afrique de l'Ouest, l'introduction de la guêpe a été une aide spectaculaire pour le contrôle de la limace du manioc, sauvant ainsi la culture de la nourriture de base pour des millions d'Africains (FAO, 1996a).

Désavantages

Il y a des organismes fort nuisibles pour lesquels les « contrôleurs biologiques » n'ont pas encore été identifiés (par exemple un insecte qui les détruit). Lorsque ces parasites émergent, il est courant pour les producteurs de se tourner vers les pesticides. L'EPM n'est pas facile à mettre en œuvre et exige une bonne connaissance et le suivi des composantes combinées du système pour être un succès. Peut-être le plus grand inconvénient à l'approche EPM est que la lutte biologique n'est pas une « solution rapide ». Dans la plupart des cas, il faut plusieurs années aux contrôleurs biologiques pour faire une contribution significative. En outre, aucun contrôleur biologique unique ne fonctionne dans toutes les situations. Un contrôleur qui fonctionne bien pour un type de sol, par exemple, peut ne pas fonctionner du tout pour un autre type de sol. À long terme, plus d'un type de contrôleurs biologiques peut être utilisé pour obtenir un contrôle uniforme à travers une variété de situations différentes et de types de terrain.

Connaissances et suivi requis

Des connaissances sont nécessaires sur (i) les ravageurs et leurs ennemis naturels, (ii) les moyens efficaces et économiques de la production d'ennemis naturels, (iii) les interactions entre les différents moyens de lutte contre les ravageurs. Les informations sur les différentes options qui peuvent être utilisées pour faire face aux ravageurs et aux maladies sont également nécessaires pour la mise en œuvre de cette technologie. La formation multidisciplinaire sur l'EPM pour les agriculteurs, les chercheurs et les vulgarisateurs peut aider à soutenir la transition vers un système EPM. Les systèmes d'alerte précoce qui permettent d'avoir des informations sur le comportement des populations d'insectes, les champignons et les bactéries qui pourraient devenir des plaies dues à des variables climatiques (par exemple, une augmentation de température) sont également un outil utile pour la mise en œuvre et le suivi de l'EPM. L'encadré 4.33 fournit une description de la façon dont les écoles pratiques d'agriculture peuvent être utilisées comme un modèle pour l'éducation rurale.

Encadré 4.33 École pratique d'agriculture: approche de référence pour l'enseignement de l'EPM aux agriculteurs

Dans les écoles pratiques d'agriculture, les agriculteurs sont formés pour faire une analyse de leur agro-écosystème. De cette façon, ils prennent conscience de l'équilibre parasites-prédateurs et de l'effet néfaste des pesticides sur un tel équilibre. Ils apprennent qu'il est préférable et plus rentable de travailler avec la nature plutôt que contre elle. Les écoles pratiques d'agriculture sont devenues une approche très populaire et ont été adoptées par les ONG et les gouvernements, à petite et à grande échelle. Leur avantage comparatif s'appuie sur une intégration habile de plusieurs principes:

- Apprentissage centré sur les élèves, pratique et expérientiel
- L'observation, l'analyse, l'évaluation et l'expérimentation sur une période de temps suffisante pour comprendre la dynamique des relations agro-écologiques et socio-écologiques clés
- La prise de décision individuelle et conjointe basée sur les résultats d'apprentissage
- Le renforcement des capacités en matière de leadership, de capital social et d'autonomisation

Source: LEISA, 2007

Exigences institutionnelles

Des structures qui permettent aux agriculteurs de s'organiser de manière à mettre en œuvre conjointement les solutions proposées sont nécessaires. L'action collective peut augmenter la réussite du développement et de la mise en œuvre des techniques EPM. La coopération de producteurs peut aider à réduire les coûts de mise en œuvre de l'EPM. En outre, l'amélioration des liens entre la recherche et la vulgarisation, plus de services de vulgarisation et de consultants privés, et l'amélioration de la surveillance peuvent toutes deux contribuer à une meilleure coordination et un meilleur retour, ce qui augmente la viabilité et l'impact du processus.

Des efforts importants dans le domaine de la communication avec les agriculteurs sont nécessaires pour que les agriculteurs puissent apprécier les avantages de l'application de l'approche EPM. La communication devrait être principalement axée sur la gamme des avantages de cette technologie par rapport aux autres options disponibles (tels que la durabilité à long terme et le respect de l'environnement). Les institutions du secteur public, telles que les ministères de l'Environnement, devraient coordonner ces initiatives.

Coûts et besoins financiers

Un programme LAI mis en œuvre à l'échelle nationale au Nicaragua par CATIE, et en collaboration avec soixante-dix fournisseurs de services locaux (tels que des ONG, des organisations de producteurs, des fournisseurs de services techniques, des agents de vulgarisation du gouvernement), a formé plus de 300 agents de vulgarisation. Ces agents de vulgarisation à leur tour ont formé plus de 8 000 agriculteurs et ont probablement atteint au moins 15 000 agriculteurs par le biais de collaborateurs appliquant les techniques à des groupes d'agriculteurs qui n'étaient pas directement visés par le programme. L'utilisation de pesticides par les agriculteurs a diminué de 30 à 70 pour cent, mais l'incidence des principaux ravageurs a été réduite, et les rendements ont légèrement augmentés. Le coût combiné du programme de formation était d'environ 6,6 millions de dollars sur cinq ans, mais a été considéré comme ayant généré un bénéfice net d'environ 1,8 million de dollars en raison de la réduction des coûts de production et l'augmentation des rendements (Guharay et al, 2005) (voir Figure 4.15).

Figure 4.15 Production LAI de légumes au Nicaragua



Source: CATIE, 2004

Facteurs entravant la mise en œuvre

Les principaux obstacles au développement et à l'adoption de programmes d'EPM se répartissent en quatre catégories:

- Technique: manque d'études et la complexité des EPM
- Économique: la simplicité et l'efficacité apparentes des produits chimiques; la baisse des prix des biens produits par la technique EPM (dommages cosmétiques); coût élevé des pesticides sélectifs; absence de politique fiscale qui favorise l'EPM par rapport à l'utilisation de pesticides; haut

risque perçu si aucune pulvérisation n'est faite; non prise en compte des avantages à long terme. Un obstacle majeur à la mise en œuvre de cette technologie est que les agriculteurs préfèrent généralement les pesticides commerciaux parce qu'ils sont plus faciles à appliquer et à gérer.

- Institutionnel (liens pauvres entre recherche et vulgarisation, manque de services de vulgarisation, de suivi et de consultants privés)
- Connaissances (manque de compréhension des EPM par les agriculteurs/agents de vulgarisation, manque de spécialistes) (Frison et al, 1998; 16-17)

L'EPM est une technique complexe et pour comprendre et adopter les stratégies EPM, les agriculteurs doivent fréquemment changer toute leur philosophie de la lutte antiparasitaire (Frison et al, 1998; 21). Il y a aussi une idée fausse très répandue que les pesticides sont essentiels pour avoir des rendements élevés.

Facteurs favorisant la mise en œuvre

Dans les systèmes de production agricole où l'environnement est relativement libre d'éléments polluants (comme les pesticides), et où les ravageurs et les maladies sont en train de devenir de plus en plus agressifs, il y a de meilleures conditions pour le développement de l'EPM. C'est parce qu'il n'est pas nécessaire de « nettoyer » l'environnement d'abord afin de mener des recherches sur les contrôleurs biologiques nécessaires. Lorsque l'EPM est utilisé, les agriculteurs peuvent bénéficier de la possibilité de vendre leurs produits en tant que produits biologiques sains et demander des prix plus élevés.

Cas réels d'application

Encadré 4.34 La gestion écologique des parasites à grande échelle en Indonésie

Depuis 1989, le gouvernement de l'Indonésie a entrepris un programme de lutte basé sur l'écologie pour surmonter les problèmes environnementaux causés par l'utilisation excessive de pesticides. Ces problèmes environnementaux comprennent l'intoxication aiguë et chronique des hommes par les pesticides; l'empoisonnement des animaux et des produits agricoles; la destruction de parasites naturels bénéfiques et des prédateurs des ravageurs; et la résistance aux pesticides chez les ravageurs (Ahmadi 1991; Oka 1995; Pimentel et al 1992; et Antle et Pingali, 1994). Le programme a modifié la politique du gouvernement; d'une méthode unilatérale de la lutte antiparasitaire basée uniquement sur les pesticides, à une combinaison de diverses tactiques de contrôle pour gérer les ravageurs comprenant la plantation synchronisée, la rotation des cultures, les prédateurs naturels, et les pesticides. Le programme travaille directement avec les agents de vulgarisation agricole et un grand nombre de groupes d'agriculteurs à travers le pays, afin de renforcer leurs compétences sur les méthodes écologiques, où la prise de décision et la gestion des champs sont basées sur l'analyse des agroécosystèmes et le travail sur le terrain.

Oka (1995) a constaté que les producteurs de riz qui ont exécuté le programme LAI ont été en mesure de réduire l'utilisation des pesticides d'environ 56 pour cent et d'augmenter les rendements de riz d'environ 10 pour cent. Le Programme national indonésien de suivi et d'évaluation de la méthode LAI (1993) a estimé que les agriculteurs pourraient accroître leurs revenus d'environ 50 pour cent. Feder et al (2004a et 2004b), d'autre part, ont mis en doute l'efficacité réelle du programme.

Source: Resosudarmo 2008

Encadré 4.35 Mobiliser la lutte intégrée des parasites pour lutter contre la cochenille du manioc en Afrique

Une réussite remarquable de gestion écologique des ravageurs en Afrique a été le contrôle de la cochenille du manioc. Quand la cochenille du manioc et l'acarien vert du manioc sont apparus pour la première fois en Afrique dans les années 1970, ils ont causé des dommages et des pertes importantes et les moyens de subsistance de millions de personnes ont été menacés. Des prédateurs et parasitoïdes spécifiques à la cochenille ont été découverts en 1980 en Amérique du Sud et, après une sélection rigoureuse au Royaume-Uni, ces ennemis naturels ont été introduits en Afrique. Après un élevage en masse à l'Institut international d'agriculture tropicale, ces prédateurs furent libérés dans la nature et un système de suivi a été mis en place. Les résultats ont été étonnantes. Trois ans après leur introduction, l'un des parasitoïdes (*Epidinocarsis lopezi*) a été trouvé dans 70 pour cent de tous les champs de manioc sur plus de 200 000 km² dans le sud du Nigeria. En 1985, ce programme a été élargi au Programme de lutte biologique à l'échelle de toute l'Afrique et en 1990 *E. lopezi* s'était établi dans 25 des pays où le manioc est cultivé. Le contrôle biologique de la cochenille du manioc s'est avéré être écologique et économique, avec un rapport coût/bénéfice de 1 à 178 (Mengech et al., 1995). La principale raison de cette proportion élevée est que la lutte biologique est une stratégie autonome et ne nécessite qu'un seul investissement, qui de plus n'est pas élevé.

Source: Frison et al., 1998; 18

Encadré 4.36 Plantation d'arbres fruitiers dans et autour des champs cultivés pour attirer les oiseaux prédateurs en Inde

Les agriculteurs Garo Hills de l'Ouest (État de Meghalaya, Inde) plantent des arbres fruitiers, comme le *Bridelia retusa*, le *Dendrophthoe falcata*, le *Morus macroura* et le *Sapium baccatum* sur les champs en terrasses, et parfois dans leurs jardins potagers et dans leurs champs « *jhum* » (agriculture pratiquée sur brûlis cultivant diverses plantes semées ensemble). Ces plantes attirent les oiseaux, car elles offrent un abri et de la nourriture. Les oiseaux limitent la prolifération des ravageurs, car ils se nourrissent des différents types d'insectes ravageurs, principalement des larves, des chenilles et des nymphes. Bien que personne ne puisse dire exactement qui a commencé avec cette méthode, les agriculteurs sont unanimes pour dire que son développement est lié à l'activité traditionnelle de la chasse. Il y a longtemps, en chassant dans la forêt, les agriculteurs ont remarqué que certains oiseaux préfèrent certaines plantes particulières, et que ces oiseaux se nourrissent de chenilles ainsi que de petits insectes. Ces agriculteurs ont essayé de planter ces espèces près de leurs champs, pour voir si les oiseaux allaient venir pour se nourrir des insectes nuisibles. La philosophie des agriculteurs pratiquant cette méthode est simple: « Nous fournissons de la nourriture et un abri pour les oiseaux; en retour, ils s'occupent de contrôler la prolifération des ravageurs. »

Source: Sinha, Singha, et Choudhury, 2007

Encadré 4.37 La méthode « push-pull » au Kenya

Le Centre international de physiologie et d'écologie des insectes du Kenya (ICIPE, acronyme anglais) et le Rothamsted Research d'Angleterre ont collaboré avec des partenaires en Afrique de l'Est pour développer la technique dite « Push-Pull » ou de répulsion-attraction. La technologie implique la culture intercalaire de desmodium *argentifolii*, une espèce de légumineuse fourragère, avec le maïs, le napier et l'herbe du Soudan, pour permettre d'offrir à la fois des avantages immédiats et à long terme. Les arômes produits par le desmodium repoussent (push) les parasites comme les insectes perceurs des tiges de maïs, tandis que les senteurs produites par les herbes attirent (pull) les papillons de nuit et les encouragent à pondre leurs œufs dans l'herbe et non dans le maïs. L'herbe à éléphant produit une substance collante qui piège les larves de foreurs de tige afin qu'une fois qu'ils éclosent, seuls quelques-uns survivent à l'âge adulte, ce qui réduit leur nombre. Les racines de Desmodium produisent des substances chimiques qui stimulent la germination des graines de striga, mais les empêchent de se fixer avec succès aux racines du maïs. Le striga finit par mourir et le nombre de graines dans le sol est également réduit. En plus d'être une bonne couverture du sol, le desmodium est une légumineuse fixatrice d'azote qui améliore la fertilité des sols.

Agnes Ambuvi a utilisé les mauvaises herbes qui poussent le long des routes et des sentiers pour faire paître trois vaches zébus. Maintenant, avec l'herbe à éléphant et le desmodium qui fournissent du fourrage de qualité, elle a deux nouvelles vaches qui produisent 15 litres de lait par jour, gagnant environ 2 520 shillings kenyans (35 \$) par semaine. Ainsi, elle peut couvrir la plupart de ses dépenses, y compris les frais de scolarité, la nourriture et les vêtements. Agnes a appris à préparer le fumier de ferme pour son champ de maïs, réduisant le besoin en engrains chimiques coûteux. La technique « Push-Pull » favorise également la biodiversité.

Source: Khan et al, 2008

4.4.4 Stockage des graines et des semences

Définition

La sécurité semencière est essentielle à la réalisation de la sécurité alimentaire parmi les petits producteurs pauvres des pays en développement (Wambugu et al, 2009). Un bon stockage permet d'assurer la sécurité alimentaire des ménages et de la communauté jusqu'à la prochaine récolte et les produits destinés à la vente peuvent être stockés afin d'éviter que les producteurs soient forcés de vendre à bas prix après les récoltes. Alors que des pertes considérables peuvent déjà avoir lieu avant ou lors des récoltes, les pertes les plus importantes se produisent habituellement au cours du stockage. Par conséquent, l'objectif fondamental d'un bon stockage est de créer les conditions environnementales qui protègent le produit et maintiennent sa qualité, réduisant ainsi la perte de produit et la perte financière.

Il y a deux raisons pour le stockage de la nourriture: la sécurité alimentaire nationale et le maintien de la valeur avant la vente. Les agriculteurs ne peuvent pas accepter des améliorations qui encourent des frais lors de l'enregistrement principalement pour la consommation à domicile, car l'amélioration de la qualité d'un produit alimentaire pour la consommation domestique n'atteint pas une valeur monétaire plus élevée pour l'agriculteur.

Description

Afin de réduire les pertes de nourriture, les conditions dans le magasin de stockage doivent être contrôlées de manière à réduire la possibilité de:

- Dommages biologiques causés par les insectes, les rongeurs et les micro-organismes
- Dommages chimiques dus à l'augmentation de l'acidité et aux changements de goût
- Dommages physiques s'ils sont écrasés ou brisés

Un bon stockage implique donc de contrôler les facteurs suivants: la température, l'humidité, la lumière, les ravageurs et l'hygiène. Le tableau 4.17 (au verso) propose un aperçu des exigences de condition de stockage de certains produits alimentaires.

Tableau 4.17 Caractéristiques d'entreposage des produits alimentaires sélectionnés

Denrée	Humidité	Température/Lumière	Autre
Céréales et légumineuses	Peuvent être stockées en dessous de leur niveau d'humidité conseillé pour des périodes d'un an ou plus. Ne pas augmenter les niveaux d'humidité.	Large gamme de températures	n/a
Semences pour les semis	Les niveaux d'humidité doivent être faibles. Une diminution de 1 % du taux d'humidité, pour un taux en dessous de 14 %, peut doubler le temps de stockage. Température maximale de séchage de 35 °C. Un séchage en plein soleil n'est pas recommandé.	L'entreposage au froid est nécessaire. Une diminution de 5 °C de la température double le temps de stockage.	Les semences récoltées lorsqu'elles ne sont pas parfaitement mûres perdront plus vite leur viabilité que les semences matures.
Produits oléagineux	Le taux d'humidité doit rester en dessous de 7 % pour éviter la formation de champignons.	Des hautes températures et l'exposition à la lumière accélèrent le rancissement.	n/a

Contd...

Les racines et tubercules	Stockage dans des conditions de faible humidité pour éviter la pourriture	<p>Une bonne ventilation est nécessaire pour éviter la pourriture.</p> <p>Les ignames peuvent être stockées pendant quatre mois à des températures entre 25-35 °C. Les pommes de terre pour seulement cinq semaines car elles sont sensibles à la lumière du soleil.</p> <p>Chambres froides pour le stockage à grande échelle.</p> <p>Le magasin doit être ventilé pendant la partie la plus froide de la journée et isolé pendant la période la plus chaude.</p>	<p>Pour augmenter la durée de stockage, utiliser un traitement spécial appelé « durcissement » qui consiste à laisser les tubercules croître des couches de cellules de liège sur leur surface.</p>
Fruits et légumes	n/a	<p>Se conservent mieux lorsqu'ils sont refroidis, mais peuvent être abîmés par le gel. De simples armoires avec système de refroidissement évaporatif à air, permettent aux petits exploitants de les stocker. Le stockage souterrain dans des fosses et caves est utilisé.</p>	<p>L'emballage et la cire empêchent la pourriture des fruits.</p> <p>Conservation dans une atmosphère riche en CO2</p>

Source: basé sur des publications de IT et de UNIFEM, 1995

La plupart des pays en développement sont sous les tropiques. Ils sont souvent dans des zones de fortes précipitations et d'humidité, conditions idéales pour le développement de micro-organismes et des insectes, provoquant des niveaux élevés de détérioration des cultures en magasin. Ainsi, une évaluation des différentes méthodes de stockage doit être entreprise avant d'investir dans l'une d'elles. Les méthodes locales existantes sont généralement peu coûteuses, s'adaptant à ce que l'on trouve sur place plutôt que de faire appel à de nouvelles technologies, et sont souvent une option économique plus réaliste pour les ménages. Les techniques traditionnelles et améliorées de stockage sont présentées dans le tableau 4.18.

Tableau 4.18 Les méthodes d'entreposage traditionnelles et améliorées

	Adapté pour	Capacité/ Durée de stockage	Coût/Matériel
Méthodes de stockage traditionnelles			
Récipients en terre cuite et gourdes	Céréales, haricots, arachides, fruits secs, légumes et semences	5-30 litres Jusqu'à 1 an	Très faible
Feuilles	Fruits secs, légumes et mélasse	Variable Jusqu'à 1 an si pas ouvert	Faible Feuilles de bananes, ficelles de sisal et autres matériaux à base de plantes
Écorce	Céréales, notamment riz et maïs décortiqués	100 kg Jusqu'à 3 mois	Main-d'œuvre
Paniers	Céréales, légumineuses, plantes oléagineuses, pommes de terre	Variable Jusqu'à 9 mois	Faible mais beaucoup de main-d'œuvre nécessaire. Roseaux, herbes, feuilles de palmier, bambou
Sacs	Céréales, légumineuses et fruits secs	Jusqu'à 60kg Jusqu'à 1 an	Faible Jute, sisal et coton
Paniers de silos	Céréales et légumineuses	Jusqu'à une tonne Jusqu'à 1 an	Matériaux locaux, temps nécessaire pour la construction Herbe à éléphant, roseaux, tiges de sorgho
Stockage sur le toit	Céréales	Variable Jusqu'à 1 an	Bois pour la plate-forme et main-d'œuvre
Crib (Lieu de stockage) de maïs	Maïs	Variable Jusqu'à 6 mois	Main-d'œuvre et matériel Variable
Fosses souterraines	Céréales, légumineuses et racines	Variable Jusqu'à 1 an	Main-d'œuvre Herbe, paille et argile

Contd...

Rangement pour les pinces	Tubercules	Jusqu'à 500kg Jusqu'à 6 mois	Main-d'œuvre Herbe, paille
Petits magasins	Céréales et légumineuses	Variable Jusqu'à 1 an	Main-d'œuvre et matériel variable
Silos de terre	Céréales et légumineuses	Variable Jusqu'à 1 an	Main-d'œuvre Terre et paille
Techniques de stockage améliorées			
Sachets en plastique	Graines de semis, céréales, légumineuses, arachides, copra	Jusqu'à 60 kg 6 à 9 mois	Élevé
Fûts métalliques de 45 gallons	Céréales, légumineuses et graines	50-200 litres Jusqu'à 1 an	Faible, dépendant de la disponibilité des fûts et des réservoirs d'eau
Silo « Pusa »	Céréales et légumineuses	400 kg à 3 tonnes 6 à 12 mois pour les plantes bien séchées	Moyen à élevé, compétences requises boue, ciment ou béton, bois, plastique
Silos en métal	Céréales et légumineuses	Jusqu'à 5 tonnes Environ 1 an	Moyen à élevé Tôle
Silos en briques	Céréales et légumineuses	Jusqu'à 5 tonnes Jusqu'à 1 an	Moyen à élevé Briques, ciment, barres de renforcement, bois pour les moules, tôles
Silo en panneaux de béton	Céréales et légumineuses	Jusqu'à 10 tonnes Jusqu'à 1 an	Moyen à élevé Ciment, sable, fer et fils de fer
Silos thaïlandais en ferrociment	Céréales et légumineuses	4-6 tonnes 9 à 12 mois	Moyen à élevé Ciment, sable, granulats, mortier, scellant pour la base, peinture, grillage, tige, tuyau à eau
Stockage dans des huttes ventilées	Céréales, légumineuses et racines	Variable Variable	Moyen à élevé Matériaux locaux pour la construction
Fosse d'entreposage améliorée	Céréales, légumineuses et racines	Variable Jusqu'à 1 an	Moyen Tôle, boue/fumier/paille ou doublure en plastique ou en ferrociment

Source: basé sur des Publications de IT et UNIFEM, 1995

Contribution à l'adaptation au changement climatique

Le stockage des graines a été établi pour se préparer à la sécheresse, la faim et la malnutrition (PNUE, 2010; 36). Le stockage des graines est une stratégie d'adaptation au changement climatique qui assure que l'alimentation est disponible pour le bétail et que les stocks de semences sont disponibles en cas de mauvaises récoltes dues à la sécheresse (PNUE, 2010; 62). Une récolte efficace peut réduire les pertes post-récolte et préserver la quantité de nourriture, la qualité et la valeur nutritionnelle du produit (FAO, 2010; 3). Les innovations pour aborder le changement climatique comprennent des techniques pour réduire les déchets de produits agricoles (BIAC, 2009). En fait, la création d'un stockage sûr pour les semences et les réserves d'intrants agricoles et alimentaires sont utilisées comme indicateurs de la capacité d'adaptation dans le secteur de l'agriculture (CARE, 2010).

Avantages

La mise en place d'installations de stockage, à long terme, garantit que les approvisionnements en céréales sont disponibles pendant les périodes de sécheresse (PNUE, 2010; 36). Il est important d'être en mesure de stocker de la nourriture après la récolte afin de ne pas être contraint de vendre à bas prix. Les techniques de stockage appropriées peuvent prolonger la vie des denrées alimentaires et/ou protéger la qualité.

Désavantages

Le nettoyage et le séchage des graines pour le stockage sont des mesures essentielles. Cependant, des difficultés pour nettoyer les graines de l'humidité excessive et des corps étrangers sont fréquemment rencontrées. Or ne pas bien nettoyer ou sécher les graines peut conduire à des infestations de ravageurs. Le séchage des graines peut aussi nuire à la qualité des semences. Les pertes de semences à cause des insectes, rongeurs, oiseaux et dues à l'absorption d'humidité peuvent être élevées dans des systèmes de stockage en vrac traditionnels. Pour contrôler ou prévenir les infestations de ravageurs, une pulvérisation de produits chimiques peut être nécessaire. Certains marchés n'accepteront pas les semences et les graines traitées avec des produits chimiques.

Connaissances et suivi requis

L'adoption de nouvelles méthodes de stockage peut nécessiter une formation technique. Par exemple, en plus de la construction d'un nouveau silo, des formations ou des conseils sur la réglementation et l'entretien, la santé et la sécurité, le contrôle de la qualité et les techniques de stockage des semences (sensibilité à la lumière et de l'humidité) pourraient être nécessaires. Il est important de suivre les progrès réalisés, en vue de résoudre les problèmes, de construire sur les développements, et d'enregistrer les succès et les échecs. Les impacts socio-économiques doivent être examinés, par exemple qui en profite et comment les revenus ou le temps supplémentaire sont répartis au sein des ménages ou des entreprises.

Exigences institutionnelles et organisationnelles

Les règlements de santé et de sécurité et les directives de contrôle de qualité devraient être élaborés par l'autorité nationale compétente. La formation standardisée et les inspections peuvent également être effectuées par un organisme gouvernemental.

Coûts et besoins financiers

Le tableau 4.18 présente les coûts relatifs aux différentes techniques de stockage traditionnelles et modernes. Les coûts varient selon les méthodes de stockage. Si le produit est destiné à la consommation, plutôt qu'à la vente, des investissements importants dans de nouvelles techniques de stockage ne seront pas rentables. D'autre part, si la quantité de nourriture pour la vente augmente, l'investissement peut être remboursé au fil du temps. Le calcul du bénéfice existant et le bénéfice potentiel résultant de l'adoption d'une nouvelle technique de stockage sont utiles pour les entreprises pour estimer la période dans laquelle elles pourront avoir remboursé leur investissement initial. Les sommes que les gens sont prêts à investir dépendent en partie de qui est propriétaire des équipements et des installations. Dans certains cas, les agriculteurs investiront dans une nouvelle technique s'ils sont seuls propriétaires des nouvelles installations, dans d'autres cas, les facilités de stockage peuvent être des biens collectifs et ainsi les coûts peuvent être partagés. L'accès au crédit est souvent tributaire de l'endroit où les gens vivent, les niveaux d'éducation et s'ils peuvent payer les garanties. L'adoption de nouvelles méthodes de stockage pour les petits producteurs sera possible s'ils bénéficient de cours d'alphabétisation et de calcul, et peut-être une sorte de formation de groupe.

Facteurs entravant la mise en œuvre

Une contrainte commune est que les produits doivent être vendus immédiatement pour payer les dettes aux propriétaires fonciers ou aux créanciers. C'est la raison la plus répandue qui rend l'investissement dans les nouvelles techniques de stockage impossible. Le temps supplémentaire pour la construction et l'entretien des installations de stockage ne sera perçu comme utile que si l'augmentation du revenu est suffisante.

Facteurs favorisant la mise en œuvre

Avant de se lancer dans la mise en place d'une nouvelle technique de stockage, il est important d'évaluer la nécessité d'amélioration. IT Publications et UNIFEM (1995) suggèrent une grille d'évaluation des possibilités qui peuvent être discutées avec les producteurs au cours d'une évaluation préliminaire:

- Problèmes avec les techniques de stockage existantes
- Inconvénients des techniques de stockage existantes
- Possibilité de stockage amélioré pour la réduction des pertes de produits/possibilité d'augmentation de la qualité des produits pour la vente ou la consommation par une meilleure conservation
- Possibilité de garder le surplus de production stocké à l'abri plutôt que de devoir le vendre immédiatement
- Possibilité de vendre tout produit supplémentaire
- Les bénéfices grâce à l'amélioration du stockage
- le temps nécessaire pour l'apprentissage des techniques améliorées, pour la collecte des matériaux et pour l'accès aux nouveaux équipements/l'argent nécessaire pour l'achat des matériaux de stockage
- L'accès à de nouvelles connaissances techniques et les compétences nécessaires pour l'application, le maintien et l'utilisation de la nouvelle technique
- Avantages des investissements en temps, en argent et en efforts nécessaires pour l'amélioration du stockage

Étude de cas

Encadré 4.38 Expérience du Kenya (l'entreposage dans un récipient à fermeture étanche avec la cendre de bouses de vache augmente la longévité des graines/semences)

Dans une enquête de base réalisée dans les districts de Siaya et Busia à l'ouest du Kenya, le stockage a été identifié comme un problème prioritaire face à la production de semences agricoles. Environ 80 pour cent des agriculteurs produisent et stockent leurs propres semences pour les semis des prochaines plantations. Ainsi, une expérience a été mise en place pour améliorer l'efficacité des méthodes traditionnelles de stockage des graines de maïs. Les méthodes traditionnelles impliquent par exemple l'accrochage des épis de maïs au-dessus de la cheminée ou leur stockage dans des sacs de jute avec la cendre de bouses de vache pour le traitement des semences. Ces méthodes ont été comparées avec le traitement des semences qui utilisent un protecteur de semences moderne et de la cendre de bouses de vache, stockés dans des contenants hermétiques. Les résultats indiquent que les méthodes traditionnelles étaient moins performantes. Avec les méthodes de stockage traditionnelles, les graines de maïs, après un stockage de trois à six mois, étaient moins bien conservées et on notait des dégâts plus élevés dus aux insectes. Les épis suspendus au-dessus de la cheminée ont connu les dégâts d'insectes les plus élevés, environ 99 pour cent plus élevés que les dommages enregistrés pour les semences traitées avec de la cendre et stockées dans des contenants de plastique hermétiques. En outre, ces graines subissaient une augmentation significativement plus élevée de la teneur en humidité. Le meilleur traitement est le stockage dans des contenants hermétiques avec soit la cendre moderne soit la cendre de bouse de vache.

