

PRODUIRE PLUS AVEC MOINS

Le manioc

GUIDE POUR UNE INTENSIFICATION DURABLE DE LA PRODUCTION





Produire plus avec moins: Le manioc

Guide pour une intensification durable de la production

ORGANISATION DES NATIONS-UNIES
POUR L'ALIMENTATION ET L'AGRICULTURE
Rome, 2013

Les appellations employées dans ce produit d'information et la présentation des données qui y figurent n'impliquent de la part de l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) aucune prise de position quant au statut juridique ou au stade de développement des pays, territoires, villes ou zones ou de leurs autorités, ni quant au tracé de leurs frontières ou limites. La mention de sociétés déterminées ou de produits de fabricants, qu'ils soient ou non brevetés, n'entraîne, de la part de la FAO, aucune approbation ou recommandation desdits produits de préférence à d'autres de nature analogue qui ne sont pas cités.

ISBN 978-92-5-207641-4 (version imprimée)

E-ISBN 978-92-5-207642-1 (PDF)

© FAO, 2013

La FAO encourage l'utilisation, la reproduction et la diffusion des informations figurant dans ce produit d'information. Sauf indication contraire, le contenu peut être copié, téléchargé et imprimé aux fins d'étude privée, de recherches ou d'enseignement, ainsi que pour utilisation dans des produits ou services non commerciaux, sous réserve que la FAO soit correctement mentionnée comme source et comme titulaire du droit d'auteur et à condition qu'il ne soit sous-entendu en aucune manière que la FAO approuverait les opinions, produits ou services des utilisateurs.

Toute demande relative aux droits de traduction ou d'adaptation, à la revente ou à d'autres droits d'utilisation commerciale doit être présentée au moyen du formulaire en ligne disponible à www.fao.org/contact-us/licence-request ou adressée par courriel à copyright@fao.org.

Les produits d'information de la FAO sont disponibles sur le site web de la FAO (www.fao.org/publications) et peuvent être achetés par courriel adressé à publications-sales@fao.org.

Avant-propos

Le manioc est une plante-racine tropicale, originaire du bassin de l'Amazonie, qui fournit l'alimentation de base à environ 800 millions de personnes à travers le monde. Cultivée presque exclusivement par de petits producteurs à faible revenu, c'est une des rares cultures de base à pouvoir être cultivée efficacement à petite échelle, en n'exigeant ni mécanisation ni achat d'intrants, et dans des zones marginales à sols pauvres et précipitations aléatoires.

L'augmentation de la production mondiale de manioc depuis 2000 est estimée à 100 millions de tonnes, sous l'impulsion de la demande asiatique pour le manioc séché et l'amidon de manioc utilisés en alimentation animale et comme matières premières industrielles, et celle des marchés urbains africains de plus en plus demandeurs de produits alimentaires à base de manioc. Il existe un potentiel considérable d'accroissement additionnel de la production – dans des conditions optimales, les rendements peuvent atteindre 80 tonnes/ha, alors que le rendement moyen à l'échelle mondiale n'est actuellement que de 12,8 tonnes.

L'explosion de la demande présente aux millions de producteurs de manioc des pays tropicaux l'opportunité d'intensifier leur production, d'accroître leur revenu et d'améliorer la disponibilité en produits alimentaires là où elle est le plus nécessaire. Mais la façon dont les petits producteurs de manioc choisiront d'améliorer leur productivité devrait constituer une question prioritaire pour les décideurs. En production céréalière, la Révolution Verte, axée sur l'utilisation de variétés génétiquement uniformes et le recours intensif à l'irrigation et aux intrants chimiques, a sévèrement mis à mal la base de ressources naturelles de l'agriculture, compromettant la productivité à venir. Le passage des petits producteurs de manioc d'une agriculture traditionnelle avec peu d'intrants à un mode de culture plus intensif ne doit pas les exposer aux mêmes erreurs.

L'intensification durable de la production du manioc constitue l'objet du présent guide, le premier d'une série consacrée à l'application pratique, sur des cultures de petits producteurs et des systèmes de production agricole spécifiques, du modèle «Produire plus avec moins» de la FAO. Approuvée en 2010 par la FAO, «Produire plus avec moins» est une approche écosystémique de l'agriculture visant à améliorer la productivité tout en préservant les ressources naturelles. Elle promeut des pratiques devant permettre au demi-milliard de petites exploitations familiales que compte la planète de produire davantage à partir de la même surface de terre, tout en améliorant le capital naturel et les services écosystémiques.