Cette étude a conclu que le stockage hermétique doit être utilisé pour concevoir des conteneurs de stockage des semences à faible coût pour les agriculteurs pauvres pour leur garantir une meilleure qualité des semences. Elle montre également que la bouse de vache, qui est disponible gratuitement dans la plupart des fermes, est un bon protecteur de semences et est efficace dans le maintien de la qualité des semences. Les cendres de bouse de vache doivent donc être combinées avec un stockage hermétique pour augmenter la longévité des semences.

Source: Wambugu *et al*, 2009

Encadré 4.39 Des techniques améliorées pour réduire les pertes après récolte en Afghanistan

Dans la région nord de l'Afghanistan, où plus de la moitié des céréales du pays sont produites, de nombreux agriculteurs stockent leur récolte dans des sacs en plastique et de la fibre ou dans des bâtiments agricoles, sans plancher adapté, sans portes et sans fenêtres. Ceci n'offre qu'une protection limitée et les pertes post-récolte sont importantes. Le gouvernement a demandé l'appui de la FAO pour la fourniture de silos aux communautés agricoles pour le stockage des céréales. Avec des fonds fournis par l'Allemagne, la FAO a mis en œuvre un projet entre 2004 et 2006, ayant comme objectifs la réduction des pertes post-récolte et le renforcement des capacités techniques des ferblantiers, forgerons et des artisans locaux pour la construction de silos à graines métalliques. Sept principales provinces productrices de céréales ont été choisies comme domaine d'intervention. Le personnel technique du ministère de l'Agriculture et des ONG ont formé 300 artisans locaux dans la fabrication de silos, et des contrats avec plus de 100 ferblantiers, qui ont construit des silos métalliques allant de 250 à 1 800 kg de capacité, ont été conclus. Le projet a également supervisé la construction d'entrepôts de céréales à usage communautaire dans 12 sites et les bénéficiaires ont été formés sur la meilleure façon d'exploiter et de gérer les installations. On a trouvé que l'utilisation des silos métalliques a réduit la perte de stockage de 15 à 20 pour cent à moins de 1 à 2 pour cent, les graines étaient d'une qualité supérieure (comme elles sont protégées des insectes, des souris et contre la moisissure) et pouvaient être stockées pendant plus longtemps. Sur la base des formations reçues, les ferblantiers, forgerons et artisans fabriquent maintenant des silos et peuvent exploiter leur savoir-faire comme une activité rentable.

Source: FAO, 2010; 3

Encadré 4.40 Entreposage à lumière diffuse

Le stockage à lumière diffuse (DLS, acronyme anglais) est une méthode à faible coût de stockage des semences de pommes de terre qui prolonge leur durée de conservation et améliore leur productivité. Le stockage DLS utilise la lumière indirecte naturelle, au lieu de basses températures, pour contrôler la croissance excessive des germes et les pertes associées (POUR 2010). Le stockage DLS peut être utilisé afin de préserver toute semence de tubercules dans le monde entier.

Pourvu que la lumière directe du soleil puisse être contrôlée, tout type d'installation de stockage de pommes de terre existant peut être converti en stockage DLS, il n'est pas nécessaire de construire de nouvelles infrastructures. Il existe de nombreuses options de conception parce que toute conception utilisée par les agriculteurs est bonne aussi longtemps que le principe de stockage DLS est adopté (Community Development Library, 2010). Les agriculteurs ont tendance à ne pas construire de nouveaux magasins, mais préfèrent modifier les constructions existantes pour répondre à leurs besoins et budgets (POUR 2010). Toute modification des installations de stockage des pommes de terre existantes pour les convertir en magasins de stockage DLS doit être peu coûteuse et facile à réaliser, afin que les investissements soient proportionnels aux salaires et à l'achat de semences.

Alors que la littérature scientifique a depuis longtemps consacré des publications sur le principe qui consiste à ce que la lumière réduise la croissance des germes de pomme de terre, le Centre International de la Pomme de terre au Pérou (CIP) a lui adapté la technologie pour que les agriculteurs des pays en développement puisse l'utiliser. Le CIP a testé des modèles de structures DLS dans la communauté de Benguet aux Philippines. Depuis son introduction en 1978, le stockage DLS a été rapidement adopté. Les critères de base pour une structure DLS sont les suivants: un toit isolé, des parois translucides, et une ventilation adéquate. L'adoption du stockage DLS dans certains autres pays en développement dont le Guatemala et le Sri Lanka a été extrêmement similaire (FADE, 2010).

En général, Le stockage DSL a donné des résultats positifs dans les pays en développement qui dépendent de la pomme de terre comme culture de base (POUR 2010). Cette technique permet de sécuriser une source de graines de tubercules pour faire face à des conditions climatiques incertaines dans lesquelles une augmentation ou une chute brutale de la température (gel) augmenterait le risque de détérioration des graines de tubercules. Le stockage DSL aide également à contrôler les fléaux qui affectent les tubercules. En outre, un excédent peut être produit afin que les agriculteurs puissent avoir accès au marché et ainsi générer plus de revenus pour d'autres activités et répondre aux besoins des populations locales.

Source: FADR, 2010 et Community Development Library, 2010

4.5 Gestion durable du bétail

Les systèmes d'élevage dans les pays en développement sont caractérisés par une évolution rapide, en raison de facteurs tels que la croissance de la population, l'augmentation de la demande pour les produits de l'élevage au fur et à mesure que les revenus augmentent, et en raison de l'urbanisation. Le changement climatique s'ajoute aux défis de développement considérables posés par ces facteurs de changement. La fréquence croissante de périodes de chaleur, de la sécheresse et des inondations pourrait se traduire par la propagation de maladies transmises par des vecteurs existants et des macro-parasites, ou par l'émergence de nouvelles maladies et modèles de transmission (FIDA, 2009). Les pratiques de gestion durable de l'élevage sont nécessaires pour que les éleveurs puissent profiter de la demande croissante de

produits de l'élevage (lorsque cela est possible) et de protéger leurs actifs face aux changements et face au climat de plus en plus variable.

4.5.1 Gestion des maladies du bétail

Définition

Les maladies du bétail sont un problème important pour les systèmes d'élevage. Il s'agit notamment du bien-être des animaux, des pertes de productivité, de la sécurité alimentaire incertaine, des pertes de revenus et des effets négatifs sur la santé humaine. La gestion des maladies animales peut réduire les maladies grâce à l'amélioration des pratiques d'élevage. Il s'agit notamment: de la reproduction contrôlée, du contrôle des entrées à la ferme, de la mise en quarantaine des animaux malades et de l'élaboration et de l'amélioration des antibiotiques, vaccins et outils de diagnostic, de l'évaluation des options thérapeutiques, et de la lutte anti-vectorielle.

Description

La gestion des maladies est composée de deux éléments clés:

- La prévention (biosécurité) dans les troupeaux sensibles
- Les mesures de lutte prises une fois qu'une infection apparaît

La probabilité d'infection dépend des pratiques agricoles existantes (prévention) ainsi que des taux de prévalence dans les populations hôtes dans la zone concernée. Si la prévalence dans une région augmente, la probabilité d'infection augmente aussi.

Mesures de prévention

Prévenir l'apparition et la diffusion de maladies est la façon la plus efficace et rentable (Wobeser, 2002). Alors que de nombreuses approches de gestion sont spécifiques aux types de maladies, l'amélioration de la réglementation des mouvements du bétail peut fournir une protection plus large. Un programme standard de prévention de la maladie qui peut s'appliquer dans tous les contextes n'existe pas. Mais il y a certains principes de base qui doivent être impérativement respectés. Les pratiques suivantes aident dans la prévention de la maladie:

- Élaboration d'un programme de santé animale
- Sélection d'une source fiable et connue pour l'achat des animaux, un vendeur qui peut garantir un bétail en bonne santé, de nature vigoureuse et développé dans un but précis. Les nouveaux animaux doivent être surveillés avant d'être introduits dans le troupeau.
- Une bonne hygiène, y compris de l'eau potable et des bons produits d'alimentation
- Calendrier de vaccination précis pour chaque cheptel
- Observation des animaux afin de détecter des signes de maladie, et obtenir un diagnostic précoce et fiable pour pouvoir appliquer le meilleur traitement, dans le but de l'éradication de la maladie
- Élimination de tous les animaux morts par incinération, enfouissement profond, ou dans une fosse d'évacuation
- Suivi du troupeau ou de la santé du troupeau, y compris l'historique des vaccinations, des problèmes de maladies et des médicaments prescrits.

Mesures de suivi et de contrôle

Le suivi des maladies permet l'identification de nouvelles infections et des modifications à celles existantes. Ceci implique la déclaration des maladies et la soumission d'échantillons par les propriétaires de bétail, le personnel vétérinaire du village ou de district, et par les agents vétérinaires provinciaux. La méthode utilisée pour lutter contre une épidémie dépend de la gravité de l'épidémie. Dans le cas d'une épidémie, la connaissance sur les emplacements précis de tous les animaux est essentielle pour mettre en place des mesures efficaces pour contrôler et éradiquer les virus contagieux. Des restrictions de déplacements d'animaux peuvent être nécessaires ainsi que leur quarantaine et, dans les cas les plus extrêmes, leur abattage. Les figures 4.16 et 4.17 sont des photos illustrant l'approche holistique de la prévention et du contrôle des maladies du bétail

Figures 4.16 et 4.17 Approches holistiques pour la prévention et le contrôle des maladies



Gauche: Femme et homme participant à un stage sur la façon d'améliorer la santé de leurs chèvres en milieu rural – Soudan

Source: o Mohammed Salih, Practical Action

Droite: Homme immunisant une chèvre immobilisée par une femme – Bangladesh

Source: Zul Mukhida, Practical Action

La technologie et sa contribution au changement climatique

Les principaux impacts du changement climatique en ce qui concerne les maladies du bétail ont été sur les maladies vectorielles. La hausse des températures a soutenu l'expansion des populations de maladies vectorielles dans les zones plus froides. Ces zones plus froides peuvent être soit des systèmes de hautes altitudes (par exemple, maladies transmises par les tiques) ou des zones plus tempérées (par exemple, l'épidémie de fièvre catarrhale du mouton en Europe du Nord). Les changements dans le régime des précipitations peuvent également influer sur l'expansion des maladies vectorielles au cours des années humides et peuvent mener à de grandes épidémies. Les changements climatiques pourraient également influer sur la prévalence des maladies par des changements dans la distribution du bétail. L'amélioration du contrôle des maladies du bétail est donc une technologie efficace pour l'adaptation au changement climatique.

Avantages

Les avantages de la prévention et du contrôle des maladies du bétail comprennent: l'augmentation de la production (comme les taux de morbidité et de mortalité sont abaissés et l'abattage anticipé est réduit), et l'élimination des coûts par des contrôles antérieurs. Les agriculteurs peuvent atténuer les maladies par la prévention ou le contrôle, ils en bénéficient non seulement eux-mêmes, mais aussi d'autres personnes à risque d'effets indésirables. Les populations à risque incluent les résidents, les visiteurs et les consommateurs, et peuvent également inclure la faune locale qui peut avoir un contact direct ou indirect avec le bétail ou des produits liés à l'élevage.

Désavantages

Les différentes techniques de gestion peuvent interagir, donc l'utilisation d'une technique peut diminuer l'efficacité d'une autre. Une autre question cruciale est la viabilité à long terme des stratégies actuellement utilisées. Les stratégies d'interventions chimiques telles que les antibiotiques ou vaccins ne sont pas biologiquement durables. Les animaux développent une résistance aux médicaments utilisés pour contrôler certains virus et avec chaque nouvelle génération de vaccin, une nouvelle et plus virulente souche du virus peut survenir (Tanji et Kielen 2002). Les petits producteurs peuvent être négativement affectés par la gestion des maladies du bétail si le coût total du programme de gestion de la maladie doit directement être supporté par eux, sans subvention du gouvernement (FAO, 2003a).

Coûts et besoins financiers

Les coûts pour la gestion des maladies du bétail comprennent: le dépistage et le contrôle, les services vétérinaires, les vaccins, la formation des éleveurs et du personnel vétérinaire, et éventuellement les coûts pour les changements nécessaires des installations pour les quarantaines lorsque des animaux sont ajoutés au troupeau. Les coûts d'un programme de gestion de mammite pour un petit élevage au Pérou figurent dans l'encadré 4.41.

Encadré 4.41 Contrôle des mammites

Une technique à faible coût applicable à un large éventail d'élevages (bovin, ovin et caprin) est le contrôle de la mammite. La mammite est une maladie infectieuse causée par des micro-organismes pathogènes en raison de pratiques de traite inadéquates ou de blessures aux mamelles. C'est l'une des maladies qui causent la plupart des pertes financières dans la production de lait. Dans des conditions de variabilité croissante du climat, l'émergence de nouveaux ravageurs et maladies peut introduire des organismes envahissant dans l'environnement du bétail. Il est donc essentiel que les éleveurs soient en mesure d'identifier et de prévenir les mammites afin de maintenir les animaux en bonne santé qui, à leur tour, sont plus capables de résister à des conditions météorologiques défavorables telles que des sécheresses prolongées ou gelées sévères.

Les exigences de suivi pour le contrôle de la mammite comprennent:

- La formation des producteurs sur le diagnostic de la mammite, les pratiques d'hygiène de traite, l'utilisation de suspension intramammaire, le traitement clinique des mammites, les registres de contrôle
- Les organisations ou les institutions doivent former des agents de vulgarisation ou des techniciens qui sont formés dans le processus de contrôle de la mammite
- La surveillance et les contrôles réguliers sont nécessaires pour la prévention de la mammite.

Contd...

Également indispensables pour la mise en œuvre de cette technique:

- Le test de mammite de Californie (CMT, acronyme anglais) aussi appelé « the black background rate ». Très facile à utiliser pour les agriculteurs car les résultats sont immédiats et le coût est relativement bas
- De la suspension intramammaire pour protéger la mamelle contre les germes de la mammite
- Des conteneurs propres et désinfectés, vêtements et machines à traire mécaniques
- Des registres de traite qui devraient contenir des informations de base comme le nom de l'animal, la date, le nom de la personne qui a traité l'animal, les chambres examinées, la preuve de la mammite, la densité et l'acidité du lait

Les conditions institutionnelles et organisationnelles doivent également être prises en compte: les établissements de soins de santé et les organisations de producteurs devraient mener des campagnes d'assainissement, organiser des ateliers de formation et fournir une assistance technique sur le contrôle de la mammite, utilisant des matériaux d'information adéquats et faciles à lire comme les dépliants ou les prospectus. Les coûts et les besoins financiers sont relativement faibles. La CMT coûte environ 25 USD et peut durer environ six mois pour une moyenne de trois vaches par agriculteur. Le coût de la suspension intramammaire est d'environ 30 USD.

Dans un projet mis en œuvre par Practical Action Amérique latine, dans la province de San Miguel, dans la région de Cajamarca, au Pérou, deux centres de services d'élevage ont été créés. Ces centres regroupent les agents de vulgarisation qui avaient participé à un programme de formation sur la gestion de l'élevage, la santé animale, l'alimentation animale, l'amélioration génétique, la gestion d'entreprise, et les technologies de l'information et de la communication. Cela leur a permis d'offrir une formation et une assistance technique dans leurs communautés respectives (22 communautés différentes). À l'heure actuelle, 22 agents de vulgarisation fournissent des services à plus de 450 éleveurs pour tout ce qui concerne les problèmes affectant les bovins laitiers et le contrôle de la mammite et l'analyse du lait; l'hygiène de la traite; la tenue de registres de contrôle du lait et des bovins laitiers. Cette pratique de contrôle de la mammite a été appliquée dans 50 pour cent des fermes laitières, l'amélioration de la qualité du lait et l'augmentation de la production est de 10 pour cent.

Source: Préparé pour ce livret par Juan Vargas de Practical Action Amérique Latine

Les coûts de prévention et de contrôle sont généralement évalués par rapport aux pertes financières attendues en cas d'apparition d'une maladie dans une analyse coûts-avantages. L'hypothèse est que l'augmentation des coûts de prévention et de contrôle diminue les pertes attendues d'une infection. McInerney et al (1992) présentent le problème graphiquement comme un problème de minimisation des coûts:

$$\min C = L + E$$

Où C est le coût annuel total de la maladie, L est la valeur des pertes de production, et E sont les dépenses pour le contrôle (qui elles-mêmes sont une fonction des intrants achetés pour le contrôle).

Connaissances et suivi requis

Pour que les producteurs puissent prendre des décisions éclairées concernant la gestion de la maladie, ils doivent comprendre les options dont ils disposent. Ces options dépendent de la maladie, des techniques de prévention, des tests d'infection et de leurs coûts, des traitements disponibles, du marché, ainsi que des programmes de l'industrie et du gouvernement. Les différences entre les maladies comprennent les modes de transmission, l'évolution de la maladie (par exemple, la durée de la période de contagiosité), les pertes de production liées à la maladie, et le taux de mortalité.

La formation pratique pour les agriculteurs devrait inclure:

- Les principes de l'anatomie et de la physiologie des animaux d'élevage
- Les principes de la nutrition et l'écologie des pâturages
- Les maladies d'importance locale: signes cliniques et post mortem, l'épidémiologie, la prévention, le traitement, les premiers soins, l'utilisation de médicaments vétérinaires de base (traitements de la plaie, bains, vermifuges, des antibiotiques, trypanocides, babesiacides, les vaccins, les soins et le stockage des médicaments et vaccins, et l'utilisation et l'entretien de seringues)
- Les principes de base de campagnes de séro-surveillance – comment prélever du sang et du sérum

La modélisation des apparitions et de la propagation des épidémies peut fournir des informations précieuses pour le développement de stratégies de gestion. La modélisation consiste à étudier la répartition et la propagation des maladies afin de déterminer l'ampleur du problème. Cette information est utilisée pour développer un modèle qui peut prédire la propagation de la maladie. La modélisation de la maladie nécessite une connaissance préalable des animaux, de la répartition de la population et de l'écologie, des maladies actuelles et des méthodes de transmission de la maladie. La modélisation peut être utilisée pour évaluer les impacts potentiels des maladies et pour développer des plans d'urgence.

Les logiciels de systèmes d'information géographiques (SIG) peuvent jouer un rôle important dans la gestion des maladies. L'avantage principal des logiciels SIG n'est pas seulement le fait que les utilisateurs puissent voir comment une maladie est répartie géographiquement parlant, mais que la maladie qui touche l'animal puisse être comparée à d'autres informations. Par exemple, des cartes qui montrent les impacts possibles du changement climatique sur les précipitations, les rendements ou les inondations. La présence de la maladie peut alors être mise en cause par ces facteurs, et les relations de cause à effet peuvent être facilement lisibles de manière visuelle. Ceci est important au niveau de la gestion et de la réponse aux changements de la distribution des maladies qui sont dus au changement climatique (FAO, 1999). L'importance des connaissances traditionnelles dans la gestion des maladies du bétail dans le cadre du changement climatique est montrée dans l'encadré 4.42.

Encadré 4.42 Le rôle des savoirs traditionnels dans la gestion de la maladie du bétail sous l'influence du changement climatique

Les connaissances traditionnelles de la gestion des maladies du bétail se sont avérées, dans certains cas, plus rentables, durables, écologiques et pratiques. Ces pratiques comprennent:

- L'utilisation des remèdes faits de plantes locales pour la prévention et la guérison de maladies
- Éviter certains pâturages à des moments particuliers de l'année; et ne pas rester trop longtemps au même endroit pour éviter l'accumulation de parasites
- La fumée du feu pour repousser les insectes, les mouches tsé-tsé en particulier
- Le mélange des espèces dans le troupeau pour éviter la propagation de la maladie
- Éviter les zones infectées; distribution du bétail entre les différents troupeaux pour minimiser les risques; et mise en quarantaine des animaux malades
- La reproduction sélective. Comme un exemple de la région aride du sud de la Zambie le montre bien, le repeuplement et la promotion de l'élevage de races de chèvres résistantes à la sécheresse sont des mesures d'adaptation déjà entreprises.

Source: Niamir-Fuller, 1994; Moonga et Chitambo, 2010; Environmental Council of Zambia, 2009

Exigences organisationnelles et institutionnelles

Les pays devraient coopérer pour mettre en place des programmes transfrontaliers de prévention de propagation des maladies, en formant des organisations ou des réseaux formels. Les pays voisins ont souvent des systèmes de production et des profils de risque similaires et seront donc plus susceptibles d'être affectés par des impacts du changement climatique similaires en ce qui concerne les maladies du bétail. Il y aura des avantages mutuels et des économies de coûts grâce à la planification de la préparation conjointe de programme de prévention. Les politiques publiques comprennent les primes/indemnités pour le bétail infecté, le dépeuplement des troupeaux, la décontamination des fermes, la décentralisation des services vétérinaires et l'approvisionnement en médicaments. La politique de la santé animale et du bétail devrait être orientée vers les secteurs commerciaux et pastoraux et devrait soutenir les populations les plus vulnérables. Les investissements gouvernementaux dans les infrastructures (comprenant les systèmes d'alerte précoce, les routes, les abattoirs, les enclos, les usines de transformation, le fret aérien/les ports, etc.), dans la vaccination systématique, et dans la recherche et le développement, peuvent contribuer à offrir un environnement propice à la gestion efficace des maladies du bétail. Le retrait ou l'introduction de subventions pour l'amélioration de la gestion des systèmes d'assurance et pour soutenir les pratiques de diversification des revenus pourraient bénéficier aux efforts d'adaptation (FIDA, 2009).

Facteurs entravant la mise en œuvre

Un manque d'institutions solides et d'une volonté politique forte pour contrôler l'état de la maladie est un obstacle considérable à la gestion efficace des maladies du bétail. Les difficultés dans l'éradication des maladies peuvent également être exacerbées par les petits producteurs démunis, les animaux sauvages infectés, la contrebande et les combats de coqs (FAO, 2003). S'il n'y a pas de compensation pour éradiquer la maladie par l'abattage, les producteurs, en particulier les petits producteurs, peuvent être réticents à participer. S'ils participent, cela peut signifier pour eux qu'ils ne peuvent plus se permettre de produire (FAO, 2003).

Facteurs favorisant la mise en œuvre

Lorsque les organismes responsables de maladies deviennent résistants aux vaccins ou un animal devient résistant à une certaine maladie, il y a une possibilité d'intégrer des approches génétiques simples telles que l'élevage sélectif. La planification nationale pour la gestion des maladies du bétail est aussi une occasion d'améliorer les services de soutien à l'agriculture dans les zones rurales et d'intégrer les connaissances autochtones dans les plans de prévention et de contrôle officiels, déverrouillant ainsi le potentiel des interventions à faible coût et de la diffusion de l'information sur les expériences traditionnelles à une plus large audience. La collaboration transfrontalière peut fournir l'occasion de renforcer les services vétérinaires et peut améliorer l'efficacité des programmes de gestion des maladies grâce à l'harmonisation des mesures de prévention et de contrôle.

Exemple concret d'application

Encadré 4.43 Contrôle des maladies des animaux liées aux changements climatiques: fièvre de la vallée du Rift

Il y a de fortes corrélations entre la fièvre de la vallée du Rift (FVR) et le changement climatique. L'augmentation des taux de précipitations conduit à une augmentation de l'émergence d'espèces de moustiques porteurs de la maladie de la FVR. « La récente épidémie de fièvre de la vallée du Rift à Madagascar en 2008 fournit un exemple de la façon dont les principes et les outils tels que la détection rapide de la maladie, l'alerte précoce et l'intervention précoce peuvent être utilisés pour le contrôle des maladies émergentes. Le virus, qui provoque de fortes pertes de bétail et qui représente également une grave menace pour la santé humaine, a été retrouvé dans des échantillons tests qui ont déclenchés une vaste enquête nationale sur l'élevage et la mise en place de systèmes de surveillance. Le dépistage sentinelle des troupeaux dans 13 endroits a été organisé par les services vétérinaires privés locaux afin d'exercer une surveillance sur le terrain et d'effectuer des visites hebdomadaires aux communautés. Des moustiques et autres échantillons ont été collectés dans les zones infectées afin d'identifier les vecteurs des maladies. Pour prévenir la contamination humaine, des campagnes d'information ont été organisées et des équipements de protection ont été distribués aux professionnels travaillant dans les abattoirs. En automne 2008, un mois après la première formation, un vétérinaire dans une région éloignée a lancé une alerte. La mise en œuvre de mesures locales immédiatement après la détection des premiers cas a empêché l'épidémie de se propager à d'autres domaines ».

Source: EMPRESS, 2010

4.5.2 Élevage sélectif via un accouplement contrôlé

Définition

La composition génétique influe sur la condition physique et la capacité d'adaptation et détermine la tolérance d'un animal à des chocs tels que les températures extrêmes, la sécheresse, les inondations, les ravageurs et les maladies. L'adaptation à des environnements difficiles exige la tolérance à la chaleur et la capacité d'un animal de survivre, grandir et se reproduire malgré une nutrition pauvre et la présence de parasites et maladies. L'élevage sélectif est une technologie qui vise à améliorer la diversité génétique animale. Cette technologie peut être appliquée à tous les types de bétail, y compris les bovins, moutons, chèvres, alpagas et cobayes. Comme, au fil du temps, des progrès ont été réalisés au niveau des techniques et méthodes de mesure pour estimer le potentiel génétique d'un animal, la valeur et l'efficacité de la reproduction sélective en tant qu'outil, ont également augmenté. Au cours du dernier demi-siècle, la reproduction sélective a permis de réaliser des améliorations spectaculaires en ce qui concerne la productivité des espèces de bétail, et en matière de santé et bien-être du bétail et d'autres animaux.

Description

L'élevage sélectif est l'élevage systématique des animaux afin d'améliorer leur productivité et d'autres caractéristiques clés. Diverses méthodes de reproduction sélective existent, allant de procédés coûteux de haute technologie, tels que la fécondation in vitro ou le génie génétique, à des techniques plus simples et peu coûteuses qui s'appuient sur la sélection et l'accouplement contrôlé des animaux en fonction de caractéristiques observables. Les traits clés de reproduction associés à la résilience et à l'adaptation au

changement climatique comprennent la tolérance thermique, un besoin réduit en alimentation de qualité, un taux de survie de la progéniture élevé, la résistance aux maladies, la bonne condition physique et la morphologie des animaux (Oseni et Bebe, 2010; Hoffman, 2008). En général, les pays en développement ont une faible capacité de programmes de sélection de haute technologie pour accroître l'adaptation de l'élevage (FIDA, 2009). Par conséquent, les programmes basés sur des méthodes d'accouplement contrôlé sont susceptibles d'être plus appropriés. Ces programmes ne produisent généralement pas d'améliorations immédiates. Des améliorations ne sont généralement pas vues pendant au moins une saison de croissance, donc un producteur de bétail doit être en mesure d'intégrer la planification à long terme dans ses stratégies de gestion de la production. Ces mesures pourraient inclure: (i) l'identification et le renforcement des races locales qui se sont adaptées aux contraintes climatiques locales et aux sources d'alimentation et (ii) l'amélioration de la génétique locale par accouplement avec des races tolérantes à la chaleur ou aux maladies (Hoffman, 2008).

Il existe trois approches principales de la reproduction sélective:

Outcrossing (introduction de nouvelles lignées)

L'accouplement de deux animaux qui ne sont pas apparentés, sur au moins quatre à six générations en arrière, est appelé accouplement « outcross ». Cette méthode fonctionne mieux lorsque la variation génétique pour un trait est élevée. Lorsque les gènes dominants sont ceux souhaitables, le croisement fonctionne parfaitement bien. Un des avantages de l'accouplement « outcross » est qu'il cache les traits indésirables en les gardant récessifs. L'accouplement « outcross » améliore les traits génétiques en matière de capacité physique tels que la capacité de reproduction, la production de lait, la survie de la progéniture et la longévité.

La reproduction en lignée

L'accouplement d'animaux de la même lignée tels que les demi-frères/demi-sœurs, cousins, cousines, tantes/neveux, ou autres relations plus distantes. Cela se fait habituellement pour capitaliser sur un ancêtre commun qui semble remarquable. Il y a un degré plus élevé d'uniformité que pour la reproduction croisée, mais aussi un risque plus réduit de défauts génétiques nocifs que pour la consanguinité.

Consanguinité

Cette méthode de reproduction implique l'accouplement d'animaux directement apparentés, comme le couple mère/fils, père/fille ou frère/sœur. Cette méthode est généralement utilisée pour créer l'uniformité et la prépotence (capacité de transmettre leur génotype et phénotype à la descendance) et pour éliminer les faiblesses latentes du patrimoine génétique. Toutefois, les gènes récessifs sont un facteur plus important que les gènes dominants en ce qui concerne les défauts génétiques, il y a donc un risque élevé d'avoir une descendance avec des défauts génétiques. La consanguinité réduit le nombre de gènes disponibles et peut causer l'extinction de certaines lignées. Les traits de santé physique sont particulièrement à risque avec ce système de sélection.

Comment la technologie contribue à l'adaptation

La reproduction sélective par accouplement contrôlé permet aux agriculteurs d'élever des animaux qui sont plus résistants aux impacts du changement climatique, tels que les changements brusques de température, les sécheresses prolongées ou l'apparition de nouvelles maladies. Elle peut réduire les taux

de mortalité, augmenter les taux de fécondité, et peut également être utilisée pour améliorer la qualité des produits de l'élevage tels que le lait ou la fibre. En conséquence, les producteurs de bétail sont à un risque plus faible de perdre des animaux face aux impacts des changements climatiques et ils sont également capables de diversifier leurs activités génératrices de revenus, en capitalisant sur les produits laitiers de qualité ou la production de fibres.

Avantages

Les avantages spécifiques de la reproduction sélective par accouplement contrôlé sont les faibles coûts de mise en place et d'entretien une fois la stratégie établie, et la permanence et la constance de l'effet. En outre, l'accouplement contrôlé peut préserver les races locales et rares qui pourraient être perdues à la suite d'épidémies de maladies liées au changement climatique.

Désavantages

L'une des principales limites de cette technique est que la reproduction sélective de certains gènes risque de réduire ou d'éliminer d'autres gènes du pool génétique, un processus qui est irréversible. Cela peut créer de nouvelles faiblesses chez les animaux, en particulier avec l'émergence d'un nouveau parasite ou d'une nouvelle maladie. Selon les traits des animaux choisis, l'élevage sélectif ne conduit pas toujours à des taux de productivité plus élevés.

Connaissances et suivi requis

La connaissance des impacts climatiques actuels sur le bétail est importante pour la définition des traits souhaitables. Quand ils sont disponibles, les pronostics sur les scénarios de changements climatiques faciliteront les processus de planification déterminant les futurs impacts possibles sur les animaux d'élevage. Les éleveurs ont besoin d'être formés pour tenir des registres, identifier les femelles en chaleur, identifier les traits clés parmi les animaux, assurer une bonne qualité d'eau et de nourriture pour leur bétail, et construire des infrastructures pour l'accouplement contrôlé. L'institution d'exécution, de préférence la communauté locale, doit avoir un technicien ayant une bonne connaissance du processus d'accouplement contrôlé, qui puisse être capable de l'expliquer clairement aux producteurs sans les encourager à réduire le nombre d'animaux qu'ils gardent, et capable de reconnaître la nécessité de créer un noyau de bétail de bonne qualité. Il est nécessaire de surveiller l'application de cette technologie dans chaque groupe d'animaux et d'examiner les progrès accomplis en examinant les dossiers des producteurs.

Pour mettre en œuvre cette technologie, des cages d'accouplement faites de torchis, de pierre ou de maillage sont nécessaires. Les cages d'accouplement pour les bovins sont les plus chères. Les petits animaux peuvent s'accoupler dans des enclos d'accouplement en bois. Le matériel nécessaire à l'identification des animaux, tel que les étiquettes d'oreille ou la peinture, est nécessaire pour surveiller les animaux. Il est également nécessaire de tenir des registres contenant des informations de base sur le bétail (âge, sexe, couleur), les données de contact (dates, nombre, temps), les détails de la progéniture (père, mère, couleur et autres données de base), l'abattage des animaux, les prix de vente de la viande, des peaux, de la viande séchée, et des fibres, etc.

Exigences organisationnelles et institutionnelles

Les institutions gouvernementales peuvent apporter un soutien aux programmes d'élevage sélectif en facilitant l'accès à l'information et en fournissant un appui technique. Il est important pour les gouvernements

de coordonner leurs activités étroitement avec celles des communautés autochtones afin de bénéficier de leurs connaissances accumulées au fil des décennies sur l'élevage pastoral traditionnel. Les systèmes d'information nationaux peuvent être utilisés pour surveiller les menaces causées par le changement climatique et pour développer des techniques de modélisation prédictive et des systèmes d'alerte précoce. Les gouvernements devraient élaborer des politiques visant à renforcer les stratégies d'adaptation des éleveurs, de leurs institutions locales et leurs connaissances sur l'écologie. Les gouvernements peuvent offrir des incitations financières pour la reproduction et l'élevage de races qui sont plus résistantes au changement climatique, la promotion et la commercialisation des produits issus de ces races, et fournir l'infrastructure nécessaire à la reproduction sélective. Les institutions gouvernementales devraient également envisager d'importer de nouveaux pools génétiques avec une plus grande résistance aux températures élevées, par exemple, si la capacité d'adaptation trouvée dans le pool génétique local est limitée.

Coûts et besoins financiers

Les coûts et les besoins financiers dépendront des espèces et des régions. Cependant, l'élevage contrôlé est en général une technique à faible coût. Si les pierres sont localement disponibles et peuvent être utilisées pour construire des enclos d'accouplement, un investissement moyen sera d'environ 30 USD. Dans les régions où les sols sont argileux, des briques d'adobe peuvent être utilisées, à un coût moyen de 90 USD. Dans de nombreux cas, le maillage a été la solution choisie, avec un investissement moyen de 200 USD pour chaque cage d'accouplement.

Facteurs entravant la mise en œuvre

Il y a des lacunes dans les connaissances sur la façon dont les différentes races réagissent aux conditions engendrées par le changement climatique. La FAO (2007a; 2006) a créé une liste de nombreuses espèces et races locales qui sont déjà adaptées à des températures élevées et à des conditions difficiles, ou qui sont résistantes ou tolérantes face à diverses maladies. Cependant, beaucoup de ces rapports sont basés sur des preuves anecdotiques plutôt que sur des études scientifiques, et les mécanismes physiologiques et génétiques sous-jacents ne sont pas bien compris. Il est donc difficile de prédire les effets des changements climatiques ou de développer des stratégies d'adaptation pour ces systèmes de production ou ces races.

Facteurs favorisant la mise en œuvre

Malgré un manque d'information scientifiquement corroborée, les connaissances traditionnelles sur la diversité génétique du bétail fournissent une base de connaissances importante pour l'élevage sélectif. L'intégration des connaissances autochtones dans les programmes d'élevage sélectif est une opportunité pour le développement à faible coût de stratégies adaptées au contexte local (Moonga et Chitambo, 2010). La documentation de la connaissance indigène des éleveurs sur les races et les animaux d'élevage devrait être une partie intégrante du travail des projets, des institutions et organisations de développement rural, car ces connaissances peuvent être une source d'information importante sur l'existence de races que les scientifiques ont négligées, mais qui peuvent avoir des avantages et potentiels importants. Les investissements dans la science et la technologie pour développer de nouvelles races et types génétiques sont des interventions de plus grande envergure, possibles là où le financement est disponible (FIDA, 2009).

Cas réel d'application

Encadré 4.44 Élevage contrôlé d'alpagas au Pérou

Dans la province de Canchis, située dans le département de Cusco, au Pérou, à plus de 3 800 m d'altitude, des collectivités et/ou associations paysannes ont commencé un élevage de camélidés sud-américains, notamment d'alpagas. Ces éleveurs possèdent tous entre 30 et 12 alpagas et 90 pour cent d'entre eux gèrent leur bétail d'une manière traditionnelle. Le taux de mortalité élevé et le faible taux de fécondité du bétail associés à des baisses de températures sont la cause des pertes de revenus des éleveurs.

Practical Action Amérique latine a mis en œuvre un projet dans cette région intitulé « Gestion des Ressources naturelles dans les zones de haute montagne » (Practical Action, 2010), visant à améliorer le niveau de vie des éleveurs d'alpaga. L'un des principaux objectifs était de développer et de renforcer la gestion des élevages d'alpagas. Des cages d'accouplement en maille ont été construites à cet effet, et les agriculteurs ont reçu les formations suivantes:

- Construction de cages d'accouplement en adobe, maille ou pierres
- Identification des troupeaux par type et statut de reproduction des animaux (femelles et mâles)
- Identification des reproducteurs qui vont produire des animaux d'une meilleure qualité avec de bonnes caractéristiques physiques et reproductives
- Identification et détection des femelles réceptives par leur comportement sexuel
- La tenue des dossiers sur le temps de copulation et sur les numéros d'étiquettes des alpagas masculins et féminins
- Supervision et formation à l'accouplement contrôlé. Les femelles du troupeau qui ont été servies en premier et celles qui ont précédemment rejeté le mâle sont soumises à un contrôle de réceptivité sexuelle. Les femelles qui continuent d'exprimer leur réceptivité seront servies une deuxième fois et celles qui sont toujours réceptives le seront encore une troisième et quatrième fois.
- Évaluation de l'accouplement et détermination du taux de conception

En conséquence, soixante pour cent des éleveurs ont appliqué les procédés d'accouplement contrôlé afin d'améliorer leurs élevages d'alpagas. Le taux de fécondité des alpagas a augmenté de plus de 20 pour cent. Les taux de mortalité ont été réduits de 20 pour cent. Par conséquent, les éleveurs ont pu augmenter leur revenu de plus de 100 pour cent.

Source: Préparé par Nadya Villavicencio, Practical Action Amérique Latine pour ce guide

4.6 Systèmes agricoles durables

Les systèmes d'exploitation agricole sont complexes, et une grande partie de la résilience écologique au changement climatique vient de la diversité des systèmes de production combinant cultures, bétail et arbres. Les systèmes agricoles mixtes intégrant bétail et cultures, et les systèmes agro-forestiers qui mélangeant cultures, arbres et bétail sont des exemples de systèmes agricoles durables.

4.6.1 Agriculture mixte/polyculture

Définition

L'agriculture mixte est un système agricole dans lequel les producteurs mélangeant différentes pratiques agricoles, comme les cultures de rente et le bétail. L'objectif est d'augmenter le revenu grâce à la diversification des sources et de satisfaire la demande de terre et de travail sur toute l'année.

Description

Les systèmes agricoles mixtes peuvent être classés en différentes catégories, basés sur la taille de la terre, le type de cultures et des animaux, la répartition géographique, l'orientation du marché, etc. Trois grandes catégories se distinguent ici (FAO, 2001).

Mélange sur une exploitation ou mélange entre les productions

« On-farm mixing » est le mélange de différentes pratiques agricoles sur une même exploitation, « between-farm mixing » se réfère à l'échange de ressources entre les différentes exploitations. Le mélange de pratiques sur une même exploitation permet le recyclage des ressources générées sur cette exploitation. Le mélange entre les exploitations peut être utilisé pour résoudre les problèmes d'élimination des déchets, les agriculteurs utilisant les déchets des élevages comme engrains.

Mélange à l'intérieur des cultures et/ou des systèmes d'élevage

Cette pratique consiste à choisir la polyculture ou à élever différents types d'animaux ensemble. Par exemple, le mélange de légumineuses et de graines peut fournir de l'azote aux cultures de graines. Par la pratique des cultures intercalaires, les agriculteurs peuvent tirer le meilleur parti de l'espace disponible en sélectionnant des plantes qui maximisent l'avantage de la lumière, de l'humidité et des nutriments du sol. Des exemples de systèmes d'animaux mixtes comprennent la production de poulets-poissons où les déchets des poulets servent de fourrage pour les poissons.

Systèmes diversifiés contre systèmes intégrés

Dans un système diversifié, les composantes existent en tant qu'unités indépendantes. Dans un système intégré, les ressources sont utilisées de façon optimale, ce qui rend le système très interdépendant.

Comment la technique contribue au changement climatique

La technique de l'agriculture mixte contribue à l'adaptation au changement climatique parce que la diversification des cultures et du bétail permet aux agriculteurs d'avoir un plus grand nombre d'options pour faire face aux conditions météorologiques. L'agriculture mixte peut également donner une production plus stable parce que si une culture ou variété échoue, une autre peut compenser. L'élevage représente un moyen par lequel les familles peuvent épargner et investir dans l'avenir. L'élevage est une épargne, des actifs pouvant être vendus pendant les périodes de nécessité.

Avantages

Cette technique offre une plus grande sécurité alimentaire et améliore la nutrition des ménages. En outre, les agriculteurs peuvent générer des surplus de certains produits qui peuvent être vendus sur le marché.

Cette technique permet également aux agriculteurs de cultiver du fourrage pour le bétail et la volaille. Un avantage des systèmes mixtes riz-poisson est que les poissons peuvent aider à réduire les vecteurs de maladies existants et émergents, comme par exemple les moustiques.

Dans de nombreux domaines, la saison de la faim sur les exploitations vient juste après le début des pluies, lorsque les producteurs ont besoin d'investir beaucoup de travail dans la plantation et la gestion des cultures, et avant qu'ils ne commencent à produire. Inversement la production d'herbe commence immédiatement avec les pluies, et le bétail gagne rapidement du poids et la production de lait augmente. La forte production de lait pendant les pluies peut aider à nourrir les agriculteurs alors qu'ils s'occupent de leurs cultures et attendent la récolte. Les avantages des systèmes agricoles mixtes pour l'environnement figurent dans l'encadré 4.45 ci-dessous.

Encadré 4.45 Avantages des systèmes de polyculture pour l'environnement

- Les systèmes agricoles mixtes maintiennent la fertilité des sols par le recyclage d'éléments nutritifs du sol et permettent l'introduction d'un système de rotations entre les différentes cultures, ou facilitent la mise en jachère des terres ce qui permet aux arbustes de se rétablir;
- Les systèmes agricoles mixtes maintiennent la biodiversité des sols, réduisent l'érosion, aident à conserver l'eau et fournissent des habitats aux oiseaux;
- Les systèmes agricoles mixtes utilisent au mieux les résidus de récolte. Quand elles ne sont pas utilisées comme aliments, les tiges peuvent être incorporées directement dans le sol, ce qui peut temporairement retenir l'azote, créant des carences en azote. L'alternative est de brûler les résidus de récolte, mais ceci accroît les émissions de dioxyde de carbone;
- les systèmes d'élevage mixtes permettent un élevage plus intensif, avec moins de dépendance sur les ressources naturelles et une préservation accrue de la biodiversité, ce qui n'est pas le cas si la demande alimentaire devait être satisfaite par les activités de culture et d'élevage entreprises isolément.

Source: FAO, 1996

Désavantages

Une des limites est que les niveaux de production dans les systèmes mixtes (tonnes par hectare, le lait par animal par jour, et le taux de reproduction) peuvent être plus bas que dans les systèmes spécialisés (monoculture) (FAO, 1999). Un autre inconvénient est que, lorsque les agriculteurs dépendent des réserves d'un animal sauvage plutôt que des espèces domestiques, ils risquent d'être encore plus vulnérables dans des situations où les niveaux de population des animaux sont touchés en raison du changement climatique (par exemple lorsque les populations de bétail doivent être réduites).

En partie à cause du surpâturage, certains systèmes agricoles mixtes des hautes terres tropicales d'Asie et d'Afrique centrale sont parmi les systèmes les plus érodés et dégradés du monde (FAO, 1996). L'intégration des cultures et du bétail peut aider à améliorer les éléments nutritifs contenus dans le sol et réduire les pressions sur les terres agricoles.

Connaissances et suivi requis

Les connaissances sur la phénologie et les cycles de vie des différentes espèces à cultiver simultanément (ou avec un certain décalage de temps entre elles) ainsi que des connaissances sur les éléments nutritifs du sol nécessaires pour ces différentes cultures (de sorte qu'ils peuvent se compléter mutuellement) sont essentielles pour appliquer cette technique. Par exemple, certaines cultures nécessitent des niveaux plus élevés d'azote, tandis que d'autres nécessitent plus de potassium. Il faut aussi posséder des connaissances sur la saison à laquelle chacune des cultures concernées doivent être semées et à laquelle les espèces et les variétés de cultures peuvent être cultivées ensemble, à cause de la compétition entre les espèces.

Exigences organisationnelles et institutionnelles

Les organisations de promotion de cette technique doivent disposer de techniciens qualifiés à la fois dans la production agronomique et dans l'élevage. Ces organisations doivent identifier les agriculteurs qui sont familiers avec le fait de s'occuper de plusieurs cultures à la fois et développer des relations positives avec eux.

Coûts et besoins financiers

Pour estimer les coûts de mise en œuvre de cette technique, le coût des salaires, des outils agricoles et des intrants (tels que semences et engrains) doit être pris en compte. L'infrastructure pour le bétail sera un coût supplémentaire dans les systèmes combinant culture et élevage. Les principaux besoins financiers sont associés aux crédits pour l'acquisition d'intrants, aux formations et à la diffusion de cette technique. Des investissements sont nécessaires aussi pour obtenir des informations qualitatives et quantitatives sur le microclimat afin de bien pouvoir gérer la synchronisation des cycles pour les cultures mixtes (phénologie).

Facteurs entravant la mise en œuvre

Le principal obstacle à la mise en œuvre de cette technique est la réticence des agriculteurs, car l'agriculture mixte est considérée comme ayant une faible productivité par rapport aux monocultures qui ont un rendement élevé en termes de tonnes par hectare (t/ha). La meilleure façon de surmonter cet obstacle est de démontrer que les systèmes agricoles mixtes ont de meilleurs niveaux de productivité, de diffuser les avantages de cette technique, et d'offrir des formations.

Facteurs favorisant la mise en œuvre

Les systèmes agricoles mixtes améliorent la gamme des produits dont un agriculteur dispose pour vendre au marché. Une façon d'augmenter la productivité, tout en conservant les avantages économiques et environnementaux de la polyculture, est la spécialisation. Les partenariats avec les exploitations spécialisées sont formés pour faciliter l'échange des cultures et des déchets provenant du fumier. Par exemple, l'association traditionnelle entre les nomades et les agriculteurs, où le bétail des nomades convertit les résidus de cultures en engrais pour la culture. Des développements plus récents comprennent des partenariats entre les producteurs laitiers et les producteurs de légumes. De même, dans l'agriculture biologique en Europe, entre les fermes biologiques spécialisées, il y a un échange de produits secondaires et de résidus de récolte pour le fumier (FAO, 1999).

Cas réels d'application

Encadré 4.46 Systèmes d'exploitation mixte cultures/élevage et changement climatique en Afrique

De nouvelles recherches menées par la Commission européenne avancent des estimations sur les impacts du changement climatique par rapport au choix du système de production agricole ((i) les fermes de cultures spécialisées, (ii) les fermes d'élevage spécialisé ou (iii) les fermes intégrées qui font l'agriculture et l'élevage, et au revenu net jusqu'à 2060. Les résultats ont indiqué que le revenu net de l'agriculture intégrée augmenterait d'environ 6 pour cent en raison du changement climatique. Le revenu net de la production spécialisée devrait chuter jusqu'à 75 pour cent, tandis que le bénéfice pour l'agriculture intégrée ne ferait que diminuer d'environ 10 pour cent. L'agriculture intégrée devrait être plus résistante face au changement climatique, en partie parce que certaines espèces animales peuvent être élevées dans les zones de savane chaudes et sèches, mais aussi parce que la diversification apporte des avantages économiques. Alors que des températures plus élevées pourraient faire diminuer les bénéfices des exploitations spécialisées, les précipitations plus élevées pourraient réduire les bénéfices pour les fermes d'élevage spécialisées. Cela augmente les chances que les agriculteurs choisissent de diversifier leur portefeuille.

Les résultats ont des implications importantes pour la sécurité alimentaire: les exploitations de monoculture pourraient devenir très vulnérables alors que l'agriculture intégrée pourrait mieux s'en sortir. La politique devrait donc aider les exploitations agricoles à s'adapter en offrant un soutien aux producteurs pour mettre en place des systèmes de polyculture.

Source: CE, 2010

Encadré 4.47 Avantages de l'agriculture mixte au sud du Honduras

Les petits producteurs à El Triunfo et Namasigue, dans le sud du Honduras vivent dans un climat d'inondations et de sécheresses. Entre un tiers et la moitié de la population est considérée comme vulnérable à une grave sécheresse. Avec le changement climatique, les précipitations sont prévues de diminuer de 15 pour cent d'ici à 2030. Entre 1994 et 2003, 90 pour cent des agriculteurs ont déclaré des pertes de cultures de plus de 50 pour cent en quatre ans ou plus, avec une production de maïs de moins de 1 t/ha et de haricots d'environ 0,4 t/ha. Les agriculteurs qui ne dépendaient que de la production agricole avaient un revenu de 340 \$ par année. Même les agriculteurs qui avaient une culture commerciale comme le sésame ou la noix de cajou (40 pour cent des agriculteurs) ont fourni environ la moitié de ce revenu. Environ 70 pour cent des agriculteurs ayant des poulets ou des porcs ont ajouté 35 \$/an et 86 \$/an respectivement à leur revenu. Les quelques agriculteurs ayant des bovins (33 pour cent) ont eu un revenu supplémentaire plus élevé, de près de 500 \$ par an. Les agriculteurs gagneront donc à diversifier leurs modes de production. Les agriculteurs qui n'avaient qu'une production par année étaient les familles les plus pauvres, avec un revenu d'un peu plus de 100 \$ par année, et ils dépendaient donc de la vente de leur main-d'œuvre aux grandes exploitations pour survivre.

Source: Haggard et al 2004

4.6.2 Agroforesterie

Définition

L'agroforesterie est une approche intégrée de la production d'arbres et de cultures ou d'animaux sur le même lopin de terre. Les cultures peuvent être cultivées ensemble dans le même temps, en rotation, ou dans des parcelles séparées lorsque des matériaux de l'une sont utilisés pour bénéficier une autre. Les systèmes agroforestiers profitent des arbres de nombreuses façons: pour maintenir le sol; pour augmenter la fertilité grâce à la fixation de l'azote, ou en enlevant les minéraux enfouis profondément dans le sol et les remontant à la surface par la chute des feuilles; et pour fournir de l'ombre, des matériaux de construction, des aliments et du carburant. Dans les systèmes agroforestiers, chaque partie de la terre est considérée comme propice à la culture. La priorité est donnée aux plantes vivaces, qui sont plantées une fois mais dont les avantages de rendement durent sur une longue période. La conception de systèmes agroforestiers privilégie les interactions bénéfiques entre les cultures, par exemple, les arbres peuvent fournir de l'ombre et réduire l'érosion éolienne. Selon le Centre Agro-forestier mondial, « l'agroforesterie est particulièrement bien adaptée pour répondre à la fois à la nécessité d'améliorer la sécurité alimentaire et d'augmenter les ressources pour l'énergie, ainsi qu'à la nécessité de gérer durablement les paysages agricoles qui offrent des services écosystémiques essentiels ».²⁴ L'agroforesterie est déjà largement pratiquée sur tous les continents. Utilisant une couverture de 10 pour cent d'arbre comme seuil, l'agroforesterie est la plus importante en Amérique centrale, en Amérique du Sud, et en Asie du Sud-Est, mais occupe également une grande quantité de la superficie en Afrique.

Description

On peut classer les systèmes d'agroforesterie selon: leur structure (composition, stratification et dimension des cultures); la domination des différentes composantes (agriculture, pâturage ou arbres); la fonctionnalité (production, protection ou multi-usages); ou selon son usage écologique et socio-économique. Généralement, les systèmes d'agroforesterie peuvent être classés en trois grandes catégories: agrosylviculture (arbres avec cultures), agrosilvopâturage (arbres avec cultures et élevage) et sylvopastoraux (arbres avec pâturage du bétail).

L'agroforesterie est appropriée pour tous les types de terrain et est particulièrement importante pour l'agriculture sur les collines/pentes. Les types d'arbres les plus importants à intégrer dans un système d'agroforesterie sont les légumineuses qui fixent l'azote. L'azote améliore la fertilité et la qualité du sol et donc les rendements. Certaines utilisations d'arbres les plus communes dans les systèmes agroforestiers sont:

- La culture en couloirs: plantation des cultures entre les rangées d'arbres
- Clôtures vivantes: les arbres sont plantés sur les bords de la propriété pour bien démarquer le terrain
- Multicouches: y compris jardins et agro-forêts qui combinent de multiples espèces et sont particulièrement fréquents dans les zones tropicales humides de l'Asie du Sud-Est
- Plantation d'arbres épargnés: plantation d'arbres, d'arbustes ou de cultures vivaces ombragées (café et cacao) disséminés parmi les pâturages et le long des limites des terres agricoles.

Toutes sortes de plantes peuvent être utilisées dans un système d'agroforesterie. Au moment du choix des cultures, les critères suivant doivent être étudiés en priorité:

- Potentiel de production
- Possibilité d'utilisation pour l'alimentation animale
- Plante locale déjà produite dans la région
- Bon contenu nutritionnel pour la consommation humaine
- Protection du sol
- Pas de concurrence entre les arbres et les cultures.

Le tableau 4.19 montre les cinq étapes pour la conception et la mise en œuvre d'un système agro-forestier.

Tableau 4.19 Diagnostic et conception agro-forestière

Etape	Tâches
Diagnostic	<ul style="list-style-type: none"> • Définition du système d'utilisation des terres et sélection du site • Caractéristiques physiques (y compris l'altitude, les précipitations, les pentes, l'approvisionnement en eau, l'état des sols, l'érosion visible). Connaissances de base pour évaluer la nécessité d'agroforesterie et la pertinence locale des diverses techniques • Les utilisations actuelles des arbres et des arbustes. Ceci suggère le type de produits de subsistance qu'un système agro-forestier peut fournir. • Ventes et achats de produits agroforestiers (y compris pôles, fruits, bois de chauffage, fourrage, etc.). Ceci fournit des données pour l'analyse économique, et indique des possibilités de remplacer les articles achetés ou de développer les ventes en augmentant les produits agroforestiers. • La plantation d'arbres (espèces, sources de semis, et usages prévus). Cela montre l'état actuel des connaissances sylvicoles. • Les perceptions des agriculteurs de la déforestation et de l'érosion (y compris tout impact perçu sur les rendements agricoles). Cela donne une idée de comment les agriculteurs perçoivent leurs problèmes, et indique leur état de sensibilisation à l'agroforesterie. • Droits de propriété des terres et des arbres. Cela montre si les agriculteurs sont propriétaires de leurs arbres, et donc s'ils sont incités à planter. • Les rendements actuels • Les contraintes limitant l'accès à la technique et à la finance, les capacités des agriculteurs et les marchés • Enquête sur les connaissances locales et la portée de la domestication des aliments sauvages et des plantes médicinales.

Contd...

Conception et évaluation	<p>Comment améliorer le système?</p> <ul style="list-style-type: none"> • Faire la liste des bénéfices des systèmes d'agroforesterie • Dresser l'inventaire des besoins pour la production agricole (sécurité alimentaire, augmenter la production pour satisfaire la demande, etc.) • Adoptabilité: acceptation culturelle et sociale; importance des connaissances locales, pratique et capacité; égalité des genres • Caractériser les cultures par leur besoin d'espace, besoins en eau et en engrais, et tolérance à l'ombre • Sélectionner les arbres, arbustes et herbes
Planification	<p>Si le système est temporaire:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Planifier les éléments de contrôle de l'érosion des sols, le terrassement, et l'entretien des ravins • Planifier l'espacement des arbres fruitiers selon leur besoin d'espace • Planifier la succession des cultures annuelles ou semi-pérennes en commençant par les cultures les plus tolérantes à l'ombre pour les dernières années de la culture intercalaire <p>Si le système est permanent:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Planifier la proportion d'arbres fruitiers et d'arbres pour la production de bois d'œuvre selon les besoins des agriculteurs • Planifier l'espacement des arbres selon leurs besoins, puis multiplier par 0,5 • Planifier la succession des plantes vivaces et des cultures sous couvert arboré, pour la protection et l'enrichissement des sols • Lorsque les gros arbres permanents poussent, ajuster le plan de plantation afin de placer les cultures qui supportent bien l'ombre dans les zones les plus ombrées
Mise en œuvre	<ul style="list-style-type: none"> • Essais des modèles agroforestiers afin d'analyser l'impact des arbres sur les cultures, et tester les rendements.
Suivi	<ul style="list-style-type: none"> • Analyse continue des états des sols, de leur taux d'humidité, etc. • Étude de conception des bassins hydrauliques • Mesurer les inputs et outputs du système (y compris les rendements des arbres et des cultures, et les besoins en main-d'œuvre) • Analyse de l'utilisation des terres • Analyse des bénéfices socio-économiques.

Source: Raintree, 1986; Martin et Sherman, 1992; FAO, 1991

Comment la technologie contribue-t-elle à l'adaptation au changement climatique?

L'agroforesterie peut améliorer la résilience de la production agricole face à la variabilité climatique actuelle ainsi qu'aux changements climatiques à long terme, grâce à l'utilisation des arbres pour l'intensification, la diversification et la protection des systèmes agricoles. Les arbres jouent un rôle important pour réduire la vulnérabilité, renforcer les systèmes de production, et protéger la production agricole contre les risques liés au climat. Les arbres sont profondément enracinés et ont d'importantes réserves, et sont moins sensibles que les cultures annuelles à la variabilité interannuelle ou aux événements extrêmes de courte durée tels que les sécheresses ou les inondations. Ainsi, les systèmes agricoles basés sur les arbres présentent des avantages pour permettre le maintien de la production au cours des années plus humides et plus sèches. Deuxièmement, les arbres améliorent la qualité et la fertilité des sols en contribuant à la rétention d'eau et en allégeant la pression exercée sur les réserves d'eau pendant les années de faibles précipitations. Les systèmes à base d'arbres ont aussi des taux plus élevés d'évapotranspiration que les cultures en rangs ou que les pâturages et peuvent ainsi maintenir des conditions de sols aérés en pompant l'eau en excès du profil du sol de manière plus rapide que d'autres systèmes de production s'il y a suffisamment de précipitations/d'humidité dans le sol (Martin et Sherman, 1992).

Les arbres peuvent réduire les impacts des phénomènes météorologiques extrêmes tels que les sécheresses ou les pluies torrentielles. Par exemple, une combinaison d'herbe de Napier et d'arbustes de légumineuses sur le contour des champs, dans le centre du Kenya, a réduit jusqu'à 70 pour cent l'érosion des sols sur des pentes à inclinaison supérieure à 10 pour cent, et ce sans affecter le rendement du maïs (Mutegi et al, 2008). La recherche a également démontré que les arbres dans les systèmes agroforestiers stabilisent le sol et évitent les glissements de terrain, et augmentent les taux d'infiltration (Ma et al, 2009). Cela limite l'écoulement de surface pendant la saison des pluies et augmente la disponibilité des eaux souterraines pendant la saison sèche.

L'agroforesterie peut également jouer un rôle essentiel dans l'amélioration de la sécurité alimentaire en fournissant un moyen de diversifier les systèmes de production (encadré 4.48).