Soutenu par deux décennies de résultats de recherches et d'expériences de terrain en Afrique, en Asie, en Amérique latine et aux Caraïbes, le présent guide fournit une approche respectueuse de l'environnement de l'intensification de la conduite de la culture du manioc. De nombreuses

pratiques recommandées combinent les connaissances traditionnelles avec des technologies modernes bien adaptées aux besoins des petits producteurs. On pourra citer: la minimisation du labour pour protéger les sols, l'optimisation du calendrier et des méthodes de plantation, et l'utilisation d'agents biologique contre les ravageurs et les maladies. Le guide montre comment une utilisation soigneusement équilibrée de la fumure minérale, en combinaison avec les cultures intercalaires, la rotation des cultures, le paillage, la fumure organique et le compostage, peut non seulement rendre plus productif et plus rentable un système de production agricole basé sur le manioc, mais encore le rendre plus durable.

L'adoption d'une agriculture de type «Produire plus avec moins» nécessitera des améliorations conséquentes de l'apport aux petits producteurs de vulgarisation, d'intrants et de crédits à la production. De plus, la FAO est bien consciente que l'amélioration de la productivité peut ne pas suffire à un développement durable et à long terme: un effort considérable reste nécessaire pour intégrer les petits producteurs aux niveaux supérieurs de la création de valeur ajoutée. La transformation du manioc en un sous-secteur polyvalent à même de générer du revenu, de diversifier des économies et d'assurer la sécurité alimentaire pour chacun va exiger une volonté politique, des investissements, un soutien institutionnel et une approche du développement technologique axée sur la demande.

Le présent guide offre aux décideurs une base solide pour évaluer dans quelle mesure une filière manioc dynamique peut les aider à atteindre leurs objectifs en termes de lutte contre la pauvreté, de développement économique et de sécurité alimentaire, et aux chercheurs, techniciens et autres acteurs du développement agricole un outil pratique pour élaborer des programmes d'intensification durable de la production du manioc.

Clayton Campanhola

Directeur, Division de la production végétale
et de la protection des plantes de la FAO

Table des matières

Avant-propos	iii
Remerciements	vi
Aperçu général	vii
<i>Chapitre 1: Le manioc, une culture du XXI^e siècle</i>	1
<i>Chapitre 2: Systèmes de production agricole</i>	19
<i>Chapitre 3: Variétés et matériel végétal</i>	35
<i>Chapitre 4: Gestion de l'eau</i>	49
<i>Chapitre 5: Nutrition des cultures</i>	59
<i>Chapitre 6: Ravageurs et maladies</i>	73
<i>Chapitre 7: Récolte, opérations après récolte et valeur ajoutée</i>	87
<i>Chapitre 8: La marche à suivre</i>	97
Tableaux annexes	109
Références	121
Abréviations	129

Auteurs

Le présent guide a été préparé par
Reinhardt Howeler
Chercheur émérite, CIAT
NeBambi Lutaladio
et **Graeme Thomas**
de la Division de la production végétale
et de la protection des plantes de la FAO

Remerciements

Kolawole Adebayo (Université d'agriculture
d'Abeokuta, Nigéria)
Jean Pierre Anot (consultant FAO)
Tin Maung Aye (CIAT)
Jan Breithaupt (FAO)
Hernán Ceballos (CIAT)
Swarup K. Chakrabarti (CTCRI, Inde)
Mark Davis (FAO)
Dominique Dufour (CIAT)
Emerson Fey (Université fédérale
du Paraná, Brésil)
Marjon Fredrix (FAO)
Theodor Friedrich (FAO)
Gualbert Gbehounou (FAO)
Winfred Hammond (FAO)
Lawan Jeerapong (Département
de la vulgarisation agricole, Thaïlande)

Jippe Hoogeveen (FAO)
Josef Kienzle (FAO)
Lava Kumar (IITA)
Chikelu Mba (FAO)
Danilo Mejía (FAO)
Linn Borgen Nilsen (FAO)
Christian Nolte (FAO)
Bernardo Ospina Patiño (CLAYUCA)
Dai Peters (Initiative Manioc des Grands
Lacs)
Adam Prakash (FAO)
Chareinsak Rojanaridpiched (Université
de Kasetsart, Thaïlande)
Teresa Sánchez (CIAT)
Brian Sims (consultant FAO)
Mario Takahashi (Institut d'agriculture
du Paraná, Brésil)
Namthip Thongnak (Institut thai
de développement du tapioca)
Bernard Vanlauwe (IITA)
Andrew Westby (Université
de Greenwich, UK)
James Whyte (consultant FAO)
Amporn Winotai (Département
de l'Agriculture, Thaïlande)

Aperçu général

1. Le manioc: une culture du XXI^e siècle

L'«aliment des pauvres» est devenu une culture polyvalente qui répond aux priorités des pays en développement, aux tendances de l'économie mondiale et au défi du changement climatique.