Encadré 4.48 Les systèmes agricoles arborés améliorent la sécurité alimentaire et les moyens d'existence

En intégrant des arbres dans leurs fermes et pâturages, les agriculteurs ont pu réduire leur dépendance à une seule culture de base et ont pu avoir suffisamment d'herbe pour leurs animaux. Par exemple, si une sécheresse détruit la récolte annuelle, les arbres pourront toujours fournir des fruits, du fourrage, du bois de chauffage, et autres produits, qui représentent souvent une grande valeur commerciale. Une étude sur 1 000 agriculteurs dans 15 districts du Kenya a conclu que les arbres fruitiers ont contribué à 18 pour cent des recettes des cultures et le thé et le café ont contribué à 29 pour cent du chiffre d'affaires (Lieu et Wanjiku, 2006). Une étude réalisée au Zimbabwe a conclu que les fruits indigènes fournissaient des rendements plus élevés que la production annuelle des cultures (Mithoefer et Waibel, 2003). Une étude au Népal sur l'impact de l'agroforesterie sur la fertilité des sols et sur le revenu agricole a montré que l'intervention de l'agroforesterie a presque doublé la productivité agricole et les revenus.

Source: Neufeldt et al, 2009

Avantages

L'agroforesterie a un potentiel d'application large et offre une gamme d'avantages comprenant:

- Les systèmes agroforestiers permettent une utilisation maximale de la terre et augmentent l'efficacité de l'utilisation des terres.
- La productivité de la terre peut être améliorée parce que les arbres fournissent du fourrage, du bois et d'autres matières organiques qui sont recyclées et utilisées comme engrains naturels.
- L'augmentation des rendements. Par exemple, le millet et le sorgho peuvent augmenter leurs rendements de 50 à 100 pour cent quand ils sont plantés directement sous des *Acacia albida* (FAO, 1991).
- L'agroforesterie favorise la production sur toute l'année et à long terme.
- La création d'emplois – les périodes de production plus longues nécessitent plus de main-d'œuvre.
- Protection et amélioration des sols (surtout quand les légumineuses sont incluses) et des sources d'eau.
- La diversification des moyens d'existence
- Fourniture de matériaux de construction et de bois de chauffage moins cher et plus accessible
- Les pratiques agro-forestières peuvent réduire les besoins d'intrants tels que les engrains.

Désavantages

Les systèmes agroforestiers exigent une gestion importante. Intégrer les arbres et les cultures dans un même système peut créer une concurrence pour l'espace, l'eau, la lumière et les nutriments et peut entraver la mécanisation de la production agricole. Une bonne gestion est nécessaire afin de réduire la concurrence pour les ressources et de maximiser les avantages écologiques et productifs. Les rendements des cultures peuvent aussi être moindres que dans les systèmes de production alternatifs, cependant l'agroforesterie peut réduire le risque d'échec de la récolte.

Connaissances et suivi requis

Pour planifier l'utilisation des arbres dans les systèmes agroforestiers, des connaissances considérables sur leurs propriétés sont nécessaires, elles comprennent: les adaptations climatiques des espèces, y compris les adaptations à différents sols et contraintes; la taille et la forme de la voilure, ainsi que du système racinaire; et leur intégration dans divers systèmes agroforestiers. La sélection des cultures exige également la connaissance de leurs usages, leur adaptation, et des opportunités de marché (Martin et Sherman, 1992).

Il est également important de comprendre comment les arbres et les cultures interagissent. Dans les systèmes agroforestiers, arbres et cultures peuvent partager l'espace au-dessus et sous le sol. Les arbres et les cultures interagissent de nombreuses façons, entraînant à la fois des effets positifs et négatifs sur la croissance des arbres et des cultures. Ces processus, qui sont très complexes, sont liés à la lumière, l'eau, les nutriments et le vent. Ces processus affectent également le sol lui-même. Il y a aussi des interactions indirectes, par exemple liées aux ravageurs et aux maladies. Les cycles de la matière organique du sol, les nutriments et l'eau sont des processus qui sont essentiels à la compréhension des interactions dans les systèmes agroforestiers.

Une bonne connaissance des principales lois et des décrets qui influencent la gestion des ressources naturelles est également nécessaire. Il est important de comprendre le concept des droits fonciers, y compris le système juridique formel et les systèmes fonciers traditionnels, et de se familiariser avec les politiques liées à l'utilisation des terres, le sol et la végétation, ainsi qu'avec les politiques socio-économiques, y compris les politiques commerciales. Une bonne compréhension des plans et programmes de développement nationaux, régionaux et locaux, relatifs à l'agroforesterie et à la gestion des ressources naturelles, est également nécessaire.

Exigences organisationnelles et institutionnelles

Le contexte institutionnel est essentiel à la gestion des ressources naturelles et de l'agroforesterie. Les principales catégories d'institutions ayant une incidence sur l'agroforesterie sont présentées dans le tableau 4.20.

Tableau 4.20 Les institutions clés de l'agroforesterie

Typologie	Institutions
Gouvernement	<ul style="list-style-type: none"> • Les agences du gouvernement avec un rapport à l'agroforesterie • Les agences du gouvernement impliquées dans des programmes de vulgarisation liés à la gestion des ressources naturelles • L'administration du gouvernement à différents niveaux: national, régional et local (y compris le niveau provincial, municipal, de district etc.).
Organisations non-gouvernementales (ONG)	<ul style="list-style-type: none"> • Les ONG locales, nationales et internationales impliquées dans des domaines pertinents tels que le développement rural et la conservation de l'environnement • Présentation des ONG avec un rôle dans le développement de l'agroforesterie, leur mandat ainsi que les objectifs des programmes et les priorités de ces organisations • Liens, interactions et collaboration entre les ONG, le secteur public, les institutions locales et les populations locales
Secteur privé	<ul style="list-style-type: none"> • Les liens et fonctions du secteur privé dans l'agriculture • Forces et fonctions du marché • Institutions locales en relation avec le secteur privé
Organisations à base communautaires formelles et non formelles	<ul style="list-style-type: none"> • Rôles et fonctions dans le développement de l'agrosylviculture, y compris le développement du marché pour les produits agroforestiers et dans l'intensification des innovations agro-forestières • Rôle dans le suivi et l'évaluation des programmes agroforestiers
Instituts de recherche	<ul style="list-style-type: none"> • Les institutions de recherche en agroforesterie mettent l'accent sur la recherche de terrain et participative • Recherche en agroforesterie et dans le développement à tous les niveaux.

Contd...

Instituts d'éducation et de formation	<ul style="list-style-type: none"> • Recherches et développement de techniques • Programmes de vulgarisation dans les instituts d'éducation et de formation.
---------------------------------------	--

Source: préparé par les auteurs

Le cadre politique et juridique est d'une grande importance pour la gestion durable des ressources naturelles. Les autorités gouvernementales et forestières locales doivent faire pression pour simplifier les procédures juridiques pour la commercialisation des produits ligneux et non ligneux indigènes cultivés dans les systèmes agroforestiers. L'adoption accrue de l'agroforesterie devrait être soutenue par le gouvernement par le biais de la finance. La recherche et la formation sont nécessaires afin que les espèces agroforestières de grande valeur correspondent aux bonnes zones agro-écologiques et aux pratiques agricoles (Neufeldt et al, 2009).

La mise en œuvre de l'approche d'agroforesterie devrait être accompagnée par l'organisation des agriculteurs en coopératives afin d'améliorer leur capacité à négocier de meilleurs prix pour leurs produits et éviter de payer un pourcentage de leurs bénéfices à des intermédiaires. Rejoindre les coopératives donne aux agriculteurs le statut de producteurs organisés, facilitant l'accès à des marchés plus vastes et de certification biologique et équitable. En conséquence, le revenu des agriculteurs peut augmenter de manière significative. Les agriculteurs devraient également recevoir une formation sur les questions de la gestion, la prise de décision et la participation à l'administration locale, comme la planification du développement au niveau municipal et la programmation participative du budget.

Coûts et besoins financiers

En Érythrée, un projet agroforestier à grande échelle mené par le ministère de l'Agriculture sur cinq ans, visait à créer des plantations forestières saines et bien gérées pour mieux résister aux impacts du changement climatique. Ce projet fait partie du cadre de la stratégie de NAPA du pays. Le projet a un coût total d'un peu plus de 5 millions de dollars, comme indiqué ci-dessous:

Tableau 4.21 Coût du programme agroforestier en Érythrée

Composantes du projet	Coûts (USD)
Infrastructures/travaux civils (construction de routes, bureaux, forêts communautaires, pépinières)	1 150 000
Équipement et matériel (équipements de terrain et de bureau, outils manuels, pompes à eau, véhicules, etc.)	1 000 000
Soutien au développement communautaire (services de vulgarisation forestiers)	950 000
Sylviculture (production et distribution de semences)	1 100 000
Coûts récurrents (salaires, allocations, maintenance, etc.)	850 000
Total	5 050 000

Source: CCNUCC, 2008a

Tableau 4.22 Coûts du programme agroforestier au Sénégal

Activité	Année 1 (FCFA)	Année 2 (FCFA)	Année3 (FCFA)	Année 4 (FCFA)	Année 5 (FCFA)	Total (FCFA)	Total (US\$)
Pépinières	32 millions	2 millions	2 millions	2 millions	2 millions	40 millions	80 000
Cultures de plantes	1 million	1 million	1 million	1 million	1 million	5 millions	10 000
Forêts régionales	80 millions	1 million	1 million	1 million	1 million	84 millions	168 000

Source: CCNUCC, 2008a

Facteurs entravant la mise en œuvre

Les principaux obstacles à l'agroforesterie sont:

- Le manque d'accès aux intrants agroforestiers/ressources, y compris les droits de propriété foncière et des arbres, l'accès limité à l'eau, aux semences, au matériel génétique, et au crédit.
- Les questions relatives à la production ou à la gestion de l'agroforesterie, comme les connaissances sur les systèmes agroforestiers, le contrôle de la qualité, le stockage, la transformation des produits, l'accès aux services de vulgarisation, la technique et les coûts initiaux par rapport aux gains à long terme, etc.
- Les principaux avantages de l'agroforesterie sont perçus à moyen terme au moins cinq à dix ans après sa création, cela signifie que les agriculteurs doivent être prêts à investir dans la création et la gestion pendant plusieurs années avant que les principaux avantages soient générés.
- La commercialisation de produits et de services agroforestiers. Le manque d'accès au transport, la manutention, la transformation et le manque d'infrastructure de commercialisation, les interdictions/restrictions sur les produits du bois, la surproduction, et le manque de demande pour les produits.

Facteurs favorisant la mise en œuvre

L'agroforesterie offre une excellente occasion pour promouvoir la gestion durable des forêts, tout en améliorant les opportunités génératrices de revenus pour les communautés locales. L'agroforesterie offre des possibilités de diversification de l'économie agricole et stimule l'économie rurale, conduisant à des communautés plus stables. Les risques économiques sont réduits lorsque les systèmes produisent de multiples produits. De même, cette approche privilégie les mesures de conservation et de réhabilitation tels que la réhabilitation de bassins versants et la conservation des sols.

Cas réels d'application

Encadré 4.49 Introduction des pratiques agroforestières axées sur les cactus dans les zones arides

Les terres arides de l'Éthiopie ont une couverture végétale faible et un taux élevé d'évapotranspiration supérieur aux précipitations. L'identification des espèces végétales appropriées qui peuvent s'épanouir et produire des rendements augmente la résilience. Une de ces espèces végétales est la poire de cactus qui a de nombreux bénéfices et utilisations possibles, elle donne des fruits frais et des segments de souches, de la nourriture pour le bétail, des pigments et du sucre, ou même de l'éthanol. Une option possible serait l'introduction comme culture couverture ou intercalaire pouvant mitiger les effets du changement climatique. Le centre de recherche Mekelle a effectué une observation sur un verger contenant 11 variétés de poires de cactus intercalées avec des haricots. Une production importante de biomasse (914,63 kg) et de fruits comestibles (268,3 kg) a été atteinte, en plus d'un rendement significativement plus élevé de haricots (1 333,3 kg) par hectare sur plus de huit mois. Parce que les cactus sont des plantes vivaces, ils continuent de croître et produiront encore davantage de fruits et de la biomasse dans les années suivantes. Les parcelles de haricots sans les cultures intercalaires de cactus ont donné des rendements nettement inférieurs (700 kg/ha). Les cultures intercalaires ont l'avantage supplémentaire d'emprisonner l'humidité dans les tranchées ce qui a contribué à une meilleure utilisation des faibles pluies de la saison des pluies de 2008 (de 375 mm) dans la région. Le cactus a le potentiel de servir comme culture de couverture et intercalaire et cette combinaison contribue à augmenter la biomasse produite par hectare avec l'avantage d'augmenter la couverture végétale. Ceci est particulièrement important pour les zones arides où la terre est nue pendant plus de sept mois avant que la prochaine récolte soit plantée. La pratique de l'agroforesterie à base de cactus peut donc être considérée comme une option d'adaptation au changement climatique dans les zones arides.

Source: Belay, 2009

Encadré 4.50 Agroforesterie de café pour l'adaptation au changement climatique au Chiapas, Mexique

La compagnie de café Cafédirect et la GTZ ont collaboré sur un projet visant à faciliter l'adaptation au changement climatique parmi les producteurs de café au Mexique, au Nicaragua et au Pérou. Les petits producteurs, tous membres de la coopérative MasCafe au Chiapas, ont analysé les impacts du changement climatique sur leurs productions et ont formulé une stratégie d'adaptation. Les principaux impacts qu'ils percevaient étaient:

- Augmentation de la déforestation et des feux de forêt
- Augmentation de l'incidence des fortes précipitations
- Appauvrissement des sols
- Augmentation des ravageurs et des maladies



Leur stratégie d'adaptation comprenait les éléments suivants:

- Programme de reboisement pour augmenter l'ombre sur les plantations de café et dans la région environnante
- Formation sur la lutte biologique contre les ravageurs et les maladies
- Production de compost organique à partir de déchets
- Réduire la consommation de bois de feu pour le séchage du café et accroître les taux de carbone capturés par le reboisement
- Établir des séchoirs solaires pour garder le café quand il pleut pendant la récolte

Une formation a été dispensée aux agriculteurs pour les aider à élaborer des stratégies d'adaptation pour leurs propres exploitations. La formation répondait aux questions suivantes:

- Comprendre les effets des variations climatiques sur la production de café
- Définir quelles sont les caractéristiques des plantations de café qui fonctionnent le mieux dans les années de sécheresse ou d'excès de précipitations
- Comment le changement climatique affecte la floraison et la fructification du café?
- Comment les arbres d'ombrage affectent l'impact du climat sur le café?
- Quelles sont les conditions pour ralentir le développement des ravageurs et des maladies ?
- Quelles mesures aident à conserver la fertilité des sols?
- Quelles sont les mesures pour conserver les sources d'eau et empêcher leur contamination?
- Quelles sont les pratiques qu'on peut utiliser pour créer des plantations de café plus résistantes au changement climatique?
- Sur la base de cette analyse avec les producteurs, un programme de formation et de mise en œuvre de techniques est développé avec chaque groupe de producteurs. Un manuel de formation détaillé a été produit sur la façon de mettre en œuvre les techniques expliquées dans cette formation (Schepp et al, 2010).

Source: Schepp, 2010; Schepp et al, 2010

4.7 Renforcement des capacités et organisation des parties prenantes

4.7.1 Agents de vulgarisation communautaires

Définition

Les « services de vulgarisation agricole » sont les services qui offrent aux populations rurales l'accès à la connaissance et à l'information dont ils ont besoin pour accroître la productivité et la durabilité de leurs systèmes de production et améliorer leur qualité de vie et moyens de subsistance. Les développements récents dans les politiques agricoles ont réaffirmé l'importance des services de vulgarisation.²⁵ Cependant, les modèles d'extension basés sur les services gouvernementaux ou les agro-commerçants privés ne sont pas suffisants pour répondre aux besoins des agriculteurs dans les zones défavorisées. Cela est dû à un certain nombre de facteurs qui comprennent: la nécessité de répondre aux besoins techniques spécifiques des agriculteurs dans différentes zones agro-écologiques; des coûts élevés pour atteindre les zones reculées; la nécessité de solutions de gestion du bétail et des cultures localisées adaptées aux conditions environnementales difficiles qui sont souvent mal comprises par les agents de vulgarisation formés pour travailler dans les zones à fort potentiel; et la difficulté à trouver des spécialistes prêts à vivre et travailler dans des régions éloignées et parfois aussi d'insécurité (Coupé, 2009; Rivera, Qamar et Crowder, 2001).

Les services de vulgarisation agricole à base communautaire fournissent une formation technique spécialisée et intensive à une ou deux personnes dans une communauté qui ensuite aident à promouvoir une variété de techniques et qui peuvent fournir un soutien occasionnel et l'examen d'une organisation de support (FAO, 1997). En fonction de la demande, les agents vulgarisateurs sont contractés directement par les groupes d'agriculteurs ou les communautés pour fournir des informations et des services qui sont spécifiés par les agriculteurs (Feder et al, 2010; Rivera, 2001). Ces modèles ont généralement connu un degré élevé de succès en termes d'identification de techniques améliorant la productivité, qui sont ensuite largement adoptées. Ils ont également été en mesure de le faire à un coût relativement faible (Scarborough, 1995).

Description

Les systèmes de vulgarisation d'agriculteur à agriculteur sont basés sur quelques principes clés (Bunch, 1982):

- Motiver les agriculteurs à expérimenter de nouvelles techniques à petite échelle
- Utiliser des méthodes à succès rapide et reconnaissable afin de motiver les autres producteurs à innover
- Utiliser des techniques qui s'appuient sur les ressources bon marché, disponibles localement
- Commencer avec un nombre limité de techniques pour retenir l'attention des producteurs
- Former les villageois en tant qu'agents de vulgarisation et les soutenir dans l'enseignement d'autres agriculteurs

En général, il y a cinq étapes à mettre en œuvre dans un modèle de vulgarisation rurale (De la Torre, 2008).

Etape 1: Crédit d'un espace de débat public et de coordination institutionnelle

Dans un premier temps, il est nécessaire de stimuler le débat sur le rôle des services de vulgarisation en milieu rural et le renforcement des capacités dans les zones rurales. Cet espace doit être créé entre

les communautés et les institutions locales privées et publiques. Celles-ci pourraient inclure les entités agricoles de l'État, les associations de producteurs, les comités d'usagers de l'eau, les instituts de recherche agricole, les universités locales, l'agriculture privée et/ou les sociétés d'élevage et les ONG.

Étape 2: Création d'un centre de formation

La seconde étape consiste à établir un centre de formation approprié avec le soutien interinstitutionnel. La conception devrait être décentralisée et sensible au contexte socio-culturel local. Un groupe d'experts techniques est nécessaire pour concevoir et fournir les modules de formation. Un budget sera nécessaire pour leur rémunération, pour les matériaux et les équipements et activités de formation. La figure 4.18 montre un centre de formation local pour les agents de vulgarisation agricole au Pérou.

Figure 4.18 Centre agricole au Pérou où sont formés les animateurs/agents locaux de vulgarisation agricole



Source: Jon Hellin, Practical Action 2003

Étape 3: Formation des agents de vulgarisation communautaire

La formation est conçue pour prendre en compte les moyens de subsistance des communautés locales. Par exemple, dans les zones pastorales du Kenya, la formation pourrait se concentrer sur l'élevage. Au Bangladesh, la formation pourrait se concentrer sur la pêche, l'agriculture et l'élevage. Les communautés élisent des candidats selon une liste de critères convenus et sur la base d'un consensus. La formation est organisée avec la participation du personnel du gouvernement au niveau du district compétent, dont les frais sont payés par les budgets de projets. Les activités comprennent des visites aux centres de recherche sur le développement de techniques agricoles, la mise en place d'essais et de parcelles d'expérimentation, et des ateliers de résolution de problèmes. Au terme de la formation, les participants devraient recevoir une certification officielle d'un organe de l'État.

Étape 4: Soutien technique continu et évaluation

Des experts techniques devraient être disponibles pour fournir un soutien continu aux agents de vulgarisation communautaire et aussi être responsables d'entreprendre des évaluations sur l'impact via des enquêtes auprès des ménages. Cette information devrait être systématisée et documentée pour améliorer les programmes futurs.

Étape 5: Cours de perfectionnement des connaissances

Des cours de recyclage périodiques doivent être organisés. Ces cours devraient fournir un espace pour les participants pour partager leurs expériences et contribuer à l'amélioration et le perfectionnement du matériel de la formation. Cela peut être réalisé sur les sites de formation ou par des visites aux agents de vulgarisation dans leurs communautés respectives.

Comment la technologie contribue-t-elle à l'adaptation au changement climatique?

Les services de vulgarisation communautaire contribuent à l'adaptation au changement climatique et à la réduction des risques en renforçant les capacités des communautés pour identifier et sélectionner des stratégies appropriées en réponse aux impacts observés de la variabilité climatique sur les moyens de subsistance locaux. Le modèle favorise un programme de sensibilisation en milieu rural qui fournit une assistance à de nombreuses communautés qui autrement ne recevraient pas les services de soutien technique. À la suite de ces services, les agriculteurs ont généralement été en mesure d'augmenter la production agricole et animale. Ceci, à son tour, a des effets positifs sur la santé de la famille et de la sécurité alimentaire. En outre, les agents de vulgarisation ont soutenu les communautés locales pour développer de nouveaux produits abordables pour les marchés locaux (Coupé, 2009).

Avantages

Les services de vulgarisation agricole en milieu rural peuvent aider à réduire les coûts des services de vulgarisation des systèmes centralisés (Feder et al, 2010). Les agents de vulgarisation communautaire bénéficient eux-mêmes de l'accumulation de nouvelles connaissances et compétences techniques et, par ce biais, sont en mesure de générer des revenus supplémentaires en faisant payer leurs services. Le renforcement des réseaux sociaux et professionnels via ce modèle fournit un accès vital à l'information et, en travaillant directement avec les producteurs locaux et en transmettant les connaissances acquises, les agents de vulgarisation renforcent la capacité technique de leurs communautés (Feder et al, 2010). Ils apprennent, par exemple, à détecter les maladies du bétail et à mettre en œuvre des mesures préventives, réduisant ainsi la nécessité pour les services vétérinaires coûteux. D'autres avantages comprennent l'amélioration de la confiance en soi et de l'innovation de la part des agents de vulgarisation.

Désavantages

En termes de limites, il est possible que les petits producteurs n'aient pas les moyens ou ne soient pas prêts à payer pour les services techniques. Dans les sociétés où payer pour l'information n'est pas la norme, les agents de vulgarisation devront travailler dur pour gagner la confiance et l'acceptation des communautés. Partout où ils travaillent, il faudra du temps pour créer les compétences et la base client et pour établir leur position et leur réputation (Coupé, 2009). Le modèle dépend aussi de l'expertise technique adéquate disponible localement, soit de la société civile, des ONG, des entités gouvernementales ou privées, et de la capacité d'une institution locale pour intégrer adéquatement ces informations dans le savoir-faire local.

Connaissances et suivi requis

La formation des agriculteurs en tant qu'agents de vulgarisation communautaires est un processus éducatif complexe qui doit être constamment adapté et rester flexible par rapport aux conditions sociales et culturelles de chaque localité ainsi qu'au contexte institutionnel et des ressources naturelles de la production agricole locale. Les Agents de vulgarisation communautaires nécessitent une formation technique spécialisée sur les pratiques agricoles appropriées au niveau local, y compris la culture à planter, le sol et la gestion de l'eau, l'élevage et la pêche pour combler le vide laissé par le service de l'État et le secteur privé formel. Le programme doit être conçu pour refléter le niveau d'éducation des participants. Les barrières culturelles et linguistiques doivent également être prises en compte dans la prestation de la formation. La formation devrait promouvoir la recherche-action, l'apprentissage pratique et l'apprentissage de producteur à producteur; en vertu d'une méthodologie qui combine des aspects théoriques et pratiques.

Coût et besoins financiers

Le financement extérieur est généralement nécessaire pour mettre en place des centres de formation. Lorsque la formation est effectuée par des organisations locales et des facilitateurs communautaires, les coûts de démarrage initial peuvent être modérés, et les coûts de fonctionnement seront beaucoup plus faibles. Au Pérou, entre 1996 et 2000, le coût annuel moyen de la formation d'un agent de vulgarisation était de 1 200 \$ (De la Torre Postigo, 2004). Les coûts de la formation des agriculteurs dans plusieurs programmes en Afrique de l'Est varient entre 9-35 \$ par jour, selon si des agents de vulgarisation ou des agriculteurs facilitateurs sont utilisés (Dragun, 2001). Il peut être possible de demander une petite participation aux agents de vulgarisation pour la formation, selon leurs moyens. En Afrique de l'Est, les agents de vulgarisation gèrent de petites parcelles commerciales à côté des parcelles d'étude afin de recueillir des fonds pour acheter des intrants et de la papeterie (Braun et Duveskog, 2008). Au Bangladesh, la formation de Practical Action et des agents de différents départements en 2002-3, y compris le don d'équipement, la formation de recyclage et le suivi sur le terrain a coûté 12 730 Taka par personne (177 \$) dans le cas de l'élevage et 8 050 Taka par personne (112 \$) dans le cas de l'agriculture et de la pêche (Coupé et Pasteur, 2009).

Exigences institutionnelles et organisationnelles

Il est nécessaire de promouvoir le débat sur l'importance de la vulgarisation et de l'enseignement technique rural au moyen d'efforts coordonnés avec toutes les institutions présentes dans la zone qui se consacrent au développement rural. Ça peut être des institutions publiques consacrées au développement agricole, des associations de producteurs, des organisations d'utilisateurs d'eau, des instituts de recherche, des universités locales, des entreprises privées et des ONG.

Il est souhaitable d'obtenir un accord interinstitutionnel entre un groupe d'institutions pour faire avancer le développement d'un système d'extension qui répond aux besoins particuliers de la localité. Identifier les meilleures pratiques agricoles dans la zone d'intervention, que cela soit celles des agriculteurs, des associations de producteurs ou des entreprises, et sécuriser l'aide à la formation des vulgarisateurs communautaires, peut également représenter un soutien financier et technique important.

La création d'un institut de formation avec le soutien du groupe d'institutions identifiées contribuera à assurer la viabilité à long terme. Enfin, il est nécessaire de créer un modèle pour institutionnaliser la formation de vulgarisation en milieu rural dans un cadre plus large pour les institutions de formation et d'éducation formelle afin de faciliter l'extension du programme.

Facteurs entravant la mise en œuvre

Les obstacles à la mise en œuvre comprennent un manque d'appréciation des connaissances locales. Cela peut être surmonté avec une action concertée pour valider et diffuser des informations sur les pratiques autochtones et développer des techniques appropriées qui combinent ce savoir-faire avec les stratégies modernes. Un manque d'accès au crédit pour les agents de vulgarisation pour acheter du matériel de base nécessaire peut aussi agir comme un obstacle à la mise en œuvre réussie.

Facteurs favorisant la mise en œuvre

La mise en œuvre d'un programme de vulgarisation communautaire offre une opportunité pour la génération de stratégies de développement agricole et d'élevage innovantes et durables qui englobent les coutumes et le savoir-faire locaux. En outre, le modèle facilite le développement des compétences entrepreneuriales parmi les participants et fournit des bénéfices multiples qui vont bien au-delà des effets immédiats. Une autre possibilité offerte par ce modèle est l'établissement d'alliances stratégiques entre les organismes éducatifs, techniques et scientifiques locaux pour promouvoir l'échange d'informations et faciliter une plus large diffusion.

Cas réel d'application

Encadré 4.51 Expériences des animateurs ruraux au Bangladesh et au Kenya

Dans la région de Turkana, au nord du Kenya, la santé des animaux est une partie essentielle des moyens de subsistance des communautés pastorales. Toutefois, les services vétérinaires officiels souvent n'atteignent pas les zones reculées où vivent de nombreux éleveurs.

Les agents communautaires de santé animale (ACSA) ont été reconnus comme ayant un rôle dans la réduction de cet écart pendant plus d'une décennie dans la politique nationale au Kenya, mais en réalité, les ACSA n'entrent que très peu dans les pratiques vétérinaires ordinaires. Practical Action Afrique de l'Est a travaillé avec eux pour changer cela. Ils ont encouragé le Bureau vétérinaire du district à former davantage d'ACSA et à assurer un suivi et un service de référence pour les cas complexes. Practical Action Afrique de l'Est a également contribué à établir des liens entre les ACSA et les services pharmaceutiques (Coopers K Marque et Norbrook), à assurer une formation sur l'utilisation des produits pharmaceutiques et à créer une chaîne d'approvisionnement fiable pour les médicaments essentiels.

On remarque que les ACSA jouent désormais un rôle de surveillance pour le compte de l'Office vétérinaire du district. Ils répondent aux appels d'urgence en 24 heures et les rapports au niveau du kraal indiquent que le taux de survie du bétail traité et identifié comme à risque par les ACSA a atteint 70 pour cent, par rapport à une base de référence de 15 pour cent. En moyenne, le secteur pharmaceutique approvisionne les ACSA deux fois par mois en médicaments, une collaboration qui avant était inexistante. Dr Were, le directeur des ventes de Norbrook à Eldoret, dit que ces transactions rapportent 70 000 KSh par mois: « Je n'aurais jamais cru que les éleveurs pouvaient constituer un marché aussi important. C'est un marché sur lequel nous devons nous recentrer ».

Source: Site Web de Practical Action, www.practicalaction.org

4.7.2 Écoles pratiques d'agriculture

Définition

Les Farmer Field Schools (FFS), écoles pratiques d'agriculture, sont une forme d'apprentissage en groupe, utilisée par un certain nombre de gouvernements, d'ONG et d'organismes internationaux, à l'origine pour promouvoir la lutte antiparasitaire intégrée (LIA). Les premières FFS ont été conçues et gérées par l'Organisation pour l'alimentation et l'agriculture des Nations Unies (FAO) en Indonésie en 1989. Elles ont été élaborées en réponse à la perception que les petits agriculteurs ne géraient pas correctement, l'agriculture à base de produits agrochimiques, en particulier la lutte antiparasitaire par l'usage de pesticides. De nombreux agriculteurs n'ont pas les ressources pour pouvoir utiliser des pesticides, et parfois de mauvaises utilisations et de mauvaise méthode de stockage ont causé des problèmes d'empoisonnement. En outre, de nombreux parasites semblaient développer rapidement une résistance aux pesticides. Les FFS rassemblent des concepts et des méthodes issues de l'agro-écologie, de l'éducation expérimentale et du développement communautaire, dans processus d'apprentissage en groupe. Globalement, les FFS visent à renforcer la compréhension des agriculteurs sur les processus écologiques qui affectent la production de leurs cultures ou l'élevage de leurs animaux, en menant des exercices d'apprentissage sur le terrain tels que les observations sur le terrain, de simples expériences et des analyses de groupe. Les connaissances tirées de ces activités permettent aux participants de prendre leurs propres décisions spécifiques à leur milieu sur les pratiques de gestion des cultures. Bien que les FFS aient été lancées comme un processus de formation pour la lutte antiparasitaire pour les grandes cultures, leurs principes ont désormais été adaptés à tous les systèmes de production agricole, de l'élevage à la production de café.

Comment la technologie contribue-t-elle à l'adaptation au changement climatique?

L'approche FFS représente une rupture radicale avec les programmes de vulgarisation agricole classiques, dans lesquels les agriculteurs étaient censés adopter des recommandations générales qui avaient été formulées par des spécialistes extérieurs à la communauté. Les caractéristiques de base d'une FFS sur la lutte antiparasitaire intégrée pour la production de riz sont les suivantes (de Ponce et al, 2002; Bijlmakers, 2005):

- Les écoles pratiques de la lutte antiparasitaire intégrée sont sur le terrain et sont ouvertes pendant une saison de culture complète
- Les groupes se réunissent une fois par semaine avec un nombre total de réunions de 10 minimum (et jusqu'à 16 réunions)
- Le matériel principal d'apprentissage au sein d'une FFS est le champ de cultures
- Les lieux de rencontre des FFS sont à proximité des parcelles où a lieu l'apprentissage, souvent dans la cour d'un fermier et parfois sous un arbre
- Les méthodes pédagogiques sont expérientielles, participatives et centrées sur les agriculteurs
- Chaque réunion comprend au moins trois activités: l'analyse des agroécosystèmes, un « sujet spécial », et une activité de groupe
- Dans tous les FFS, les participants effectuent une étude comparant les différents styles de gestion sur les parcelles
- Plusieurs études supplémentaires sur le terrain sont souvent réalisées en fonction des problèmes locaux
- Entre 25 et 30 agriculteurs participent aux cours dans les FFS. Les participants apprennent en petits groupes de cinq personnes de façon à maximiser leur participation.

- Un « jour de terrain » fait partie de l'apprentissage dans les FFS, jour pendant lequel les agriculteurs présentent les résultats de leurs études.
- Un test avant et après est mené à des fins de diagnostic et pour déterminer les activités de suivi.
- Les animateurs des FFS suivent une formation de longue durée intensive pour les préparer à organiser et diriger des FFS.
- Des réunions de préparation précèdent la mise en place de FFS pour déterminer les besoins, recruter des participants, et développer un contrat d'apprentissage.
- Lors des réunions finales, la planification des activités de suivi est discutée et mise en place.

Le cursus des FFS a été élaboré sur l'hypothèse que les agriculteurs ne pouvaient mettre en œuvre la gestion intégrée des cultures, une fois qu'ils avaient acquis la capacité d'effectuer leur propre analyse, de prendre leurs propres décisions et d'organiser leurs propres activités. Les processus d'autonomisation, plutôt que l'apprentissage et l'adoption de techniques de gestion spécifiques, sont ce qui favorise le succès de développement des FFS.

Le changement climatique apporte de nombreux changements complexes et imprévisibles qui affectent la viabilité et la gestion des systèmes agricoles. Non seulement il y a des changements de température et de précipitations, mais aussi une augmentation de la variabilité climatique, en particulier en ce qui concerne la durée et l'intensité des saisons. Cela affecte toute une série de conditions liées à la performance et la gestion des différents systèmes d'exploitation: de l'époque des semis à la floraison, et à la prévalence des différentes maladies et parasites. Pour faire face à cette accentuation de la variabilité, les agriculteurs auront besoin de mieux comprendre les processus qui affectent les performances des différents systèmes de production qu'ils gèrent et ils devront faire des essais constants et constamment adapter leurs systèmes de production. Plus encore que la connaissance agronomique que les agriculteurs acquièrent dans les FFS, les habitudes et les capacités de constante adaptation, sont essentielles pour que les agriculteurs puissent faire face au changement climatique.

Avantages

Les écoles pratiques d'agriculture représentent un mécanisme efficace pour la formation en groupe et elles peuvent atteindre des milliers de petits agriculteurs avec des connaissances et contenus techniques que chacun peut adapter à ses propres circonstances. Au-delà de cela, comme indiqué, cette méthode permet aux agriculteurs, à la fois individuellement et collectivement, de participer plus efficacement au processus de développement agricole.

Désavantages

L'éducation des agriculteurs par le biais des FFS nécessite plus de temps que le simple transfert de connaissances techniques. L'expérimentation menée peut initialement générer plus d'échecs que de succès, mais aussi générer ainsi des recommandations techniques pour la petite agriculture. À moyen terme, la participation aux cours des FFS conduit à des effets plus durables.

Connaissances et suivi requis

La formation des formateurs de facilitateurs est fondamentale pour le succès des FFS. Cela exige souvent la reformation des agents de vulgarisation en ce qui concerne les compétences et les attitudes qui ne faisaient pas partie de leur formation initiale. Les agents de vulgarisation ont généralement été

formés dans le transfert de connaissances techniques plutôt que dans l'éducation des adultes et dans les méthodes d'apprentissage participatif. Les FFS exigent des facilitateurs qu'ils puissent développer les connaissances des participants en matière de capacités de processus agro-écologiques. Cependant, leur méthode pédagogique ne doit pas consister à « donner une leçon » sur les processus, mais bien à aider les agriculteurs, grâce à des exercices de découverte, à déterminer et comprendre les processus. Suite à ces formations, les options de gestion sont définies grâce à l'intégration des connaissances locales des agriculteurs avec les connaissances écologiques acquises au sein des FFS.

Coûts et besoins financiers

Le développement des FFS s'est fait grâce à un programme national de lutte intégrée en Indonésie, qui s'est déroulé entre 1989 et 2000, financé par les États-Unis (subvention de 25 millions de dollars), la Banque mondiale (prêt de 37 millions de dollars) et le gouvernement indonésien (14 millions de dollars). La FAO a fourni une assistance technique sous forme d'une équipe d'experts basés en Indonésie, et sur une plus petite échelle au Bangladesh, au Cambodge, en Chine et au Népal. Au total, sur une période de 15 ans, entre 1989 et 2004, environ 100 millions de dollars de subventions ont été allouées à des projets de lutte intégrée en Asie qui ont utilisé l'approche des FFS sous la direction de la FAO. En conséquence, plus de deux millions d'agriculteurs à travers toute l'Asie ont participé à ce type d'apprentissage (Bartlet, 2005).

Le coût de la mise en place d'une école pour une saison pour 25 agriculteurs varie de 150 \$ à 1 000 \$ selon le pays et l'organisation. Dans certains cas, les diplômés des FFS ont sauvé 40 \$ par hectare par saison en éliminant les pesticides, et ce sans perte de rendement. Dans d'autres cas, les diplômés n'ont pas pu faire d'économies parce qu'ils n'utilisaient pas de pesticides auparavant. Cependant, leurs rendements ont augmenté de près de 25 pour cent à la suite de l'adoption d'autres pratiques apprises durant les cours, comme l'utilisation de variétés améliorées, la meilleure gestion de l'eau et le renforcement de la nutrition des plantes.

Les problèmes conceptuels et méthodologiques associés à l'évaluation de l'impact des écoles ont créé des désaccords entre les experts sur leurs avantages. Un document des économistes de la Banque mondiale a mis en doute l'avantage de ces écoles pratiques (Feder, Murgai et Quizon, 2004a et 2004b). En revanche, une méta-analyse de 25 études d'impact commandées par la FAO (van den Berg, 2004) a conclu que, selon la majorité des études, il y avait des réductions substantielles dans l'utilisation de pesticides et, dans un certain nombre de cas, des rendements accrus en raison de la formation. En outre, la composante de « responsabilisation » de la formation a abouti à des impacts de développement étendus et durables, tels que l'apprentissage continu, l'augmentation des compétences sociales et politiques pour permettre une meilleure gestion des agroécosystèmes.

Facteurs entravant la mise en œuvre

Les écoles pratiques d'agriculture exigent des modifications substantielles en ce qui concerne la capacité des services de vulgarisation agricole, à la fois en termes de politiques de développement agricole et de capacités de ceux qui l'exécutent. La reformation des services de vulgarisation agricole représente un investissement important, et une certaine résistance à tous les niveaux peut être un obstacle important. En outre, depuis que les FFS sont devenues un concept populaire, il y a un danger que leur nom soit utilisé pour désigner tout type de formation de groupe, sans que cela ne suive forcément et réellement les concepts de renforcement des capacités d'apprentissage des participants.

Facteurs favorisant la mise en œuvre

Malgré les arguments entre économistes et décideurs politiques, il y a eu un engouement important pour les FFS de la part des agriculteurs et des praticiens du développement dans un certain nombre de pays asiatiques. La participation aux cours a toujours été volontaire. Aucun des projets et programmes soutenus par la FAO n'a fourni des incitations financières pour les participants. Au contraire, la participation a toujours impliqué un coût considérable en termes de temps et d'efforts. Malgré ces coûts, deux millions d'agriculteurs ont décidé d'y participer. Dans la plupart des pays, la demande a été plus importante même que l'offre et les taux d'abandon ont été très faibles. En outre, il existe de nombreux exemples d'agriculteurs qui ont décidé de former d'autres membres de leur communauté et qui continuent à travailler en groupe même après la formation.

Plus d'informations sur les écoles pratiques d'agriculture peuvent être trouvées à l'adresse suivante: Global Farmer Field School Network and Resource Centre: <http://www.farmerfieldschool.info/> and www.share4dev.info/ffsnet/documents/3155.pdf.

Étude de cas

Encadré 4.52 Centre de formation pratique sur la production de patates douces en Afrique de l'Est

Des écoles pratiques d'agriculture (FFS) pour la production de la patate douce et la gestion post-récolte ont été établies par le programme de protection des cultures DFID dans 22 communautés du Kenya, d'Ouganda et de Tanzanie avec plus de 500 agriculteurs participants. La première étape consistait à élaborer un guide de formation et à former les formateurs, le cours a été amélioré d'après les retours des participants. Les cours couvrent les domaines: du développement de nouvelles variétés de patates douce, de l'agronomie, de la gestion de la maladie et de la lutte antiparasitaire, de la collecte de données de conception et expérimentales, des compétences de facilitation et de communication, de la planification et de l'agriculture en tant qu'entreprise, du traitement post-récolte et du développement de produits de la patate douce. Les formateurs ou animateurs comprenaient à la fois des agents de vulgarisation, mais aussi les animateurs agricoles.

Les changements que les agriculteurs ont introduits ont eu les effets suivants:

- Faire pousser des variétés de patates douces ayant une haute teneur en vitamine A
- L'amélioration de l'accès à du matériel de plantation à la fin de l'année
- L'augmentation de la productivité
- L'amélioration de la prise de décision fondée sur des preuves économiques
- La vente de produits fabriqués à partir de patates douce
- La mise en place d'unités de traitement au village pour commercialiser les produits
- L'utilisation de différentes recettes de patates douce
- Sur la base de ces résultats, les organisations nationales ont élargi le programme des FFS à plus de mille agriculteurs. Comme on peut le voir, les résultats sont allés bien au-delà des domaines directs de la formation et ont inclus des domaines tels que la transformation et la commercialisation des produits.

Source: Stathers et al, 2006b

Encadré 4.53 Centre de formation pratique pour la lutte antiparasitaire du cacao

Le Sustainable Tree Crops Programme (STCP) ou programme pour le développement durable des cultures d'arbres pérennes, de l'IITA, a adapté la méthode des FFS, généralement utilisée pour les cultures annuelles, pour travailler avec les agriculteurs sur la gestion des ravageurs du cacao, qui est une culture pérenne.

Les objectifs sont les suivants:

- Fournir un environnement dans lequel les agriculteurs peuvent acquérir les connaissances et les compétences pour être en mesure de prendre les bonnes décisions de gestion des cultures
- Renforcer la capacité des agriculteurs à prendre des décisions cruciales et éclairées qui rendront leurs activités agricoles plus rentables et durables
- Améliorer les capacités de résolution de problèmes
- Montrer aux agriculteurs les avantages de travailler en groupe et encourager les activités de groupe
- Responsabiliser les agriculteurs à devenir des « experts » sur leurs propres exploitations et à devenir plus confiants dans la résolution de leurs propres problèmes

L'enseignement FFS développé par le STCP sur la gestion intégrée des cultures du cacao et de la lutte antiparasitaire couvre huit thèmes:

- La pourriture brune des cabosses du cacao
- Les mirides
- L'assainissement agricole et les pratiques culturelles
- La fertilité des sols et l'utilisation d'engrais
- Prendre des décisions à propos de la réhabilitation d'une ferme de cacao
- La qualité du cacao
- La sensibilisation sur le travail des enfants
- La sensibilisation au VIH/sida

Comme le cacao est une culture pérenne, la périodicité des sessions d'apprentissage avec les agriculteurs était toutes les deux semaines plutôt que chaque semaine, mais a été étendue à une durée de 9 à 10 mois (au lieu de trois à quatre mois pour la plupart des cultures annuelles). De même, les évaluations des agroécosystèmes (qui font le point sur les ravageurs et les maladies) normalement effectuées chaque semaine dans les cultures annuelles ont été faites selon la phénologie ou le développement des maladies et des cultures. En outre, comme le cycle est long, plutôt que de former des facilitateurs sur l'ensemble d'un cycle avant leur collaboration avec les agriculteurs, les animateurs ont reçu une formation méthodologique initiale, puis des séances de recyclage ont été organisées en parallèle avec la formation des agriculteurs, afin de ne pas retarder d'une année le début de la formation des agriculteurs.

Source:http://www.worldcocoafoundation.org/scientific-research/research-library/pdf/FFS_implementation_manual1.pdf

4.7.3 Groupes communautaires d'utilisateurs des forêts

Définition

Dans de nombreux pays, la gouvernance forestière est restée un processus centralisé exécuté de « haut en bas ». Les politiques ignoraient le rôle des forêts en tant que moyens de subsistance et pour les cultures tribales, violant les lois protégeant les droits de ces communautés. Les installations et les procédures d'identification et de définition des forêts sont pauvres, aboutissant à des conflits liés à l'utilisation des terres, des limites mal définies, des litiges et une gestion inappropriée des terres classifiées à tort comme étant une « forêt ». Les groupes d'utilisateurs des forêts (FUG, acronyme anglais) représentent un mécanisme de décentralisation de la gestion des forêts et conduisent à une augmentation de la responsabilité et de l'autorité communautaire. Les FUG sont fondés sur les principes de la participation, de l'action collective et de la durabilité à long terme. Ils sont formés par des processus démocratiques où les résidents locaux sont élus en tant que représentants de la communauté pour travailler en tant qu'organe autonome aux côtés des autorités gouvernementales existantes pour gérer les ressources forestières et articuler les besoins et les priorités des populations locales. Les membres des FUG peuvent recevoir une formation dans la gestion des ressources et participer aux mécanismes de gestion forestière multi-parties, élaborer des plans d'utilisation des terres en conformité avec les lois et les règlements forestiers nationaux, et entreprendre des patrouilles forestières et des campagnes de sensibilisation dans le but de freiner les activités illégales (Ensor, 2009; IDS, 2006).

Description

Selon Mohan et al (2003), il y a quatre phases principales pour la mise en place des FUG:

- Évaluation des informations de base des utilisateurs de la forêt et tenue de réunions communautaires pour discuter et définir les objectifs et les processus, identifier les limites des forêts et connaître les priorités et les besoins locaux
- Préparation de la constitution d'une FUG (rôles et responsabilités) et d'un plan opérationnel pour la gestion forestière, en coopération avec les autorités gouvernementales locales
- Élection du Comité exécutif
- Autorisation formelle du Comité élu et du FUG par le bureau responsable de la gestion forestière locale/de district et commencement des opérations

Comment la technologie contribue à l'adaptation

Les FUG fournissent une plate-forme grâce à laquelle les communautés peuvent directement participer à l'identification des problèmes locaux, des besoins et des solutions possibles face au changement climatique et au risque de catastrophes. Si les communautés locales ont systématiquement évalué leur situation et qu'elles savent clairement de quoi elles ont besoin pour s'adapter de la meilleure manière possible aux effets du changement climatique, elles peuvent contribuer efficacement aux plans au niveau du district. Ceux-ci peuvent, à leur tour, transmettre des informations pour les plans et les programmes régionaux et nationaux d'adaptation (Regmi et al, 2010). Dans certains contextes, les FUG peuvent également fournir un moyen efficace pour l'action collective de la communauté sur un large éventail d'activités de développement. Ces activités comprennent des initiatives pour améliorer l'éducation, la santé, l'assainissement, les infrastructures rurales et de l'eau potable – qui renforcent la capacité d'une communauté à s'adapter aux futurs défis et possibilités présentés par le changement climatique.

Avantages

Là où les FUG sont reconnus par les autorités gouvernementales locales, la restauration des terres et des droits fonciers peut aider les communautés indigènes à avoir accès à des ressources vitales qui peuvent renforcer et diversifier les activités de subsistance, et ainsi construire leur résilience face aux impacts du changement climatique. Les bénéfices environnementaux comprennent une augmentation de la biodiversité et de la résilience des écosystèmes grâce à la conservation des variétés locales, la reforestation, et un taux réduit d'exploitation. Les impacts environnementaux sont aussi visibles là où des systèmes de propriété commune ont été mis en place, favorisant une utilisation plus durable et une collection de produits forestiers (IDS, 2006).

Désavantages

Les limites des FUG se font ressentir si les groupes sont constitués uniquement des membres les plus influents des communautés et quand les gens les plus pauvres et les plus marginalisés ne reçoivent que très peu de bénéfices (IDS, 2006). Des conflits peuvent naître là où l'utilisation des ressources parmi les résidents locaux est très individualisée et diverse (Eagle, 1992). Dans les communautés où ce n'est pas la coutume de travailler en communauté, il peut être difficile de stimuler et maintenir la motivation pour participer et comprendre les avantages d'une action commune (Ensor, 2009).

Connaissances et suivi requis

Lors de la mise en place d'un FUG il est important de comprendre la dynamique des communautés locales et de garantir la participation d'un échantillon représentatif des membres de la communauté. Une évaluation des ressources forestières complètes devrait être effectuée, en utilisant de préférence deux méthodes: une évaluation participative qui fait un recouplement entre les membres de la communauté, et les données quantitatives de la technologie SIG. Cet inventaire peut ensuite être utilisé à des fins de suivi (Richards et al, 1999). La connaissance des activités de subsistance, le coût de la main-d'œuvre, les flux des produits forestiers (c'est à dire les sources, les espèces et le calendrier des ventes et des dépenses) sont essentiels pour comprendre les avantages potentiels des FUG, pour identifier les objectifs des FUG et faire un calcul économique élémentaire du rendement de la gestion des ressources forestières locales (Richards et al, 1999). Procéder à une analyse financière d'un système FUG, dans laquelle les avantages et les coûts des différents intervenants peuvent être calculés, peut rendre les questions d'équité plus transparentes et peut être utilisé comme un outil de consultation et de négociation au sein du FUG. Des indicateurs financiers peuvent être utilisés également pour assurer le processus de responsabilisation et de transparence continue des FUG, donnant de ce fait plus d'autonomie aux membres les plus pauvres du FUG. La sensibilisation à la politique et aux procédures forestières est également une exigence fondamentale dans la compréhension des droits fonciers et est essentielle pour la formulation des stratégies de subsistance et de conservation appropriées. Par exemple, un paysan sans terre est plus susceptible d'être intéressé par les cultures commerciales qui peuvent générer un revenu, plutôt que d'investir du temps et des efforts dans les pratiques (telles que l'agroforesterie) qui ne présenteront des avantages qu'à long terme. De même, comprendre les marchés locaux et la demande des produits forestiers est essentiel pour établir une stratégie efficace des FUG.

Coût et exigences financières

Le financement de chacune de ces étapes et des autres activités dépendra entièrement du contexte local et du contenu des plans de gestion forestière. Cependant, il est de la responsabilité des autorités de financer les programmes de formation des services techniques nécessaires pour permettre aux paysans de développer les compétences nécessaires pour exploiter avec succès les FUG (IDS, 2006).

Exigences institutionnelles et organisationnelles

Une bonne compréhension des dynamiques culturelles, sociales et politiques est nécessaire pour accompagner le processus. Les FUG seraient plus faciles à mettre en place et seraient plus susceptibles de réussir là où les conditions de travail communales existent déjà. En outre, les membres de la communauté devront être prêts à accepter les responsabilités de gestion des ressources forestières et les gouvernements doivent être prêts à allouer des responsabilités de gestion aux autorités locales et aux paysans (IDS, 2006). Les FUG fonctionneront mieux là où les politiques forestières décentralisées apportent leur soutien à l'affectation du pouvoir ou à la certification du groupe d'utilisateurs de la forêt pour la gestion des ressources forestières locales. La connaissance des politiques forestières existantes, les limites de l'autorité et les processus de législation locale seront donc cruciaux pour faciliter la mise en place du FUG et pour assurer leur durabilité.

Lorsqu'il y a des conflits sur l'usage de la forêt, ils devraient être discutés proactivement dans une formation participative et en phase de gestion des FUG afin d'atténuer les conflits et d'assurer une représentation adéquate des besoins et priorités des diverses collectivités. Une surveillance régulière de la consommation de produits forestiers, l'affectation et la distribution des ressources, le revenu des différents utilisateurs, les relations intergroupes et la catégorisation des membres riches et pauvres de la communauté devraient être entrepris chaque année afin que les caractéristiques socio-économiques des groupes d'utilisateurs soient comprises par le Comité exécutif. Comprendre ces caractéristiques devrait servir à former la base de plans de gestion équitables et transparents qui répondent aux besoins fondamentaux des utilisateurs et qui donnent la priorité au partage des bénéfices fondé sur la situation économique relative des utilisateurs (Dahal, 1994).

Les obstacles à sa mise en œuvre

Une barrière essentielle à la mise en œuvre effective des FUG peut survenir là où les questions de propriété et de responsabilité de la gestion des forêts sont confuses et contradictoires. Au Népal, par exemple, les lois du gouvernement national et des autorités locales donnent la responsabilité de la gestion des forêts aux différents organes, ce qui a créé la confusion sur les droits définitifs de propriété et a conduit à des ambiguïtés dans la mise en œuvre des activités FUG (Mohan, Shin and Murali, 2003).

Les faibles compétences et les capacités des groupes défavorisés et la mauvaise représentation des membres des communautés marginalisées peuvent limiter la distribution équitable des bénéfices. Pour résoudre ces problèmes, il est nécessaire de renforcer les compétences de ces groupes dans des domaines comme l'alphabétisation, la prise de décisions et la planification. Les FUG doivent être créés sur la base d'une représentation équitable de tous les groupes communautaires, y compris les femmes.

Les opportunités de mise en œuvre

Les opportunités potentielles comprennent:

- Social: renforcement des mécanismes de gouvernance et de la coordination décentralisée, prise de décision démocratique et transparente, suivi et gestion des fonds; renforcement des relations et des réseaux (capital social); responsabilité politique des communautés, y compris la sensibilisation aux droits; renforcer le droit de propriété, et développer les capacités, le bien-être et la sécurité.
- Économique: accès aux produits forestiers non ligneux (PFNL) et au bois destiné à la consommation directe des ménages; revenus de la vente des PFNL, revenus des activités agroforestières, marché des services environnementaux et du bois; l'emploi dans les activités d'aménagement forestier; les avantages de l'utilisation communautaire des forêts pour les pauvres. Un système de modélisation

des prestations (pour montrer qui donne et qui reçoit quoi, et qui pourrait potentiellement donner et obtenir quoi, basé sur le classement des richesses et des besoins) peut être un outil utile. Le développement et le marketing des petites entreprises amélioreront également la capacité d'identifier et de créer de nouvelles opportunités de moyens d'existence. L'investissement des bénéfices dans les infrastructures locales.

- Environnemental: entretien des services environnementaux (biodiversité, santé des sols, productivité agricole, la séquestration de carbone, qualité de l'eau et de l'air).

Exemple concret d'application

Encadré 4.54 *Livelihoods and Forestry Programme* (programme sur les moyens de subsistance et la foresterie) au Népal

Le programme *Livelihoods and Forestry Programme* au Népal (programme sur les moyens de subsistance et la foresterie) aide les groupes communautaires à gérer plus de 396 000 hectares de forêt. Les groupes d'usagers des forêts (FUG) communautaires au Népal ont des pratiques très systématiques quant à leur adaptation à la variabilité du changement climatique. Les groupes d'usagers des forêts communautaires du programme *Livelihoods and Forestry Programme*, mené par le Département de Développement International du Royaume-Uni (DFID, acronyme anglais), ont dirigé des évaluations participative de la vulnérabilité dans le but de préparer des cartographies ou des ressources forestières, ont identifié les zones prioritaires critiques, ont hiérarchisé les risques et les dangers, ont développé une cartographie des parties prenantes, ont mis en place des projets d'adaptation pilotes et ont formé leurs membres.

Impacts

- Travailler avec les forêts communautaires que l'on estime séquestrer environ une demi tonne de carbone par an. Si ce carbone devient commercialisable dans le futur, il vaudra une somme importante.
- Les nombreuses activités génératrices de revenus et les micro-entreprises qui développent les richesses et les biens des pauvres les aident à augmenter leur résilience face au changement climatique
- Mener des études sur les impacts du changement climatique sur le secteur forestier, la vulnérabilité au niveau de la communauté et les réponses possibles, et les services des écosystèmes
- Mettre à l'essai les pratiques en matière d'adaptation au changement climatique
- Aider à façonner le développement des plans d'adaptation aux niveaux national, local et au niveau des FUG. Apporter un soutien pour la planification de l'adaptation au changement climatique au niveau des FUG.
- Développer l'utilisation de sources d'énergie renouvelables alternatives
- Renforcer les capacités des partenaires et des parties prenantes, que cela soit en les sensibilisant sur les menaces et opportunités que génère le changement climatique, ou en développant leurs compétences en matière de négociations internationales

Défis

- Démontrer que les FUG sont compétents pour gérer, utiliser et distribuer n'importe quel financement relatif à l'adaptation
- S'assurer que les voix des pauvres et des marginalisés soient bien entendues et qu'ils influencent la planification nationale et les négociations
- Développer des plans d'adaptation à temps – puisque les effets du changement climatique se font déjà ressentir et qu'il est clair que les populations pauvres sont les plus vulnérables

Source: *Livelihoods and Forestry Programme*, <http://www.lfp.org.np/>. Consulté en 2011

4.7.4 Associations des usagers de l'eau

Définition

Une association des usagers de l'eau (AUE) est une organisation pour la gestion de l'eau composée d'un groupe de petits et grands usagers d'eau, tels que les irrigants, qui mettent en commun leurs ressources financières, techniques, matérielles et humaines pour l'exploitation et l'entretien d'un système local d'eau, comme un bassin hydrographique par exemple. Les AUE sont généralement organisées en structure à but non lucratif et l'adhésion est généralement fondée sur des contrats et/ou des accords entre les membres et l'AUE (IWMI et SIC ICWC, 2003). Les AUE jouent un rôle clé dans les approches intégrées de la gestion de l'eau cherchant à établir une structure de gouvernance décentralisée, participative, multisectorielle et multidisciplinaire.

Description

Une AUE est un groupe de personnes qui se sont formellement et volontairement associées à des fins de collaboration pour ce qui est de la gestion et de la conservation de l'eau. Les objectifs d'une AUE comprennent généralement:

- La conservation des bassins versants
- La gestion durable des ressources en eau
- L'augmentation de la disponibilité des ressources en eau
- L'accroissement de l'utilisation de l'eau pour des améliorations économiques et sociales
- Le développement d'institutions durables et adaptées.

L'activité principale d'une AUE est de faire fonctionner les aqueducs sous sa responsabilité et de surveiller la répartition de l'eau entre ses membres. Les fonctions clés d'une AUE comprennent:

- Échanger des informations et des idées sur l'utilisation des ressources en eau
- Surveiller la disponibilité et l'utilisation de l'eau (encadré 4.54)
- Fournir une assistance technique dans des domaines tels que la gestion des sols, de l'eau et des cultures, la diversification des moyens de subsistance, le marketing, la finance et l'épargne
- Discuter des projets et des développements potentiels (y compris le changement climatique) qui peuvent affecter l'utilisation de l'eau
- Exploiter et maintenir un service de l'eau (comme un moulin à eau, un canal, ou l'irrigation)
- Gérer un système de distribution d'eau, y compris la fixation des tarifs et percevoir les droits
- Résoudre les conflits liés à l'utilisation de l'eau
- Représenter les besoins des utilisateurs dans les établissements supérieurs de gestion de l'eau

Encadré 4.55 Suivi participatif des ressources hydriques, gestion des eaux du bassin de Pangani, en Tanzanie

Pangani est un bassin hydrique déficitaire en eau (<1200 m³ d'eau par personne et par an) et le changement climatique devrait exacerber cette situation. La Première Communication Nationale (INC, acronyme anglais) de Tanzanie prévoit des hausses de température, une diminution des précipitations, et une augmentation de l'évaporation dans le bassin de Pangani, ce qui devrait se traduire par une baisse de 6 à 10 pour cent du débit annuel. Les débits de la rivière ont déjà diminué au point que l'eau de mer s'introduit à environ 20 km en amont de l'estuaire.