Longtemps considéré comme une culture qui ne se prêtait pas à l'intensification, le manioc a vu son importance dans l'agriculture mondiale se renforcer considérablement. En 2012, la récolte a atteint des records, grâce au développement du commerce mondial de produits à base de manioc et à la forte croissance de la production en Afrique. La production s'intensifie partout dans le monde. Dans les prochaines années, le manioc va évoluer vers la monoculture, vers des génotypes à rendement élevé et vers un recours accru à l'irrigation et aux produits agrochimiques. Cependant, l'intensification est porteuse de grands risques, notamment des recrudescences de ravageurs et de maladies et l'épuisement des sols. Ce guide montre comment le modèle «Produire plus avec moins» de la FAO peut aider les pays en développement à éviter les risques inhérents à l'intensification non durable tout en réalisant tout le potentiel du manioc en termes de rendements plus élevés, de lutte contre la pauvreté rurale et de contribution au développement économique national.

2. Systèmes de production agricole

Nombre de petits producteurs de manioc suivent déjà trois recommandations essentielles du modèle «Produire plus avec moins»: labour réduit ou labour zéro, couverture du sol et diversification des cultures.

Il est vrai que planter du manioc sans labour préalable dans des sols dégradés peut donner des rendements plus faibles les premières années, mais une fois la santé des sols rétablie, une terre non labourée peut donner des rendements élevés pour un coût moindre pour l'agriculteur et pour les ressources naturelles de l'exploitation. Le paillis et les cultures de couverture contribuent à la réduction des infestations d'adventices et créent des conditions pédologiques de nature à améliorer la productivité. Cultiver le manioc en association, en succession et en rotation permet d'accroître le revenu net obtenu par unité de surface et de réduire le risque de mauvaise récolte. La culture intercalaire de légumineuses à graines procurera à l'agriculteur des revenus plus élevés que la monoculture et lui permettra de nourrir son ménage. Les haies protectrices permettent de réduire les pertes dues à l'érosion du sol et la culture du manioc en rotation avec des légumineuses et des céréales contribue à la lutte contre l'épuisement des sols et à la restauration des rendements.

3. Variétés et matériel végétal

Le potentiel du manioc ne sera pleinement réalisé que lorsque les contraintes s'exerçant sur la production seront atténuées grâce à des variétés supérieures et les producteurs de manioc auront accès à un matériel végétal à rendement élevé et exempt de maladies.

Le moment est venu de caractériser, à l'échelle du génome, la diversité génétique du manioc, pour combler les lacunes des collections de cultivars primitifs, et pour créer des réserves naturelles afin de préserver les espèces sauvages apparentées. L'harmonisation des données d'identification et des données d'évaluation relatives aux échantillons des banques de gènes devrait être une priorité. L'amélioration devrait se concentrer sur la création de variétés qui soient bien adaptées à des agroécologies, à des systèmes de culture et à des utilisations finales bien spécifiques et qui donnent de bons rendements en nécessitant un apport minimal de produits agrochimiques et d'irrigation. La reproduction et la distribution systématiques d'un matériel végétal exempt de maladies de variétés améliorées sont essentielles dans une optique d'intensification durable. S'il est vrai que peu de pays disposent de systèmes semenciers structurés pour le manioc, un système communautaire à trois niveaux lancé pour la première fois en Afrique, faisant appel à des ONG et à des associations d'agriculteurs, a contribué à l'adoption des fruits de la recherche, des variétés améliorées et du matériel végétal sain par le plus grand nombre de producteurs de manioc.

4. Gestion de l'eau

Une fois bien établi, le manioc peut pousser dans des régions qui reçoivent 400 millimètres seulement de précipitations annuelles moyennes. Cependant, des rendements bien plus élevés peuvent être obtenus avec un apport d'eau plus important.

L'optimisation de la production pluviale de manioc suppose que l'on prête une attention particulière aux dates, aux méthodes et aux configurations de plantation et que l'on adopte des pratiques de gestion des sols contribuant à la conservation de l'eau. Bien qu'il puisse pousser dans des régions recevant des précipitations de 400 millimètres par an, les rendements maximaux obtenus en Thaïlande ont été observés lorsque les précipitations avoisinaient les 1 700 millimètres. Le manioc répond bien à l'irrigation – l'irrigation de surface a permis de doubler le rendement obtenu par rapport à une culture pluviale; une irrigation au goutte à goutte peut donner plus ou moins le même rendement que l'irrigation de surface en consommant 50 pour cent d'eau en moins. Au Nigéria, les rendements ont été multipliés par six lorsque l'apport d'eau par une irrigation d'appoint au goutte-à-goutte était égal aux précipitations de la campagne. Une irrigation supplémentaire qui a augmenté l'apport total d'eau de 20 pour cent a permis aux agriculteurs de quasiment doubler les rendements en racines.