L'agriculture est le plus gros utilisateur d'eau avec plus de 50 000 hectares de champs irrigués dans le bassin de Pangani. Cela inclut de grandes propriétés commerciales (café et sucre), les cultures de fleurs et la polyculture à petite échelle.

L'efficacité de l'utilisation de l'eau des différents systèmes d'irrigation est très faible (souvent moins de 15 pour cent). Le bétail est également tenu dans le bassin, y compris les bovins laitiers, les chèvres et les moutons. Les autres produits dérivés du bassin comprennent les plantes aquatiques, la nourriture, les plantes médicinales et les poissons, crocodiles, hippopotames et les oiseaux. La fourniture de tous ces biens est affectée par la quantité et la qualité des ruissellements des eaux de pluie dans le bassin versant. Des conflits apparaissent entre les différents usagers. Comme les effets du changement climatique augmentent cumulativement, les conflits, la dégradation environnementale et la perte des moyens de subsistance deviennent plus probables.

Le projet du bassin de la rivière de Pangani a promu une politique de décentralisation forte dans laquelle les AUE participent via des forums, où les utilisateurs d'eau peuvent discuter et analyser les questions de gestion locale de l'eau et négocier des solutions équitables aux conflits. Le suivi participatif des ressources en eau a été mis en œuvre par l'intermédiaire d'évaluations des flux environnementaux qui fournissent des informations techniques aux gestionnaires de l'eau sur les allocations nécessaires pour le maintien de biens et de services environnementaux. Ces études techniques décrivent les implications sociales, économiques et environnementales de divers scénarios de répartition de l'eau afin de trouver l'équilibre optimal entre les utilisations concurrentes.

Source: Projet de gestion du bassin de la rivière de Pangani

Comment la technique contribue-t-elle à l'adaptation au changement climatique?

Une AUE peut contribuer à l'adaptation au changement climatique en fournissant un mécanisme de coopération grâce auquel les activités suivantes peuvent être réalisées:

- Surveiller l'impact du changement climatique sur les ressources en eau
- Responsabiliser les usagers de l'eau et les décideurs à gérer et allouer des ressources en eau en tenant compte des changements climatiques, de l'environnement et d'autres informations techniques par le biais de processus de consultation
- Promouvoir la participation dans les processus de gestion nationale du changement climatique et de gestion de l'eau
- Élaborer et diffuser des documents de sensibilisation sur les conséquences du changement climatique et des différents scénarios d'utilisation des ressources en eau entre les autorités locales, les décideurs, les communautés et le secteur privé

- Fournir des données pour la modélisation des impacts environnementaux, économiques et sociaux possibles résultant de changements des ressources disponibles en eau
- Donner la priorité aux besoins d'investissement pour les stratégies d'adaptation de gestion de l'eau, comme l'irrigation, et la surveillance de son efficacité.

Avantages

Les AUE peuvent jouer un rôle crucial dans la conversion du contrôle centralisé des ressources naturelles en une gestion locale. Ceci est particulièrement important pour les efforts d'adaptation au changement climatique où la surveillance locale des ressources en eau, l'amélioration des infrastructures (telles que les canaux et les systèmes d'irrigation) et la participation du public au processus décisionnel, conduisent à une distribution plus équitable des ressources. Cela peut conduire à l'amélioration de la productivité agricole, qui à son tour contribue à augmenter les revenus et contribue à la sécurité alimentaire locale et nationale. Une analyse de sept modèles au Népal a constaté qu'en soutenant la diversification des moyens de subsistance et en améliorant l'infrastructure de gestion de l'eau, les AUE avaient un rôle direct dans l'augmentation de la productivité agricole et dans la diversification des sources de revenu des agriculteurs (INPIM, 2010). Dans la province de Mendoza, en Argentine, l'organisation de 21 AUE réalisant des inspections d'un canal qui alimente 13 985 hectares de terres agricoles en eau, a conduit à des bénéfices annuels estimés à 41 000 \$, soit 2,1 fois le budget des inspections (Chambouleyron, 1989). La formation d'une AUE peut également générer des impacts positifs pour l'environnement. Par exemple, des améliorations des systèmes d'irrigation peuvent réduire l'exploitation de l'eau et les problèmes de salinité. En fournissant une assistance technique aux agriculteurs locaux, les membres des AUE peuvent également avoir un impact direct sur l'amélioration des sols, sur la gestion de l'eau et sur les pratiques de gestion des cultures (UNESCO, date inconnue).

Désavantages

Le modèle d'organisation en coopérative sur lequel repose l'approche des AUE peut avoir des inconvénients si la zone d'opération ne correspond pas à une limite hydraulique et peut effectivement stimuler des conflits sur l'utilisation des ressources (par exemple, dans la rivière Cauvery au sud de l'Inde). Les conflits liés à l'agriculture d'irrigation se produisent entre les agriculteurs en amont et en aval, lorsque les agriculteurs en amont utilisent (ou sont perçus comme utilisant) trop d'eau. Une AUE pourrait aggraver les conflits entre les utilisateurs, car ses membres sont issus d'une même communauté plutôt que d'une sélection représentative de tous les usagers de l'eau dans un système particulier.

Connaissances et suivi requis

Les connaissances et le suivi requis comprennent:

- Les compétences juridiques et de gestion nécessaires pour mettre en place et maintenir le fonctionnement de l'AUE en tant qu'institution. Il s'agit notamment de la sensibilisation des membres, de leurs rôles et de leurs droits ainsi que la formation plus ciblée pour les membres individuels affectés à la réalisation de rôles spécifiques comme la comptabilité, les rapports financiers, la rédaction de rapports, la gestion des conflits et le leadership
- La formation en systèmes de gestion de l'eau. Cela peut inclure la construction d'infrastructures, la maintenance, l'entretien, le fonctionnement de la pompe, le suivi et la collecte des redevances d'utilisation de l'eau

- La formation à la production agricole (gestion des cultures, du sol, de l'eau et du bétail) en fonction des caractéristiques des activités de subsistances locales. Une formation à la sensibilisation des membres de la communauté pourrait également être nécessaire.

Coûts et besoins financiers

Le coût de l'établissement et du maintien d'une AUE dépendra de sa taille, de sa structure de gestion, de la zone d'opération et de ses fonctions. Une AUE prélève habituellement un droit d'entrée, puis une cotisation annuelle. Pendant la phase de formation initiale, un soutien financier supplémentaire peut être nécessaire pour assurer la mise en place de l'AUE. Lorsque l'établissement des AUE est soutenu par la politique nationale (comme une loi sur l'eau ou une loi sur l'irrigation), il peut y avoir un mécanisme en place pour accéder à un soutien financier. Ce soutien financier concerne surtout les pays où les AUE sont considérées comme faisant partie d'un programme de décentralisation mené par le gouvernement.

Les bailleurs internationaux, tels que l'USAID, l'UE et la Banque asiatique de développement, ont également fourni des fonds pour la mise en place d'AUE. Indépendamment, les AUE peuvent générer des revenus en facturant l'approvisionnement en eau et les services de distribution et de fourniture de services de vulgarisation agricoles, tels que l'assistance technique pour la gestion des cultures améliorées ou les conseils en marketing. Les AUE peuvent également lancer leurs propres activités commerciales, comme la pêche ou l'apiculture.

Exigences institutionnelles et organisationnelles

Les AUE sont généralement formées à partir des institutions qui ont une expérience précédente avec la gestion collective de l'eau, comme les conseils d'irrigation. Si un cadre national approprié est en place (habituellement une loi sur l'eau ou sur l'irrigation), une AUE peut devenir une entité juridique indépendante lors de l'approbation d'une demande après d'une autorité supérieure telle que le ministère des Ressources en eau. L'AUE est alors en mesure d'établir une constitution, une charte d'adhésion et un compte en banque. La mise en place d'une AUE suit les principales étapes suivantes:

- Choisir l'institution hôte et enregistrer l'AUE avec l'autorité nationale compétente
- Identifier les parties prenantes, sensibiliser et responsabiliser les membres de l'AUE
- Identifier les problèmes de gestion de l'eau par l'intermédiaire d'une analyse de diagnostic participative
- Mettre en place un plan d'affaires et une charte de constitution
- Elire un comité exécutif et engager un personnel de gestion
- Fournir une formation aux membres, par exemple, dans la planification, la budgétisation, et les travaux de construction civile

En termes de structure organisationnelle, une AUE comprend:

- Une assemblée générale, composée de tous les membres de l'AUE dont la fonction principale est de voter sur des questions d'une importance capitale et d'élire le conseil d'administration
- Un conseil d'administration qui supervise et détermine les orientations stratégiques, prépare les plans et budgets, présente les rapports aux bailleurs de fonds et établit les politiques
- Un gestionnaire responsable des activités au jour le jour et qui fait des recommandations au Conseil exécutif

- Personnel d'exploitation, d'entretien, administratif et financier (IWMI et SIC ICWC, 2003; UNESCO, date inconnue)

Les AUE vont interagir avec les autres acteurs impliqués dans la gestion de l'eau tels que les autorités de captage d'eau, les ministères nationaux et le secteur privé.

Il est probable que les activités d'une AUE seront pertinentes pour plus d'un ministère du gouvernement, tels que les ministères des Ressources en eau et de l'Agriculture et des Terres. Le succès de l'AUE dépendra donc de l'appui d'un éventail de différents acteurs gouvernementaux et comprendra une assistance financière, technique et opérationnelle et une collaboration.

La législation sous-tend tous les aspects de la formation et des activités des AUE. Il s'ensuit que l'absence d'une législation appropriée aura un impact négatif sur la durabilité des AUE, même si la législation permet aux AUE d'être formellement établies (Hodgson, 2007).

Facteurs entravant la mise en œuvre

L'expérience montre que si les AUE sont mises en place en utilisant une approche par le haut (dite « top-down »), elles seront faibles et présenteront un grand risque d'échouer. Les AUE devraient plutôt être créées en utilisant une approche consultative « bottom-up », c'est à dire une approche ascendante qui implique des agriculteurs et utilisateurs de l'eau à la base (IWMI et SIC ICWC, 2003). D'autres barrières comprennent des contraintes juridiques (comme par exemple des cadres juridiques appropriés, des droits relatifs à la terre et à l'eau), des contraintes financières si la mobilisation des financements devient un problème année après année, et un niveau de coordination efficace insuffisant entre les AUE et les autres acteurs et autorités pertinents. De la même façon, un manque de capacité dans la conception et la mise en place des projets peut limiter la capacité des AUE à se garantir des fonds. Dans une étude des AUE en Inde (UNESCO, non daté), les membres ont mentionné le manque de financement, l'approvisionnement en eau et le soutien du gouvernement, comme étant les obstacles majeurs à une mise en place efficace des AUE.

Facteurs favorisant la mise en œuvre

Les AUE peuvent contribuer à la résolution des conflits et à impliquer les femmes dans les processus décisionnels. Les AUE fournissent également une structure organisationnelle appropriée permettant de soutenir une série d'initiatives participatives (telles que la surveillance des ressources en eau) qui peuvent aider à renforcer les capacités des acteurs à prendre des décisions sur la gestion des ressources naturelles et les options de production agricole face aux possibles scénarios de changement climatique.

Exemple concret d'application

Encadré 4.56 Adaptation au changement climatique avec les Associations d'usagers de l'eau du Ruaha, Tanzanie

Le programme de WWF pour restaurer les flux de la rivière Great Ruaha a débuté en 2003 et impliquait un travail avec les communautés dans huit des 16 districts du bassin. Le programme était axé sur une meilleure gestion de l'eau et la réduction de la pauvreté. Des AUE locales ont été mises en place pour restaurer les bassins versants et mieux gérer l'eau en: restaurant les sources des bassins versants; en établissant des accords avec les principaux utilisateurs agricoles pour qu'ils planifient mieux leurs dérivations d'eau; en faisant respecter les lois sur l'eau pour contrôler les détournements illégaux. Les zones supérieures des rivières et les zones riveraines ont été restaurées grâce à: la réduction de l'agriculture au niveau du vinyungu (fond de la vallée), la suppression des arbres exotiques assoiffés; la restauration de la végétation indigène, notamment en réduisant l'abattage pour la production de charbon de bois; la protection des zones riveraines du pâturage; et la relocalisation des maisons des berges de fleuve (80 sur 150 ont été déplacées). Les accords avec les utilisateurs d'eau pour l'irrigation ont réduit les pertes de transmission grâce à des livraisons coordonnées de l'eau, et ont réduit la consommation d'eau en saison sèche. Un barrage de 49 000 m³ a été construit pour garantir un approvisionnement en eau pour le bétail. Chaque AUE a nécessité un mois de formation et a coûté 13-27 000 \$ pour sa mise en place. Des banques de conservation communautaires ont également été établies pour l'épargne et le microcrédit. Chacune des 20 banques a commencé avec un prêt de 4 000 \$ (depuis remboursé) et 30 membres, ou approximativement 150 bénéficiaires, prenant en compte les membres de la famille.

Résultats

À partir de 2004, il y avait à nouveau un débit de rivière sur toute l'année dans les zones humides d'Ihefu. Grâce à la restauration des flux et à des institutions locales fortes, la vulnérabilité des populations locales à la pénurie d'eau a été réduite. Les AUE sont représentées dans les processus de gouvernance des bassins et impliquées dans la mise en œuvre des nouvelles politiques de l'eau du Gouvernement tanzanien.

Source: WWF, 2008

5. Conclusions

L'agriculture représente un secteur clé pour assurer le développement économique et social dans les pays en développement. La majorité des pauvres dans le monde dépend de la production comme source principale de revenus du ménage, et la production agricole des petits exploitants contribue à la plus grande proportion de l'approvisionnement alimentaire mondial (IAAST, 2009). Il est prévu que le changement climatique aura des impacts négatifs et positifs sur l'agriculture. L'augmentation des températures moyennes, par exemple, pourrait créer des conditions d'amélioration de la production agricole dans certaines régions, alors qu'ailleurs la sécheresse ou de fortes pluies vont conduire à de mauvaises récoltes et à la propagation de maladies chez les animaux (GIEC GT II, 2007). L'ampleur de ces impacts dépendra, en grande partie, de la capacité des producteurs à réagir et à s'adapter aux futures conditions climatiques. Cela nécessite des efforts immédiats pour renforcer la résilience et la capacité d'adaptation face aux vulnérabilités existantes et aux niveaux élevés d'incertitude.

Dans ce contexte, ce livret affirme que les stratégies clés d'adaptation dans le secteur de l'agriculture doivent être fondées sur des principes de développement durable et sur la diversification. Les taux de productivité doivent également être améliorés afin de répondre au double défi qui consiste à s'assurer de la sécurité alimentaire du milliard de personnes sous-alimentées dans le monde, et à générer un approvisionnement alimentaire suffisant pour répondre à la demande mondiale croissante. Alors que l'agriculture à petite échelle ne sera, seule, pas en mesure d'atteindre ces objectifs, l'agriculture commerciale à grande échelle est trop souvent basée sur des pratiques non durables qui mettent en péril la production future en endommageant les ressources sur lesquelles s'appuie l'agriculture. Dans ce livret, il est proposé qu'une approche agro-écologique de la production agricole offre une série de solutions technologiques qui répondent directement à ces défis. L'agro-écologie utilise à la fois les connaissances agricoles indigènes et des technologies modernes choisies qui permettent de s'appuyer sur les ressources naturelles, tout en les reconstituant au cours du processus de production agricole. Ceci est applicable à la fois aux exploitations agricoles à petite et à grande échelle, et permet d'améliorer la résilience à long terme ainsi que d'augmenter la productivité.

Ce livret, ou guide, est conçu pour aider les pays en développement à évaluer leurs besoins de technologies dans le secteur agricole. Pour ce faire, le livret présente une sélection de 22 technologies d'adaptation qui ont été appliquées à des exploitations agricoles à grande et à petite échelle. Chacune des technologies est définie et décrite, puis ses principaux avantages et inconvénients sont examinés. Des informations sur les connaissances, le suivi, les besoins institutionnels et organisationnels, ainsi que des données (lorsqu'elles sont disponibles) sur les coûts sont fournies; les facteurs favorisant ou entravant leur mise en œuvre sont également examinés. Un vaste portefeuille d'études de cas de partout en Amérique latine, en Afrique, en Asie et en Europe de l'Est, est présenté. Celui-ci démontre la flexibilité et l'applicabilité des solutions agro-écologiques à différents systèmes de production agricole qui se trouvent dans des contextes culturels, sociaux, environnementaux et économiques différents. Il est important de noter qu'il y a actuellement un manque de preuves documentées concernant l'impact de beaucoup de technologies dans un contexte de changement climatique, y compris l'analyse de la façon dont elles contribuent au renforcement des capacités d'adaptation.

Les techniques présentées dans ce livret montrent l'importance de choisir le matériel approprié au contexte local, ainsi que l'importance cruciale de renforcer les capacités sociales et institutionnelles. Durant des siècles, l'adaptation en matière de technologies et d'innovation s'est faite au niveau individuel et au niveau des ménages. Cependant, vu l'augmentation de la variabilité du climat et les changements dans les tendances climatiques historiques, des efforts sont nécessaires pour s'assurer que les producteurs soient en mesure d'accéder à des informations pertinentes et qu'ils puissent faire des choix éclairés sur les options d'adaptation, et ce grâce à des processus participatifs et inclusifs. Des stratégies locales, régionales et nationales pour l'adaptation au changement climatique sont également nécessaires pour faciliter la mise en place de projets témoins de plus grande envergure en matière de technologies, et pour s'assurer que les leçons tirées soient bien partagées. Ces stratégies devraient également avoir pour objectif de développer l'accès au financement et d'avoir une plus grande portée.

Il est recommandé que les processus décisionnels d'adaptation locale doivent avoir lieu dans le cadre de l'adaptation à base communautaire. L'adaptation à base communautaire crée des mécanismes de gouvernance inclusive qui lient les parties prenantes directement aux autorités locales ou de district et aux organismes nationaux de coordination, et facilite la planification participative, le suivi et la mise en œuvre des activités d'adaptation. Cette approche permet non seulement de s'assurer que les programmes d'adaptation soient recevables, mais également applicables aux conditions locales, ce qui leur donne plus de chances de réussir. Elle permet également que les producteurs soient au centre des processus de prise de décision. Étant donné que la compréhension des vulnérabilités actuelles au changement climatique est un point de départ essentiel pour les processus de planification, l'intégration des connaissances locales de ceux qui se trouvent à la source de la production agricole est essentielle. En outre, l'adaptation au niveau de la communauté permet d'acheminer les financements aux individus, aux structures et aux organisations les mieux placés pour identifier et mener les différentes actions nécessaires.

Recommandations

- Il y a un besoin urgent d'améliorer la modélisation et les prévisions climatiques afin de fournir une base pour la prise de décisions éclairées et la mise en œuvre de stratégies d'adaptation. Cela devrait inclure les connaissances traditionnelles
- Des informations sont également nécessaires pour mieux comprendre le comportement des plantes, des animaux, des insectes nuisibles et des maladies, car ils réagissent au changement climatique.
- Les changements potentiels au niveau des systèmes économiques et sociaux, selon les différents scénarios climatiques, devraient également être étudiés afin que les implications des choix de stratégie d'adaptation et de planification soient mieux maîtrisées
- Il est important de sécuriser les flux d'informations via des canaux de diffusion appropriés. Cela est vital pour pouvoir renforcer les capacités d'adaptation et les processus décisionnels
- L'amélioration de l'analyse des technologies d'adaptation est nécessaire pour montrer comment elles peuvent contribuer au renforcement des capacités d'adaptation et de la résilience dans le secteur de l'agriculture. Cette information doit être compilée et diffusée aux intervenants au niveau local et au niveau national
- Les relations entre les décideurs politiques, les chercheurs et les communautés devraient être construites de manière à ce que les technologies et les processus de planification soient développés en partenariat, à ce qu'elles répondent aux besoins des producteurs et intègrent leurs connaissances

Notes de bas de page

1. Dans ce cas, la Banque mondiale ne prend en compte que les cultures, le bétail, l'agroforesterie et l'aquaculture. La foresterie et la pisciculture commerciale ne sont pas prises en compte.
2. Objectif 1: Éliminer l'extrême pauvreté et la faim, Objectif 2: assurer l'éducation primaire pour tous, Objectif 3: Promouvoir l'égalité des sexes et l'autonomisation des femmes, Objectifs 4, 5, and 6: Réduire la mortalité infantile, améliorer la santé maternelle et combattre le VIH/SIDA, le paludisme et autres maladies. Objectif 7: Préserver l'environnement, Objectif 8: Mettre en place un partenariat mondial pour le développement
3. <http://www.wmo.int/pages/prog/gcos/index.php?name=AboutGCOS>, consulté en Mars 2011
4. <http://www.wmo.int/pages/prog/gcos/index.php?name=ClimateMonitoringPrinciples>, consulté en Mars 2011
5. Les informations détaillées sur les différentes phases des cultures – aussi connu sous le nom de « calendrier des cultures » – jouent un rôle essentiel dans le suivi et la prévision des plantations. Cela s'explique du fait que les effets des conditions environnementales sur les cultures dépendent étroitement des phases de croissance des cultures. Par exemple, les besoins en eau sont normalement moindres au début de la croissance, mais sont les plus importants au moment de la floraison. (http://www.fao.org/nr/climpag/agromet/inputs_en.asp, consulté en Mars 2011)
6. <http://www.trust.org/alertnet/news/cameroon-creates-national-climate-change-observatory>. Extrait le 14 Mars 2011
7. Oxford Dictionary of Geography. A Dictionary of Geography. Copyright © Susan Mayhew 1992, 1997, 2004
8. Centres de prévisions officiellement désignés par l'OMM pour les prévisions à long terme: Bureau de météorologie (BoM) d'Australie, Administration météorologique de Chine (CMA)/Centre climatique de Pékin (BCC), le Centre de prévision du climat (CPC), la NOAA des États-Unis, le Centre européen pour les prévisions météorologiques à moyen terme (CEPMMT), Agence météorologique japonaise (JMA)/Centre climatologique de Tokyo (TCC), Administration météorologique de la Corée (KMA), Météo-France, Met Office au Royaume-Uni, Service météorologique du Canada (MSC), Services météorologiques de l'Afrique du Sud (SAWS), Centre hydrométéorologique de Russie. L'OMM a également désigné les centres principaux suivants: le Centre de l'OMM pour les Prévisions Multi-Modèles (LC-centre directeur), coordonné conjointement par la KMA et NOAA / NCEP, le Centre de l'OMM pour le système de vérification normalisée des prévisions à longue portée (LC-SVSLRF), coordonné conjointement par BoM et MSC. Les autres principaux centres fournissant des prévisions saisonnières globales sont le Centre pour les prévisions météorologiques et les études sur le climat/Institut national de recherche spatiale (CPTEC/INPE) du Brésil, l'Institut international de recherche sur le climat et la société (IRI) des Etats-Unis, l'APEC (Coopération Economique pour l'Asie-Pacifique) et le Centre climatique (APCC) de la République de Corée
9. Voir <http://www.metoffice.gov.uk/research/modelling-systems/unified-model/climate-models/glosea4>
10. Projet de l'Université de Tufts et de l'Université de Georgia financé par Human Dimensions of Global Change Program, National Oceanic and Atmospheric Administration (l'Administration nationale responsable de l'étude de l'océan et de l'atmosphère).
11. Mlle Anelia Gocheva, Institut National de Météorologie et d'Hydrologie, Tzarigradsko Shose 66, 1784 SOFIA, Bulgarie. M. Peer Hechler (Président), Deutscher Wetterdienst, Boite Postale 10 04 65, 63004 OFFENBACH, Allemagne
12. L'efficacité globale comprend l'efficacité du transport, l'efficacité du canal du champ (Eb) et l'efficacité d'application sur le terrain
13. Une machine pour mesurer la teneur en eau dans le brouillard
14. Écoulement des eaux de pluie ou de surface qui se produit lorsque l'infiltration du sol est à pleine capacité
15. [http://www.appropedia.org/The_‘A’_frame_\(Practical_Action_Brief\)](http://www.appropedia.org/The_‘A’_frame_(Practical_Action_Brief))
16. [http://www.harper-adams.ac.uk/postgraduate/img/uploaded/All%20photos%20from%20camera%20\(January%202006\)%20075.jpg](http://www.harper-adams.ac.uk/postgraduate/img/uploaded/All%20photos%20from%20camera%20(January%202006)%20075.jpg)
17. L'utilisation d'un agent de revêtement à base d'urée permet de retarder l'activité et la croissance des bactéries responsables de la dénitrification
18. Matériel résiduel semi-solide, laissé par les eaux usées industrielles ou les procédés de traitement des eaux usées
19. Le compostage Nadep est une méthode rapide de recyclage des déchets agricoles et nécessite uniquement la construction d'un simple réservoir rectangulaire en briques.
20. Le vermicompost est le produit du compostage à l'aide de vers de terre
21. Ceci est basé sur la compétence des différentes espèces de plantes. L'idée est de laisser le moins d'espace possible pour la soi-disant « mauvaise herbe » afin qu'elle ne se dispute pas les éléments nutritifs du sol avec les cultures et qu'elle ne devienne pas hôte des parasites (insectes) ou des maladies (bactéries et champignons).

22. Dans ce guide, la santé des sols est comprise comme un sol relativement exempt de champignons, de bactéries et d'insectes, comprenant des niveaux optimaux de nutriments de base (azote, phosphore et potassium) et avec des niveaux d'acidité ou d'alcalinité (niveau de pH) qui les rendent disponibles pour les cultures
23. Cette partie se base sur des publications de IT et d'UNIFEM 1995
24. <http://www.worldagroforestrycentre.org/research/overview>
25. Les vulgarisateurs sont des personnes qualifiées qui fournissent des services de diffusion d'informations dans les zones rurales

6. Références

Achmadi, U. F. (1991) "Agricultural Injuries in Indonesia: Estimates and Surveys". Document de travail du département de la santé public, Université de Jakarta, Indonésie, 1991

Agroasemex (2006) The Mexican Experience in the Development and Operation of Parametric Insurances Applied to Agriculture, document de travail, Août 2006. Disponible en ligne: http://www.agroasemex.gob.mx/media/publicaciones/agricola_in.pdf

Alexandrov, V. (2006) Using Better Climate Prediction in the Implementation of National Action Programmes (NAPs) – Europe (Est), Environmental Science and Engineering, pp 537-551, 2007

Alpuerto, V-L, Norton, R.W., Alwang, J. et Ismail, A.M. (2009) Economic impact analysis of marker- assisted breeding for tolerance to salinity and phosphorous deficiency in rice. Review of Agricultural Economics 31(4): 779-792

Altieri, M. A. (2002) Agroecology: the science of natural resource management for poor farmers in marginal environments. Agriculture, Ecosystems and Environment 1971, pp1–24. 2002

Altieri, M. A. (2009) Agroecology, Small Farms, and Food Sovereignty. Revue Mensuelle, Juillet-Août 2009

Altieri, M. A. et C. I. Nicholis (2005) Agroecology and the Search for a Truly Sustainable Agriculture, UNEP, Mexico, 2005

Altieri, M. A. et C. I. Nicholls (2009). Cambio climático y agricultura campesina: impactos y respuestas adaptativas. LEISA revista de agroecología, Numéro 24, Volume 4, 2009

Altieri, M. A., et P. Koochafkan (2008) Enduring farms: Climate change, smallholders and traditional farming communities, Third World Network, 2008

Altieri, M. A., P. Rosset et L. A. Thrupp (1998) The Potential of Agroecology to Combat Hunger in the Developing World, IFPRI 2020 Brief 55, Washington DC, Octobre 1998

Alvarez, G. S. et L. T. Vilca (2008) Ancestral Bio-Indicators in Andean Highland Regions: Disaster Warning and Resilience Mechanisms, Mountain Forum Bulletin Vol 8 (2) Juillet 2008

Antle, J. M. et P. L. Pingali (1994) "Pesticides, Productivity, and Farmer Health: A Philippine Case Study". American Journal of Agricultural Economics 76 (Août 1994): 418-30

Antle, J. M., J. J. Stoorvogel et R. O. Valdivia (2004) Assessing the economic impacts of agricultural carbon sequestration: Terraces and agro-forestry in the Peruvian Andes, Agriculture, Ecosystems & Environment, Vol 122 (4) Décembre 2004, Pp. 435-44

Apigian, J. H. (2005) A Critical Look at the Development of Fog Water Collection in Nepal, Nepal Community Development Foundation (NCDF) and Nepal Water for Health (NEWAH), Katmandou, Nepal, 2005

Arribas, A., M. Glover, A. Maidens, K. A. Peterson, M. Gordon et C. MacLachlan (2009) Towards a new generation of seasonal forecasting systems. Física de la Tierra, 21, 219-224, RU, 2009

Badgley, C., J. Moghtader, E. Quintero, E. Zakem, M. Jahi Chappeli, K. Avilés-Vázquez, A. Samulon, et I. Perfecto (2006) Organic agriculture and the global food supply. Renewable Agriculture and Food Systems 22(2): 86-108

Baker P. et J. Haggar (2007) Global Warming: The Impact on Global Coffee. Invited presentation to Specialty Coffee Association of America Symposium, Long Beach, Californie, Mai 2007

Bartlett A. (2005) Farmer Field Schools to promote Integrated Pest Management in Asia: the FAO experience, Workshop on Scaling Up Case Studies in Agriculture. IIRR

Belay, T. (2009) Introducing cactus-based agro-forestry practices to the dry lands, Knowledge for Development Dossier on Dryland Agriculture, Centre technique de coopération agricole et rurale (CTA), Pays-Bas, Mars 2009

BIAC (comité consultatif du commerce et de l'industrie auprès de l'OCDE (2009) Agriculture and climate change, Issues for consideration. Novembre 2009, Paris, France

Bijlmakers, H. (2005) Farmer Field Schools for IPM – Refresh your Memory, IPM DANIDA

Boers, T. M. et J. Ben-Asher (1982) "A review of rainwater harvesting". In Agriculture Water Management. 5:145-158. 1982

Braun, A. et D. Duveskog (2008) The Farmer FieldSchool Approach – Histroy, lobal Assessment and Success Stories, Background paper for the IFAD Rural Poverty Report 2010, Octobre 2008

Brinkman, R. et W.G. Sombroek(1996), The effects of global change on soil conditions in relation to plant growth and food production. Extrait de F. et W.G. Sombroek eds. Global Climate Change and Agricultural Production. Bazzaz FAO et Wiley, Chichester, RU. p 49-63

Brush, S. B. (1986) Genetic diversity and conservation in traditional farming systems. J. Ethnobiol. 6:151- 167. 1986

Bunch, R. (1982) Two Ears of Corn: A guide to people-centred agricultural improvement, World Neighbors, 1982

CARE 2009 A. Dazé, K. Ambrose et C. Ehrhart, Climate Vulnerability and Capacity Analysis (CVCA) Handbook. CARE International, Mai 2009

CARE (2010) Toolkit for Integrating Climate Change Adaptation into Development Projects – Digital Toolkit – Version 1.0 CARE International, with technical input by the International Institute for Sustainable Development (IISD), Juillet 2010

Castiglioni, P., et al. (2008) Bacterial RNA chaperones confer abiotic stress resistance in plants and improved grain yield in maize under water limiting conditions. Plant Physiology 147: 446-455

CCTA (2006) Proyecto In Situ. Tecnologías Apropiadas no Tradicionales en la Conservación In Situ de Cultivos Nativos en el Perú, Institución promotora o conocedora: CENTRO IDEAS (Centro de Investigación, Documentación, Educación, Asesoría y Servicios); Grupo TALPUY; Instituto Nacional de Investigación y Extensión Agraria INEIA – EE Santa Ana

Chambouleyron, J. (1989) The reorganisation of Water Users Associations in Mendoza, Argentina, Irrigation and Drainage Systems 3: 81-94. 1989

Chang, J. H. (1977) Tropical agriculture: crop diversity and crop yields. Econ. Geogr. 53:241-254. 1977

Chapin, F. S., A. L. Lovecraft, E. S. Zavaleta, J. Nelson, M. D. Robards, G. P. Kofinas, S. F. Trainor, G. D. Peterson, H. P. Huntington et R. L. Naylor (2006) Policy strategies to address sustainability of Alaskan boreal forests in response to a directionally changing climate. Compte rendu de l'académie nationale des Sciences des États-Unis d'Amérique, 103(45): 16,637-16,643, 2006

Chemonics (2007) Fertiliser Supply and Costs in Africa, Chemonics Inc., Juillet, 2007

Christensen, J. H., B. Hewitson, A. Busuioc, A. Chen, X. Gao, I. Held, R. Jones, R. K. Koll, W.-T. Kwon,

R. Laprise, V. Magaña Rueda, L. Mearns, C. G. Menéndez, J. Räisänen, A. Rinke, A. Sarr and P. Whetton. 'Regional climate projections', in S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor et H.L. Miller (eds) (2007), Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, pp. 848–940, Cambridge University Press, Cambridge, RU: p854. 2007

Clay, J. (2004) World Agriculture and the Environment: A Commodity-By-Commodity Guide To Impacts And Practices, Island Press, Mars 2004

Commission on Climate Change and Development (2009) Closing the Gaps: Disaster risk reduction and adaptation to climate change in developing countries, Ministère des affaires étrangères Stockholm, Suède

CONDESAN (1995), Proyecto PIDAE. La Encañada. Caminos hacia la sostenibilidad. ASPADERUC, CONDESAN – Centro Internacional de la Papa. Fondo Peru – Canada. ISBN 92- 9060177-9. 1995

Cotter, J. et R. Tirado (2009) Food Security and Climate Change: The answer is biodiversity. A review of scientific publications on climate change adaptation in agriculture, Greenpeace, Juin 2008

Coupe, S. (2009) Impact of Kamayoq (Community-Based Extensionists) in Canchis Province, Cusco Region, Peru, Internal Evaluation Report, Practical Action, Rugby, RU, 2009

Coupe, S. et K. Pasteur (2009), Food and Livelihood Security Lesson Learning Study including Community Extension. Bangladesh Country Study Report. Practical Action Project Report, Mai 2009

Dahal, D. R. (1994) A Review of Forest User Groups: Case Studies from Eastern Nepal, International Centre for Integrated Mountain Development, Kahmandou, Népal, 1994

Damman, G. (Ed.) (2008) Sistemas de información y alerta temprana para enfrentar al cambio climático: propuesta de adaptación tecnológica en respuesta al cambio climático en Piura, Apurímac y Cajamarca, Soluciones Prácticas-ITDG, Lima, Pérou. P.166, 2008

De Dios, H. B. (2002) Participatory Capacities and Vulnerabilities Assessment: Finding the Link Between Disasters and Development. Oxfam Grande Bretagne – Philippines Programme, Quezon City, Les Philippines. 2002

De la Torre Postigo (2004) C. De la Torre Postigo. Kamayou:Promotores campesinos de innovaciones tecnológicas. Groupe de développement de technologie intermédiaire , Pérou, 2004

De la Torre Postigo (2008) C. De la Torre. Kamayoq: un sistema de extensión agraria para la producción a pequeña escala, Soluciones Prácticas-ITDG, Lima., Pérou, 2008

Delgadillo and Delgado (2003), J. Delgadillo P. and F. Delgado B. Evaluación de la implementación de prácticas de conservación de suelos: el caso, LEISA Revista de Agroecología, 2003

Derpsch, R. (2001) Keynote: Frontiers in conservation tillage and advances in conservation practice, in Stott D. E., Mohr, R. H., and Steinhart G. C (Eds.) Sustaining the global farm. Documents sélectionnés lors du Dixième International Soil Conservation Organisation Meeting, qui a eu lieu du 24 au 29 Mai 1999 à l'Université de Purdue et au Laboratoire national de la recherche sur l'érosion des sols USSA-ARS, 2001

De Schutter, O. (2010) Report submitted by the Special Rapporteur on the right to food to the Human Rights Council, 17 Décembre, 2010

Dixon, J., A. Gulliver et D. Gibbon (2001) Global Farming Systems: Challenges and Priorities to 2030, FAO, Rome, 2001

Dragun, A. K. (2001) "An Ecological Economics Approach to Pesticide Issues and IPM-FFS," Annex B7, in FAO Mid-Term Review of the Global IPM Facility. FAO. Rome. 2001

Dvorak, K. A. (1996) Catalogue of Soil Conservation Practices and Projects in Central America. Internal Report. Tegucigalpa: International Centre for Tropical Agriculture. 1996

Eagle, S. (1992) Experiences with a Heterogeneous Forest User Group in the Far West of Nepal, Rural Development Forestry Network Papers, 13 e-iv, Overseas Development Institute, Londres, RU, 1992

EC (European Commission) (2010), Mixed crop-livestock farming could help adaptation in Africa, Science for Environment Policy, DG Environment News Alert Service, CE, 18 Mars 2010

Ehui, S. K., B. T. Kang, et D. S. C. Spencer (1990) Economic analysis of soil erosion effects in alley cropping, no-till and bush fallow systems in south western Nigeria. Agricultural Systems, 34: 349-368. 1990

EMPRESS (2010) Transboundary Animal Diseases Bulletin No 35, FAO Rome, 2010

Ensor, J. (2009), Biodiverse agriculture for a changing climate. Practical Action, Rugby, RU. 2009

Ensor, J. (forthcoming 2011) Uncertain futures: adapting development to a changing climate. Practical Action Publishing, Rugby, RU (forthcoming 2011)

Ensor, J. et R. Berger (2009a) Understanding Climate Change Adaptation: Lessons from community- based approaches, Practical Action Publishing, Rugby, RU, 2009

Ensor, J. et R. Berger (2009b) Community-based adaptation and culture in theory and practice in Adapting to Climate Change: Thresholds, Values, Governance, eds. W. Neil Adger, Irene Lorenzoni et Karen O'Brien. Published by Cambridge University Press. Cambridge University Press 2009

Ensor, J. et R. Berger (2009c) Governance for Community Based Adaptation, Practical Action Discussion Paper, Practical Action, 2009. Disponible à l'adresse suivante:http://practicalaction.org/climate-change/docs/climate_change/governance-for-community-based-adaptation.pdf

Environmental Council of Zambia (2009) Second National Communication under the United Nations Framework Convention on Climate Change. Lusaka. République de Zambie. 2009

Esilaba, A. O., J. B. Byalebeka, R. J. Derve, J. R. Okalebo, D. Ssenyange, M. Mbalule and H. Ssali (2004) "On farm testing of integrated nutrient management strategies in eastern Uganda". Agricultural Systems, 2004

ETC Group (2009) Who Owns Nature? Corporate Power and the Final Frontier in the Commodification of Life. Communiqué Numéro 100. 2008

Fantappiè M. (no date) Conservation and Reclamation of Volcanic Deteriorated Soils in Ecuadorian Andes, date inconnue

FAO (Food and Agriculture Organisation) (no date) Conservation Agriculture: Matching production with sustainability, FAO, date inconnue

FAO (1982) Mechanised sprinkler irrigation. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 35. Rome. 1982 FAO (1988) Irrigation Water Management: Irrigation methods, FAO. Rome. 1988

FAO (1991) Energy for sustainable rural development projects – Vol 1: A reader in Training Materials for agricultural Planning 23/1, Food and Agriculture Organisation, Rome, 1991

- FAO (1995) Dimensions of Need – An atlas of food and agriculture, FAO, Rome. 1995
- FAO (1995a) Integrated plant nutrition system. FAO Fertiliser and Plant Nutrition Bulletin No. 12. Rome. 426 pp. 1995
- FAO (1996), Livestock & the environment: Finding a balance, FAO, Rome. 1996
- FAO (1996b) El control de Plagas. Programa Especial sobre Seguridad Alimentaria. Focus publicación. <http://www.fao.org/FOCUS/S/SpecIPr/spro12-s.htm>
- FAO (1997) Improving Agricultural Extension: A reference manual, FAO, Rome, 1997
- FAO (1999) Manual on Livestock Disease Surveillance and Information Systems, FAO, Rome; 1999 FAO (2001), Animal Production and Health. FAO. Rome. 2001
- FAO (2003) Trade Reforms and Food Security: Conceptualizing the Linkages, Commodities and Trade Division, FAO, Rome, 2003
- FAO (2003a) Project on Livestock Industrialisation, Trade and Social-Health-Environment Impacts in Developing Countries; FAO, Rome, 2003
- FAO (2006) Breed diversity in dryland ecosystems. Information Document 9, Fourth Session of the Intergovernmental Technical Working Group on Animal Genetic Resources for Food and Agriculture. Rome. 2006
- FAO (2007) Adaptation to climate change in agriculture, forestry and fisheries: Perspective, framework and priorities, FAO, Rome, 2007
- FAO (2007a) The State of the World's Animal Genetic Resources for Food and Agriculture, edited by B. Rischkowsky & D. Pilling. Rome. 2007
- FAO (2008) Scoping agriculture –wetland interactions: Towards a sustainable multiple-response strategy, FAO, Rome, 2008
- FAO (2008a) Climate Change Adaptation and Mitigation in the Food and Agriculture Sector, Technical Background Document from the Expert Consultation Held on 5 to 7 March 2008, FAO, Rome, 2008
- FAO (2008b) Current world fertiliser trends and outlook to 2011/12, FAO, Rome, 2008
- FAO (2009) The State of Food Security in the World: Economic Crises—Impacts and Lessons Learned. Rome, FAO, 2009
- FAO (2010) “Climate-Smart” Agriculture – Policies, Practices and Financing for Food Security, Adaptation and Mitigation, FAO, Rome, 2010
- Farm Manager Agriver SAC (2011), Drip irrigation system results Report Jan. 2011
- Feder, G., R. Murgai, et J. B. Quizon (2004a) “Sending Farmers Back to School: The Impact of Farmer Field Schools in Indonesia”. *Review of Agricultural Economics* 26, no. 1 (2004a): 45-62
- Feder, G., R. Murgai, et J. B. Quizon (2004b) ‘The acquisition and diffusion of knowledge: The case of pest management training in farmer field schools, Indonesia’. *Journal of Agricultural Economics* 55, no. 2 (2004b): 221-43
- Feder, G., J. R. Anderson, R. Birner et K. Deininger (2010) Promises and Realities of Community Based Agricultural Extension, International Food Research Policy Institute, Mars 2010
- Fraser, E. (2007) Travelling in antique lands: using past famines to develop an adaptability/resilience framework to identify food systems vulnerable to climate change. *Climatic Change* 83: 495-514. 2007

Frison E. A., C.S. Gold, E. B. Karamura, R. A. Sikora (1998) Mobilizing IPM for sustainable banana production in Africa
Proceedings of a workshop on banana IPM held in Nelspruit, Afrique du Sud — 23-28 Novembre 1998, INIBAP, 1998

Fuertes, E. N. et G. Bonfiglio (2008) Impacto del riego por aspersión en el cultivo de pastos en Cajamarca, mediante el proyecto Yachan. Cette experience fait partie d'un projet mené par Practical Action dans les montagnes du Pérou. Le projet a duré 4 années et fût financé par l'Union Européenne.

GHF (Global Humanitarian Forum) (2009) Human Impact Report: Climate Change – The Anatomy of a Silent Crisis. GHF, Genève, 2009

Gocheva, A. et P. Heckler (2004) Questionnaire on CLIPS activities in the NMHSs of RA VI Countries (www.wmo.int)

Gonzales de Olarte, E. et C. Trivelli (1999) Andenes y Desarrollo Rural: Es la recuperación de andenes una via para el desarrollo rural? IEP-CONDESAN. 1999

Gould, J. E. (1992) "Rainwater Catchment Systems for Household Water Supply" in Environmental Sanitation Reviews, No. 32, ENSIC, Institut Asiatique de Technologie, Bangkok. 1992

Gouvernement de l'Inde (2007) Integrated Nutrient Management Annual Report 2006-2007. Gouvernement de l'Inde, Département de l'Agriculture 2007

Grewal, J. S. et R. C. Sharma (1978) Advances in soil fertility and fertiliser use. Fertiliser. News, 23(9): 38–45. 1978

Grigg, D. B. (1974) The Agricultural Systems of the World: an evolutionary approach. Presse de l'université de Cambridge, Cambridge. 1974

Gruhn, P., F. Goletti, M. Yudelman (2000) Integrated nutrient management, soil fertility and sustainable agriculture: current issues and future challenges, IFRPI 2020 Vision Brief, Septembre 2000

GTZ (1998) Conserving natural resources and enhancing food security by adopting no-tillage. An assessment for the potential for soil-conserving production systems in various agro-ecological zones of Africa, GTZ Eschborn, Programme de soutien à l'écologie tropicale, Publication TÖB, 1998

Guharay F., J. Haggar, et C. Staver (2005) Final report of results and impacts 1998-2004 of regional program on ecologically based participatory implementation of integrated pest management and coffee agroforestry in Nicaragua and Central America to Norwegian Ministry of Foreign Affairs, CATIE, Nicaragua 130 pp

Guralnick, J. (2002) Biological Indicators as Early Warning of ESNO Events. Regional Disaster Information Centre (CRID), 2002

Haggar J., F. Guharay, et E. de Melo (2004) From IPM implementation to innovation capacity for income generation, food security and natural resource conservation: formulation of prototype approaches for farm households, growers associations, rural communities and their support sectors. Pre-project appraisal and base-line report to Norwegian Ministry of Foreign Affairs, CATIE, Nicaragua, 89 pp

Haggar, J. et G. Soto (2010) Análisis del estado de la caficultura orgánica en Centroamérica. Report to Coordinadora Latinoamericana de Comercio Justo, CATIE, Nicaragua 58 pp

Hahn, M. B., A. M. Riederer, S. O. Foster (2009) The Livelihood Vulnerability Index: A pragmatic approach to assessing risks from climate variability and change—A case study in Mozambique, Global Environmental Change 19 (2009) 74–88

Hall, J. (2003) Environment: Aliens plant species invade Southern Africa. Global Information Network. Juin 27: 1-2. 2003

- Hambly, H.V. et T. Onweng Angura (eds) (1996) Grassroots Indicators for Desertification: Experience and Perspectives from Eastern and Southern Africa. IDRC, Ottawa, 1996
- Harwood, R.R. (1979) Small Farm Development: Understanding and Improving Farming System in the Humid Tropics. Westview Press, Boulder, Colorado
- Hatibu, N. et H. Mahoo (1999) Rainwater harvesting technologies for agricultural production: A case for Dodoma, Tanzania, published in: Kaumbutho P G and Simalenga T E (eds). Conservation tillage with animal traction. A resource book of the Animal Traction Network for Eastern and Southern Africa (ATNES). Harare. Zimbabwe. 173p. 1999
- Hodgson, N. (2007) Legislation for sustainable water associations, FAO Legal Papers Online No.69, Octobre 2007
- Hoffmann, I. (2008) Livestock Genetic Diversity and Climate Change Adaptation. Livestock and Global Change conference proceeding. Mai 2008, Tunisie
- Holland, J. M. (2004) The environmental consequences of adopting conservation tillage in Europe: reviewing the evidence, Agriculture, Ecosystems and Environment 103. 1-25. 2004
- IAAST (International Assessment of Agricultural Science and Technology) (2008) Summary for Decision Makers of the Global Report, approved by 58 governments in Johannesburg, Avril 2008, Voir Key Finding 7; A. Wezel et al., "A quantitative and qualitative historical analysis of the scientific discipline of agroecology," International Journal of Agricultural Sustainability, 7:1, 2009, pp. 3-18 (montre l'intérêt grandissant pour l'agro-écologie dans les publications scientifiques)
- IAAST (2009) Agriculture at a Crossroads: Global Report, IAASTD, Washington DC, 2009
- Ibarra, H. et O. Mahul (2004) Self-Insurance funds as agriculture insurance providers: the case of Fondos in Mexico. Banwue mondiale mimeo
- IBSRAM (International Board for Soil Research and Management) (1990) Organic-matter management and tillage in humid and sub-humid Africa. IBSRAM Proceedings No. 10. Bangkok: IBSRAM
- ICRAF (1996) International Centre for Research in Agroforestry, rapport annuel 1996. ICRAF Nairobi, 240 p
- IDRC (International Development Research Centre) (1995) Reading Clouds in Chile, IDRC Reports, Ontario. Janvier 1995
- IDS (Institute of Development Studies) (2006) Forestry, IDS21 Natural Resources Highlights No.2, Sussex, RU. 2006
- IDS (2009) M. Davies, B. Guenthen, J. Leavy, T. Mitchell et T. Tanner, Climate Change Adaptation, Disaster Risk Reduction and Social Protection: Complementary Roles in Agriculture and Rural Growth? Institute of Development Studies (IDS) Working Paper 320, Centre for Social Protection and Climate Change and Development Centre, IDS, Université de Sussex, Brighton, RU, Février 2009
- IFAD (The International Fund for Agricultural Development) (2002) 'The Rural Poor' in World Poverty Report, IFAD, Rome, 2002
- IFPRI (International Food Policy Research Institute) (1995) Biophysical limits to global food production (2020 Vision). Washington, DC. 2 pp. 1995
- IFRC (International Federation of Red Cross and Red Crescent Societies) (2007) How to do a VCA, A practical step-by-step guide for Red Cross Red Crescent staff and volunteers, IFRC, Genève, 2007
- INCID (Indian National Committee on Irrigation and Drainage) (1998) Sprinkler Irrigation in India. INCID, New Dehli. 1998

Indonesian IPM Team (1993) The Impact of IPM Training on Farmers' Behaviour: A Summary of Results from the Second Field School Cycle. IPM National Programme Monitoring and Evaluation Team. Jakarta: BAPPENAS, 1993

Ingram, K.T., M.C. Roncoli, P.H. Kirshen (2002) Opportunities and constraints for farmers of west Africa to use seasonal precipitation forecasts with Burkina Faso as a case study. Agricultural Systems 74: 331-349

INPIM (2010) Demonstrating Enhanced Productivity of Irrigated Agriculture System through Multifunctional Water Users Associations, Mid-Term Report, INPIM Nepal, Juillet 2010

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (2001) Climate Change 2001: Synthesis Report. A Contribution of Working Groups I, II, and III to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Watson, R.T. and the Core Writing Team (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom, and New York, NY, USA, 398 pp.2001

IPCC WGII (2007) – Impacts, Adaptation and Vulnerability, Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the IPCC on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, RU, 2007. M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson (eds) Cambridge University Press, Cambridge, Royaume Uni et New York, NY, USA

IT Publications (Intermediate Technology Publications) and UNIFEM (United Nations Development Fund for Women) (1995) Storage in Food Cycle Technology Source Books, IT Publications, RU, 1995

IWMI (International Water Management Institute) et SIC ICWC (the Scientific Information Centre Interstate Commission for Water Coordination) (2003) How to Establish a Water Users Association, IWMI et SIC ICWC, Mars 2003

Joshi, P.K., A. K. Jha, S.P. Wani, L Joshi, R. L. Shiyani (2005) Meta analysis to assess impact of watershed programme and people's action. Comprehensive Assessment Research Report 8, International Water Management Institute, Colombo. 2005

Karaba, A, S. Dixit, R. Greco, K.R. Triyatmiko, N. Marsch-Martinez, A. Krishnan, K.N. Nataraja, M. Udayakumar, et A. Pereira (2007) Improvement of water use efficiency in rice by expression of HARDY and Arabidopsis drought and salt tolerance gene. Proceedings of the National Academy of Sciences (USA) 104: 15270-15275

Khan, Z., D. Amudavi and J. Pickett (2008), Push-Pull Technology Transforms Small Farms in Kenya, PAN North America Magazine, Printemps 2008

Kirshen, P., K. Ingram, G. Hoogenboom, C. Jost, C. Roncoli, M. Ruth and K. Knee (2003) Lessons Learned for Climate Change Adaptation; Part 1 – Implementation of seasonal climate forecasting in West Africa; Part 2- Impacts from and adaptation to climate change in Metro Boston, USA. Préparé pour Insights and Tools for Adaptation: Learning from Climate Variability, 18-20. Novembre 2003, Washington, DC

Kuika, O., F. Reynès, F. Delobel, et M. Bernardib (2011) FAO-MOSAICC: The FAO Modelling System for Agricultural Impacts of Climate Change to Support Decision-making in Adaptation, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italie, 14-Apr-11, disponible a l'adresse suivante: <https://www.gtap.agecon.purdue.edu/resources/download/5306.pdf>

Kulkarni, S.A., F.B. Reinders et F. Ligetvari (2006) Global Scenario of Sprinkler in Micro-Irrigated Areas. Sept 10 – 16 2006, PWTC, Kuala Lumpur 7eme Congrès International sur la Micro Irrigation (IMIC)

Kundu, D. K., H. U. Neue, R. Singh (1998) Comparative Effects of Flooding and Sprinkler Irrigation on Growth and Mineral Composition of Rice in an Alfisol. Proceedings of the National Seminar on Micro- Irrigation Research in India: Status and Perspective for the 21st Century. Bhubaneswar, Juillet 27-28, 1998

LEISA (2007) Ecological Pest Management, LEISA Magazine, Volume 23, Numéro 4

Lightfoot, D.A., R. Mungur, R. Ameziane, S. Nolte, L. Long, K. Bernhard, A. Colter, K. Jones, M.J. Iqbal, E. Varsa, et B. Young (2007) Improved drought tolerance of transgenic maize *Zea mays* plants that express the glutamate dehydrogenase gene (*gdh4*) of *E.coli*. *Euphytica* 156: 103-116

Ma, X, JC. Xu, Y. Luo, S.P. Aggrawal SP, JT. Li (2009) "Response of hydrological processes to land- cover and climate changes in Kejie watershed, south-west China". *Hydrological Processes*. En ligne. DOI: 10.1002/hyp.7233. 2009

Mahul, O., et J. R. Skees (2007) "Managing Agricultural Risk at the Country Level: The Case of Index- based Livestock Insurance in Mongolia." Policy Research Working Paper WPS 4325, the World Bank, Washington, DC

Martin, F. W. et S. Sherman (1992). Agroforestry Principles. ECHO (Educational Concerns For Hunger Organization), 1992

Mars, R. (2005) The Basics of Permaculture, Chelsea Green Publishing Company, 2005

Mazoyer, M. (2001) Protecting small farmers and the rural poor in the context of globalisation. FAO. Rome. 2001

McKenzie et al 2008 M. McKenzie Hedger, T. Mitchell, J. Leavy, M. Greeley, A. Downie and L. Horrocks, Desk Review: Evaluation of Adaptation to Climate Change from a Development Perspective, IDS, Sussex, RU, 2008

McInerney, J. P., K.S. Howe et J.A. Schepers (1992) "A framework for the economic analysis of disease in farm livestock." *Preventive Veterinary Medicine*. 12:137-154. 1992

Meehl, G. A., T. F. Stocker, W. D. Collins, P. Friedlingstein, A. T. Gaye, J. M. Gregory, A. Kitoh, R. Knutti, J. M. Murphy, A. Noda, S. C. B. Raper, I. G. Watterson, A. J. Weaver et Z.-C. Zhao 'Global climate projections', in S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds) (2007) *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, pp. 748– 845, Cambridge University Press, Cambridge, RU: p. 749. 2007

Meinke, H. et R. C. Stone (2005) Seasonal And Inter-Annual Climate Forecasting: The New Tool For Increasing Preparedness To Climate Variability And Change In Agricultural Planning And Operations. *Climatic Change* (2005) 70: 221–253, Springer 2005

Mengech, A. N., K.N. Saxena et H.N.B. Gopalan (eds) (1995) *Integrated Pest Management in the tropics: Current status and future prospects*. UNEP. John Wiley & Sons Ltd. 1995

Mithoefer, D. et H. Waibel (2003) Income and labour productivity of collection and use of indigenous fruit tree products in Zimbabwe. *Agro-forestry Systems* 59, 295–305. 2003

Mohan, A., N. Shin, et A. Murali (2003) Decentralisation, Local Institutions and Forest Management in Chitwan District of Nepal, paper submitted to the XII World Forestry Congress, 2003, Québec, Canada

Moonga, E et. H. Chitambo (2010) The role of Indigenous Knowledge and Biodiversity in Livestock Disease Management under Climate Change, paper presented at the 2nd International Conference: Climate, Sustainability and Development in Semi-arid Regions August 16 – 20, 2010, Fortaleza – Ceará, Brésil

Muchnik, E., C. Morales et G. Vargas (1997) Desk Study of CGIAR Commitments in Latin America, Food and Agriculture Organisation, Octobre 1997

Mutegi, J. K., D. N. Mugendi, L. V. Verchot, J. B. Kung'u (2008) Combining napier grass with leguminous shrubs in contour hedgerows controls soil erosion without competing with crops. *Agro-forestry Systems*, DOI 10.1007/s10457-008-9152-3. 2008

Narayamoorthy, A. (date inconnue) Drip and Sprinkler Irrigation in India: Benefits, Potential and Future Directions. Disponible à l'adresse suivante: <http://www.iwmi.cgiar.org/Publications/Other/PDF/Paper%20of%20NRLP%20series%201.pdf>

Nelson, D.E. et al (2007) Plant nuclear factor Y (NF-Y) B subunits confer drought tolerance and lead to improved corn yields on water limited acres. Proceedings of the National Academy of Sciences (USA) 104: 16400-16455

Neufeldt, H., A. Wilkes, R. J. Zomer, J. Xu, E. Nang'ole, C. Munster, F. Place (2009) Trees on farms: Tackling the triple challenges of mitigation. World Agro-forestry Centre Policy Brief 07. World Agro-forestry Centre, Nairobi, Kenya. 2009

Niamir-Fuller, M. (1994) Women Livestock Managers in the Third World: Focus on Technical Issues Related to Gender Roles In Livestock Production, Staff Working Paper 18, Rome, IFAD, Décembre 1994

Ojasti, J. (2001) Especies exóticas invasoras. Estrategia regional de biodiversidad para los países del trópico andino. Convenio de Cooperación Técnica ATN/JF-5887-RG CAN-BID. Venezuela.2001

Oka, I. N.(1995) "Integrated Crop Pest Management with Farmer Participation in Indonesia". Working Papers, Food Crop Research Centre, Bogor, 1995

Ortiz, R (2008) Crop genetic engineering under global climate change. Annals of the Arid Zone 47(3&4): 1-12

Ortiz, R., M. Iwanaga, M. P. Reynolds, H. Wu, et J. Crouch (2007). Overview on crop genetic engineering for drought prone environments. Journal of Semi-Arid Tropical Agricultural Research 4 <http://www.icrisat.org/journal/SpecialProject/sp3.pdf> (9 Sept 2008)

Oseni, S. et O. Bebe (2008) Climate change, genetics of adaptation and livestock production in low- input systems, paper presented at ICID+18 2nd International Conference: Climate, Sustainability and Development in Semi-arid Regions August 16 – 20, 2010, Fortaleza – Ceará, Brazil and Hoffmann, I. 2008. Livestock Genetic Diversity and Climate Change Adaptation. Livestock and Global Change conference proceeding. Mai 2008, Tunisie

Patt, A. (2008) 'How does using seasonal forecasts build adaptive capacity?' in Living With Climate Change: Are There Limits To Adaptation? Conference and Proceedings 7-8 Fevrier 2008, pp.62-67, Royal Geographical Society, Londres

Patt, A., P. Suarez, et U. Hess (2010) How do small-holder farmers understand insurance, and how much do they want it? Evidence from Africa, Global Environmental Change 20: 153-161

Pesticide Action Network North America (2009) La agroecología aporta un conjunto de soluciones para las crisis y presiones ambientales que enfrenta la agricultura en el siglo. In Agroecología y Desarrollo Sostenible, Conclusiones de la Evaluación Internacional de las Ciencias y Tecnologías Agrícolas para el Desarrollo, dirigida por la ONU

Pimbert, M., (2006) Transforming Knowledge and Ways of Knowing for Food Sovereignty, the International Institute for Environment and Development, Londres, 2006

Pimentel, D. H., H. Acquay, M. Biltonen, P. Rice, M. Silva, J. Nelson, V. Lipner, S. Giordano, A. Horowitz, et M. D'Amore (1992) "Environmental and Economic Costs of Pesticide Use". BioScience 42 (Novembre 1992): 750-60

Pimentel, D., P. Hepperly, J. Hanson, D. Douds, et R. Seidel (2005) Environmental, Energetic, and Economic Comparisons of Organic and Conventional Farming Systems, Bioscience Vol. 55 No. 7. 2005

Pontius, J., R. Dilts, , A. Bartlett (2002) Ten Years of IPM Training in Asia – From Farmer Field School to Community IPM, FAO

Practical Action, Rainwater Harvesting Technical Brief, date inconnue

- Practical Action (2010) Climate Change Adaptation in Peru: The local experiences, Soluciones Prácticas, Lima, Pérou, 2010
- Qaim, M., A. Subramanian, and P. Sadashivappa (2010) Socioeconomic impacts of Bt (*Bacillus thuringiensis*) cotton. Chap 12 In: Zehr U.B Ed. Cotton: Biotechnological Advances. Biotechnology in Agriculture and Forestry Vol 65. Series Editor J.M. Widholm. Springer-Verlag Berlin Heidleberg
- Raintree, J. B. (1986) An Introduction to Agro-forestry Diagnosis and Design, International Council for Research in Agro-forestry, Kenya, 1986
- Red Cross (2010) West and Central Africa: Early Warning/Early Action, Operations Update No.2, 2010
- Red Cross/Red Crescent Climate Centre (2005) 2nd International Work Conference on Climate Change and Disaster Risk Reduction. The Hague, Les Pays-Bas, 21-24 Juin 2005
- Regmi, B. R., A. Morcrette, A. Paudyal, R. Bastakoti et S. Pradhan (2010) Participatory Tools and Techniques for Assessing Climate Change Impacts and Exploring Adaptation Options: A Community Based Tool Kit for Practitioners, Livelihoods and Forestry Programme, Népal, 2010
- Resosudarmo, B. P. (2008) "The economy-wide impact of integrated pest management in Indonesia" In ASEAN Economic Bulletin Issue, Dec 1 2008, Singapour, 2008
- Richards, M., K. Kanel, M. Maharjan et J. Davies (1999) Towards participatory economic analysis by forest user groups in Nepal, ODI, Juin 1999
- Richards, P. (1985) Indigenous Agricultural Revolution. Westview Press, Boulder. 1985
- Rivera, W. M., K. M. Qamar, et L. V. Crowder (2001) Agricultural and rural extension worldwide: Options for institutional reform in developing countries. FAO. Rome. 2001
- Rivero, R.M., M. Kojima, A. Gepstein, A., H. Sakakibara, R. Mittler, S. Gepstein and E. Blumwald (2007). Deayed leaf senescence induces extreme drought tolerance in a flowering plant. Proceedings of the National Academy of Sciences (USA) 104: 19631-19636
- Rosegrant, W. M., C. Ximing, S. A. Cline (2002) World Water and Food to 2020: Dealing with Scarcity, International Food Policy Research Institute, Washington, D.C., USA et International Water Management Institute, Colombo, Sri Lanka. 2002
- Rosas, J. C. (2001) "Aplicación de metodologías participativas para el mejoramiento genético del frijol en Honduras" in Agronomía Mesoamericana 12 (2): 219 -228. 2001. Université du Costa Rica, Alajuela
- Roy, R. N., A. Finck, G. J. Blair and H. L. S. Tandon (2006) Plant nutrition for food security, FAO Rome, 2006
- Sakala, I. (1999) Efforts and initiatives for supply of conservation tillage equipment in Zambia in Kaumbutho P G and Simalenga T E (eds), 1999. Conservation tillage with animal traction. A resource book of the Animal Traction Network for Eastern and Southern Africa (ATNES). Harare. Zimbabwe. 173p
- Sapkota, C. (2010) Agricultural Trade and Climate Change in South Asia, Trade Insight Vol. 6, No. 3-4, 2010
- SARD (Sustainable Agriculture and Rural Development) (2007) Policy Brief 11, 2007
- Savva, A. P. et K. Frenken (2002) Irrigation Manual Planning, Development Monitoring and Evaluation of Irrigated Agriculture with Farmer Participation. Volume I Modules 1 – 6. Food and Agriculture Organisation of the United Nations (FAO) Sub-Regional Office for East and Southern Africa (SAFR), Harare, 2002
- Scarborough, V. (1995) Farmer-led approaches to Extension, Papers presented at a Workshop in the Philippines, The Agricultural Research and Extension Network, ODI, Juillet 1995

Schejtman, A. (2010) Seguridad Alimentaria y Desarrollo Territorial. Presentation given at the Annual Conference on Rural Territorial Development in Latin America, Bogota, Colombia. Santiago: RIMISP (Latin American Centre for Rural Development). 16-18 Mars 2010

Schemenauer, R.S., P. Osse, et M. Leibbrand (2004) Fog collection evaluation and operational projects in the Hajja Governorate, Yemen. In: Proceedings of the 3rd International Conference on Fog, Fog Collection and Dew, Cape Town, Afrique du Sud, 38

Schemenauer, R.S. et P. Cereceda (1994). Fog collection's role in water planning for developing countries. Natural Resources Forum, 18, 91-100, Nations Unies, New York

Schepp K (2010) How can small-scale coffee and tea producers adapt to climate change – AdapCC Final Report – Results and Lessons Learnt. GTZ, 2010

Schepp K., K. Linne, et J. Haggar (2010) Coffee and Climate Change: Training for coffee organizations and extension services. AdapCC-GTZ / CaféDirect, Eschborn, Allemagne, 42 pp

Seckler, D., U. Amarasinghe, D. Molden, R. de Silva, R. Barker (1998) World water demand and supply, 1990 to 2025: Scenarios and issues. Research Report 19. Colombo, Sri Lanka: International Water Management Institute. 1998

Seckler, D., R. Barker, U. Amarasinghe (1999) Water Scarcity in Twenty-First Century. International Journal of Water Resources Development, Vol.15, Nos. 1-2, pp. 29-42. 1999

Sharma, B. R., K. V. Rao, K. P. R. Vittal, U. Amarasinghe (2008) Converting rain into grain: Opportunities for realising the potential rainfed agriculture in India. Proceedings National Workshop of National River Linking Project of India, International Water Management Institute, Colombo (pp. 239-252), 2008

Sinha, B., R. Singha et D. Choudhury (2007) Ecological pest management for emerging pest problems in LEISA Magazine, Volume 23, Numéro 4, Décembre 2007

Skees J. (2010) State of Knowledge Report — Data Requirements for the Design of Weather Index Insurance. GlobalAgRisk, Inc. Report to Bill and Melinda Gates Foundation

Smale, M., M.R. Bellon , J.A. Aguirre, I. Manuel Rosas, J. Mendoza, A.M. Solano, R. Martínez, A. Ramírez, J. Berthaud, (2003) "The economic costs and benefits of a participatory project to conserve maize landraces on farms in Oaxaca, Mexico", in Agricultural Economics 29 (2003) 265–275

Smil, V. (2002) Nitrogen and food production: Proteins for human diets. Ambio, 31: 126–131. 2002

Smit, B. et J. Wandel (2006) 'Adaptation, adaptive capacity and vulnerability'. Global Environmental Change 16: 282-292, 2006

Smith, P. (2005) Agriculture and Climate Change: An agenda for negotiation in Copenhagen, IFPRI Focus 16. 2005

Snyder, R. L. and J. P. Melo-Abreu (2005) Frost protection: fundamentals, practice, and economics – Volume 1. FAO, Rome. 2005

Soluciones Prácticas-ITDG (2007) Soluciones Prácticas-ITDG, Tecnologías Respondiendo a los Desastres, Soluciones Prácticas-ITDG, Lima, Pérou, 2007

Soluciones Prácticas-ITDG (2010). Manejo integrado de Recursos Naturales en Alta montaña. Soluciones Prácticas, Lima, Pérou. 2010

Soluciones Prácticas (2011). Tecnologías frente a la Variabilidad Climática. Soluciones Prácticas, Lima, Pérou. Publication en attente en 2011

Sorrenson, W. J., C. Duarte, and J. López-Portillo, (1998) Economics of non-till compared to conventional cultivation Systems on small farms in Paraguay, policy and investment implications, Report Soil Conservation Project MAG-GTZ, Août 1998

Stathers, T., S. Namanda, R. Kapinga, G. Khisa, R. Mwanga (2006) Promotion of sustainable sweet potato production and post-harvest management through farmer field schools in East Africa p26-27 dans Eds Sweetmore A., Kimmins F., Silverside P. Perspectives on Pests II: Achievements of research under UK Department for International Development Crop Protection Programme 2000-2005. Natural Resources International Ltd. Aylesford, RU, 206 pp

Stavenhagen, R. (1998) 'Cultural rights: a social science perspective', in Niec, H. (éd.) Cultural Rights and Wrongs. Paris: UNESCO, pp. 1–20. 1998

Tanji, K.K. et N. C Kielen,. (2002) FAO Irrigation and Drainage Paper 61: Agricultural Drainage Water Management in Arid and Semi-Arid Areas. FAO, Rome, 2002

Torres J. et A. Gómez (2008). Adaptación al cambio climático: De los fríos y los calores en los Andes. Soluciones Prácticas ITDG. Lima, Pérou

Treacy, J. M. (1989) "Agricultural Terraces in Peru's Colca valley: Promises and problems of an ancient technology." Monographic Source: Browder, J.O. (Ed.) Fragile lands of Latin America: Strategies for sustainable development. Imprint: Boulder (USA). Westview Press. 1989. ISBN 0-8133-7705-6. pp. 209- 229. 1989

Troccoli, A., M. Harrison, D. L. T. Anderson, S. J. Mason (eds.) (2007) Seasonal Climate: Forecasting and Managing Risk Springer Academic Publishers, Dordrecht / Boston / Londres. 2007

UNEP (1982) Rain and Storm water Harvesting in Rural Areas, Tycooly International Publishing Ltd., Dublin.1982

UNEP (1997) Sourcebook of Alternative Technologies for Freshwater Augmentation in Some Countries in Asia, UNEP, Unit of Sustainable Development and Environment General Secretariat, Organisation of American States, Washington, D.C., 1997

UNEP (2010) Connecting the Dots Biodiversity, Adaptation, Food Security and Livelihoods, Nairobi, 2010

UNEP-IETC (1998) Sourcebook of Alternative Technologies for Freshwater Augmentation in Some Asian Countries. IETC Technical Publication Series 8b, UNEP IETC/UNEP-IETC/Danish Hydraulic Institute

UNEP and SEI (Stockholm Environment Institute) (2009) Rainwater harvesting: a lifeline for human wellbeing, United Nations Environment Programme et Stockholm Environment Institute en 2009

UNESCO, Water Users Association for Sustainable Water Management: Experiences from the irrigation sector in Tamil Nadu, India, UNESCO, date inconnue

UNESCO-ROSTLAC (1997) Agua Vida y Desarrollo: Manual de Uso y conservación del Agua en zonas rurales de America Latina y el Caribe. Tomo 3, Técnicas. Proyecto D4-PRM. 1997

UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change) (2002), Report of the Conference of the Parties on its Seventh Session, held at Marrakesh from 29 October to 10 December 2001 Addendum Part Two: Action taken by the Conference of the Parties. UNFCCC, 21 Janvier 2002

UNFCCC (2008) Nacional Adaptation Programmes of Action, Summary of Projects on Water Resources identified in submitted NAPAs as of September 2008, United Nations 2008

UNFCCC (2008a) National Adaptation Programmes of Action, Summary of Projects on Territorial Ecosystems identified in submitted NAPAs as of September 2008, United Nations 2008

UNFCCC (2009) Approaches to and experiences in integrating and expanding adaptation planning and action at national, subnational, community and local levels, and lessons learned, good practices, gaps, needs, and barriers and constraints to adaptation SBSTA 13th Session, Bonn, 1-10 Juin 2009. Disponible sur: <http://unfccc.int/resource/docs/2009/sbsta/eng/misc04.pdf>

UNISA (University of South Africa) (2008) Research Report, UNISA. Cape Town. 2008

Valdivia, R. O. (2002) The Economics of Terraces in the Peruvian Andes: AN application of sensitivity analysis in an integrated assessment model. Montana State University, Bozeman, Montana, Avril 2002

Van Aalst, M. K., T. Cannon et I. Burton (2007) Community Level adaptation to climate change: The potential role of participatory community risk assessment. Dans Global Environmental Change 18 (2008) 165–179. Elsevier

Van den Berg. H (2004) IPM Farmer Field School: a synthesis of 25 Impact Evaluations, Université de Wageningen

Varshney, R.K., K.C. Bansal, P.K. Aggarwal, S. Datta et P.Q. Craufurd (2011) Agricultural biotechnology for crop improvement in a variable climate: hope or hype? Trends in Plant Science 16(7): 363-371

Venton, P. et S. La Trobe (2008) Linking Climate Change Adaptation and Disaster Risk Reduction. Tearfund, Trobe. Teddington, Royaume Uni, 2008

Vermeulen, M. (2010) Small-scale Farming, LEISA Blog, Novembre 25, 2010. Consulté le 8 Mars http://familyfarming.typepad.com/leisas_farm/small_scale_farming/

Wambugu, P. W., P. W. Mathenge, E. O. Auma et H. A . van Rheenen (2009) Efficacy of Traditional Maize (*Zea Mays L.*) Seed Storage Methods in Western Kenya, in African Journal of Food Agriculture, Nutrition and Development, Volume 9 No. 4, June 2009, Nairobi, Kenya, 2009

WaterAid, Technical Brief: Rainwater Harvesting, date inconnue

Wobeser, G. (2002) Scientific and Technical Review of the Office International des Epizooties 21(1), 159- 178. 2002

World Bank (2000) Implementation completion report Brazil: Land management II – Santa Catarina project: implementation completion report (Loan 3160-BR). Report #20482, Washington, DC, Banque mondiale. 2000

World Bank (2008) World Development Report 2008 Agriculture for Development, Washington DC 2008

WRI (World Resources Institute) (2005) Millennium Ecosystem Assessment 2005 – Ecosystems and Human Wellbeing: Synthesis, Island Press, Washington, DC. 2005

WWF (Worldwide Fund for Nature) (2008) Water for life: Lessons for climate change adaptation from better management of rivers for people and nature, WWF, RU, Août 2008

Yanggen, D., J. M. Antleb et R. O. Valdivia (2003) Análisis Económico de los Subsidios y la Adopción Sostenible de las Tecnologías de Conservación Agrícola: Un Marco Conceptual y un Estudio de Caso de las Terrazas en los Andes de Perú, Montana State University and the International Potato Centre, Juin 2003

Young (1997) Agroforestry for Soil Management. 2nd Edition. CABI/ICRAF Wallingford, RU, 320p

Ziervogel (2001) Global science, local problems: Seasonal climate forecast use in a Basotho village, southern Africa, Gina Ziervogel, Environmental Change Institute. Paper prepared for presentation at the Open Meeting of the Global Environmental Change Research Community, Rio de Janeiro, Octobre 6-8, 2001

Zullo Jr, J., H. Silveira Pinto and D. Assad (2006) Impact assessment study of climate change on agricultural zoning, Meteorological Applications, Supplement: Weather, Climate and Farmers, Volume 13, Numéro S1, pages 69–80 , Décembre 2006

Sites Internet

Adaptation Learning Mechanism, <http://www.dev.adaptationlearning.net/experience/alm-case-study-2010-zimbabwe-coping-drought-and-climate-change>. Consulté en 2011

Community Development Library, [http://www.greenstone.org/greenstone3/nzdl;jsessionid=55A2D8C024_FD2B078DFAC6EABEB49762?a=d&d=HASHb56d01ced7d6c0ecb3b0be.7.pp&c=cdl&sib=1&dt=&ec=&et=&p.a=b&p.s=ClassifierBrowse&p.sa="](http://www.greenstone.org/greenstone3/nzdl;jsessionid=55A2D8C024_FD2B078DFAC6EABEB49762?a=d&d=HASHb56d01ced7d6c0ecb3b0be.7.pp&c=cdl&sib=1&dt=&ec=&et=&p.a=b&p.s=ClassifierBrowse&p.sa=), consulté en décembre 2010

Eldis Community Based Adapation Exchange <http://www.eldis.org/index.cfm?objectid=63551B3B-FDA9-0941-1EAC7111660B5FC5>

FADR (The Foundation for Agrarian Development Research, Russia) <http://www.fadr.msu.ru/rodale/agsieve/txt/vol2/7/art4.html>, consulté en décembre 2010

FAO website www.fao.org/nr/climpag, consulté en 2011 Fogquest, <http://www.fogquest.org> consulté en 2011

Grupo de Meteorología de Santander 2010, <http://www.meteo.unican.es/es/research/prediccion-estacional>, consulté en décembre 2010

International Potato Centre (2010) http://www.cipotato.org/pressroom/facts_figures/2008_international_year_of_the_potato.asp#2, consulté en 2010

IRRI (International Rice Research Institute) (2010), IRRI Annual Report 2009, publié en 2010. Disponible à l'adresse Internet suivante: <http://irri.org/about-irri/annual-reports/annual-report-2009>

Kenya Meteorological Department (2011) <http://www.meteo.go.ke/cmp/index.html>, consulté en 2011

Livelihoods and Forestry Programme (2011) <http://www.lfp.org.np/>. consulté en 2011

Practical Action, <http://practicalaction.org/practicalanswers/index.php?cPath=87> <http://practicalaction.org/east-africa/animal-health-turkana>,

Practical Action, <http://practicalaction.org/food-production/agriculture-community-based-extension>

Practical Action (2009) From Vulnerability to Resilience Framework and Integrating Approaches seminar (contact Hilary Warburton, Aim 1 RU). <http://www.practicalaction.org.uk/reducing-vulnerability/integrating-approaches-seminar>

Prevention Web, <http://www.preventionweb.net/english/>

Provention, <http://www.proventionconsortium.org/?pageid=39>, and http://www.proventionconsortium.org/CRA_toolkit.htm, consulté en 2011*

Red Cross / Red Crescent Climate Centre, <http://www.climatecentre.org/> The Pangani River Basin Management Project, www.panganibasin.com

UN International Strategy for Disaster Reduction, <http://www.unisdr.org/>, consulté en 2011 Washtechology, <http://washtech.wordpress.com/>, consulté en 2011

WMO (World Meteorological Organisation) (2010) www.wmo.int (accessed in December 2010) Zervogel, G. (2007) Wiki Adapt. Consulté en novembre 2011

Interviews

Medina 2010, Entretien individuel en Décembre 2010 avec Tulio Medina, agronomiste de l'Institut National de l'Innovation Agraire ou Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA), Lima, Pérou

Torres 2010, Entretien individuel en Décembre 2010 avec Fidel Torres, biologiste spécialiste de la pomme de terre au Central Peruana de Servicios (CEPESER), Lima, Pérou

Annexe I – Glossaire

Agent abiotique: Facteur physique comme le climat, l'eau ou le sol

Agent biotique: Facteur biologique comme la faune, la flore ou les micro-organismes

Agroforesterie: Système de production qui combine la plantation d'arbres avec les cultures agricoles sur un même champ

Bassin versant: une zone ou une crête de terre qui sépare les courants d'eaux vers différentes rivières, bassins, ou mers

Brûlis (ou Jhum): terme local pour désigner l'agriculture sur brûlis pratiquée par des groupes tribaux dans les états du nord-est de l'Inde et des districts du Bangladesh. Ce système implique l'élimination d'un morceau de terre en mettant le feu ou en le rasant à blanc, puis l'utilisation de la zone pour les cultures d'importance agricole telles que le riz pluvial, des légumes ou des fruits. Après quelques cycles, la terre n'est plus fertile et une nouvelle surface est alors choisie

Cultivar: Une variété végétale qui a été cultivée par la reproduction sélective

Cycle phénologique: Cycle de l'évolution de la relation entre les facteurs climatiques et les êtres vivants

Dendrologie: branche de la botanique qui s'occupe de l'étude des arbres et des arbustes

Echelle limnimétrique: station hydrométrique avec comme instrument de mesure un limnimètre (échelle ou montre) qui enregistre le niveau de la rivière par rapport à une référence fixe

Ethnobotanique: étude scientifique des relations qui existent entre les hommes (les cultures) et les plantes (l'utilisation qui en est faite)

Fertilisation fractionnée: provoquer le développement d'une progéniture (d'un œuf, d'un animal femelle, ou d'une plante) en y introduisant la substance reproductive mâle de manière progressive

Fourrage: parties des plantes mangées par le bétail, comme le pâturage, les résidus ou les herbes

Foresterie: activité en relation avec la gestion des forêts, la plantation des arbres et les ressources naturelles qui y sont liées

Fossé d'infiltration: un canal étroit, ouvert au sein duquel les eaux pluviales peuvent être stockées et/ou infiltrées dans le sol, faisant partie d'une méthode d'élimination

Inoculant: Bactéries ou champignons qui sont ajoutés au sol pour améliorer la croissance des plantes

Légumineuse: une plante de la famille des Fabacées; une légumineuse est un simple fruit sec. Des exemples courants comprennent les pois, les haricots, les lentilles, le soja et les arachides

Méristème: le méristème est un type de tissu embryonnaire dans les plantes, constitué de jeunes cellules appelées cellules méristématiques et trouvées dans les zones de croissance des plantes, à savoir dans les racines et les pousses

Minéraux colloïdaux: ceux-ci peuvent être des composés minéraux ou des éléments naturels. Les minéraux colloïdaux conservent leur identité propre et sont en suspension dans l'eau. Les molécules ont tendance à se regrouper en grappes. Certains minéraux colloïdaux sont assez grands comparés à la taille des cellules dans le corps (source: www.icalcium.com/dictionary.html)

Nodules: association entre les racines des plantes et les bactéries

Pressions climatiques biotiques: facteurs atmosphériques météorologiques comme le gel, la sécheresse, la grêle ou les inondations, qui menacent les cultures ou le semis

Pressions environnementales biotiques: facteurs biologiques, comme les ravageurs ou les maladies qui, par exemple, attaquent les cultures ou les graines

Parasitoïdes: organismes qui passent une partie importante de leur vie accrochés à, ou à l'intérieur d'un seul organisme hôte qu'ils finissent par tuer (et souvent consommer) (source: www.wikipedia.org)

Pollinisation: processus de fécondation par des graines de pollen

Progéniture: descendant génétique

Ruisseaulement: écoulement de l'eau à la surface du sol

Semis: petite plante

Sol saturé: sol qui se forme sous des conditions de saturation, d'inondations, ou d'infiltration d'eau sur une période assez longue pendant la saison de croissance pour développer des conditions d'anaérobies dans les parties les plus près de la surface du sol

Unités de Mesures

t tonnes

ha hectares

m mètres

cm centimètres

mm millimètres

Annexe II – Sources additionnelles d'informations recommandées

Altieri, M. A. et C. I. Nicholis (2005) Agroecology and the Search for a Truly Sustainable Agriculture. UNEP, Mexique, 2005

Arribas, A., M. Glover, A. Maidens, K. A. Peterson, M. Gordon et C. MacLachlan (2009) Towards a new generation of seasonal forecasting systems. *Física de la Tierra*, 21, 219-224, RU, 2009

Bapna, M., H. McGray, G. Mock et L. Withey (2009) Enabling adaptation; priorities for supporting the rural poor in a changing climate. World Resources Institute (WRI) Issue Brief, Washington DC, 2009

Brooks, N. (2003) Vulnerability, Risk and Adaptation: A Conceptual Framework, Tyndall Centre for Climate Change Research, Working Paper 38, Norwich, RU, 2003

Business et Industry Advisory Committee to the OECD (2009) Agriculture and climate change, Issues for consideration. OECD, Paris, France, 2009

CARE International, with technical input by the International Institute for Sustainable Development (IISD) (2010), Toolkit for Integrating Climate Change Adaptation into Development Projects – Digital Toolkit – Version 1.0 CARE, 2010

Cotter, J. et R. Tirado (2008) Food Security and Climate Change: The answer is biodiversity. A review of scientific publications on climate change adaptation in agriculture. Greenpeace, 2008

Dazé, A., K. Ambrose et C. Ehrhart (2009) Climate Vulnerability and Capacity Analysis (CVCA) Handbook. CARE International, 2009

Davies, M., B. Guenthen, J. Leavy, T. Mitchell et T. Tanner (2009) Climate Change Adaptation, Disaster Risk Reduction and Social Protection: Complementary Roles in Agriculture and Rural Growth? Institute of Development Studies (IDS) Working Paper 320, Centre for Social Protection and Climate Change and Development Centre, IDS, University of Sussex, Brighton, RU, 2009

Delgado C. L. et A. Siamwalla (2009) Rural economy and farm income diversification in developing countries. pp. 126- 143. In Food security, diversification and resource management: refocusing the role of agriculture (eds. G.H. Peters and Joachim Von Braun). Proceedings of twenty-third International Conference of Agricultural Economists. Ashgate Publishing Company, Brookfield, Vermont, USA, 2009

Ensor J. et R. Berger (2009) Understanding Climate Change Adaptation: Lessons from community- based approaches. Practical Action Publishing, Rugby, RU, 2009

FAO (Food and Agriculture Organisation of the United Nations), 2007, Adaptation to climate change in agriculture, forestry and fisheries: Perspective, framework and priorities. FAO, Rome, 2007

FAO (2008), Climate Change Adaptation and Mitigation in the Food and Agriculture Sector, Technical Background Document from the Expert Consultation Held on 5 to 7 March 2008. FAO, Rome, 2008

FAO (2008) Current world fertilizer trends and outlook to 2011/12. FAO, Rome, 2008

FAO (2010), “Climate-Smart” Agriculture – Policies, Practices and Financing for Food Security, Adaptation and Mitigation. FAO, Rome, 2010

Meinke, H. et R. C. Stone (2005) Seasonal And Inter-Annual Climate Forecasting: The New Tool For Increasing Preparedness To Climate Variability And Change In Agricultural Planning And Operations. *Climatic Change* (2005) 70: 221–253, Springer, 2005

Reij, C. et A. Waters-Bayer (eds) (2001) Farmer innovation in Africa: a source of inspiration for agricultural development. Earthscan Publications Ltd, RU, 2001

Schepp K., K. Linne, et J. Haggard (2010) Coffee and Climate Change: Training for coffee organizations and extension services. AdapCC-GTZ / CaféDirect, Eschborn, Allemagne, 42 pp

Sivakumar, M. et N. Ndiang'ui (Eds.) (2007) Climate and land degradation. United Nations Convention to Combat Desertification (UNCCD), Springer, Berlin, 2007

Skees, J. (2010) State of Knowledge Report — Data Requirements for the Design of Weather Index Insurance. GlobalAgRisk, Inc. Report to Bill and Melinda Gates Foundation

United Nations Environment Programme (UNEP) (2010) Connecting the Dots: Biodiversity, Adaptation, Food Security and Livelihoods. UNEP, Nairobi, 2010

United Nations Environment Programme and Stockholm Environment Institute (2009) Rainwater harvesting: a lifeline for human well-being. UNEP et SEI, 2009

United Nations Framework Convention on Climate Change (2009) Approaches to and experiences in integrating and expanding adaptation planning and action at national, subnational, community and local levels, and lessons learned, good practices, gaps, needs, and barriers and constraints to adaptation SBSTA 13ème Session, Bonn 1-10 Juin 2009. Disponible à l'adresse suivante: <http://unfccc.int/resource/docs/2009/sbsta/eng/misc04.pdf>

Varshney, R.K., K.C. Bansal, P.K. Aggarwal, S. Datta et, P.Q. Craufurd (2011) Agricultural biotechnology for crop improvement in a variable climate: hope or hype? *Trends in Plant Science* 16(7): 363-371



Ce livret fournit des informations sur 22 technologies et options d'adaptation au changement climatique dans le secteur de l'agriculture. Il décrit ce que les décideurs, les planificateurs du développement, les experts dans le domaine de l'agriculture, et d'autres parties prenantes des pays devraient envisager. Les ONG, les communautés rurales et les praticiens agricoles pourraient examiner et inclure des options appropriées dans leurs portefeuilles de technologies et d'options pour le secteur agricole. Le livret devrait inciter à poursuivre des travaux sur l'identification des options pour l'adaptation au changement climatique dans le secteur agricole dans différentes parties du monde. Il a été co-rédigé par Rebecca Clements, Alicia Quezada et Juan Torres de Practical Action Latin America, ainsi que par Jeremy Haggar de l'Université de Greenwich au Royaume-Uni. Toutes les personnes qui au contribué à la rédaction de ce livret possèdent une grande expérience sur le terrain, ainsi qu'une solide expertise dans le soutien de telles activités dans les pays en développement.

Ce guide sera utilisé par les équipes EBT nationales ; ces équipes sont constituées de parties prenantes issues du gouvernement, des organisations non-gouvernementales et du secteur privé. Cette publication fait partie d'une série de livrets sur les technologies d'adaptation et d'atténuation, développée dans le cadre du projet sur l'Evaluation des Besoins en Technologies (EBT) et financée par le GEF. Ce projet est mené par le PNUE et le CPR dans 36 pays en voie de développement.



Centre PNUE de Risoe

DTU Laboratoire National pour l'Energie Durable de DTU Risoe

<http://www.uneprisoe.org/>

<http://tech-action.org/>