5. Nutrition des cultures

L'association de processus écosystémiques et de l'utilisation judicieuse d'un engrais minéral constitue la base d'un système de nutrition des cultures durable qui produit plus tout en utilisant moins d'apports de l'extérieur.

Bien que le manioc donne des rendements raisonnables sur des sols pauvres, de nombreuses variétés produisent plus avec l'apport d'engrais. Les rendements en Afrique, en particulier, pourraient être sensiblement améliorés si les agriculteurs avaient accès à un engrais minéral à un prix raisonnable. Les agriculteurs peuvent améliorer la fertilité du sol en mettant en œuvre d'autres mesures du modèle «Produire plus avec moins». La culture intercalaire de légumineuses à graines et le paillage avec les résidus des légumineuses et d'adventices locales permettent d'augmenter les rendements. Avec un apport d'engrais, la culture en rangées d'arbres légumineux à racines profondes et l'utilisation de compost organique ou de fumier de ferme produisent toutes deux des rendements et des revenus nets plus élevés. Pour réduire la perte d'éléments nutritifs des sols due à l'érosion, on peut appliquer le labour zéro, ce qui préserve la stabilité de l'agrégat et le drainage interne du sol, planter des haies de vétiver autour des parcelles et procéder à un apport d'engrais minéral, qui accélère la couverture du sol par le feuillage.

6. Ravageurs et maladies

Protéger le manioc avec un pesticide est bien souvent inefficace et n'est presque jamais économique. Une série de mesures non chimiques peuvent aider les agriculteurs à réduire les pertes tout en protégeant l'écosystème agricole.

Les cultivateurs devraient utiliser du matériel végétal de variétés qui tolèrent les principaux ravageurs et maladies ou qui y résistent, et adopter des pratiques écosystémiques telles que le paillage, la préservation de la matière organique du sol et le recours à des cultures intercalaires offrant un habitat aux prédateurs des ravageurs. Les biopesticides, les pièges collants et l'eau savonneuse peuvent être utiles dans la lutte contre bon nombre d'insectes ravageurs. Les stratégies relatives à la santé végétale devraient encourager le recours à des agents biologiques – en Afrique et en Asie, le lâcher en masse d'une espèce de guêpe minuscule a permis de venir à bout d'importantes infestations de cochenille du manioc. Pour éviter que les adventices n'étouffent les jeunes plants, les agriculteurs devraient optimiser les densités de plantation et la fumure et planter des variétés à la croissance initiale vigoureuse. Un désherbage manuel régulier peut être aussi efficace que la lutte contre les adventices au moyen d'herbicides. Les agriculteurs doivent choisir avec soin les herbicides qu'ils utilisent et devraient suivre les conseils des spécialistes locaux de la protection phytosanitaire.

7. Récolte, opérations après récolte et valeur ajoutée

Aliment pour le ménage, fourrage pour le bétail et matière première pour une large gamme de produits à valeur ajoutée, de la farine grossière aux gels d'amidon issus de technologies avancées, le manioc est vraiment une culture polyvalente.

Les racines de manioc récoltées sont consommées directement par de nombreux ménages d'agriculteurs ou servent à nourrir le bétail. Les racines peuvent être transformées en semoule ou en farine de manioc de haute qualité qui peut remplacer une partie de la farine de blé dans le pain et les confiseries. En Thaïlande et en Chine, l'amidon des racines est utilisé dans les produits alimentaires, le contreplaqué, le papier et les textiles et sert de matière première pour la fabrication d'édulcorants, de fructose, d'alcool et de carburant à l'éthanol. Les propriétés de l'amidon issues de deux mutations récentes du manioc sont très appréciées par l'industrie. La racine n'est pas la seule partie utile de la plante: les jeunes feuilles de manioc sont des légumes nutritifs et les fanes peuvent être données au bétail, aux buffles, aux cochons, aux poulets et aux vers à soie.

8. La marche à suivre

Les pouvoirs publics doivent encourager la participation des petits exploitants à un programme de développement durable du manioc et soutenir les approches de recherche et de vulgarisation qui «laissent les agriculteurs décider».

Les partenariats entre agriculteurs et scientifiques et les écoles pratiques d'agriculture se sont révélés très efficaces pour la promotion d'une gestion durable des ressources naturelles dans les systèmes de production à petite échelle. Des mesures d'incitation, par exemple la rémunération des services environnementaux, pourraient également être nécessaires pour encourager les producteurs de manioc à adopter de meilleures pratiques agricoles. Des mesures doivent être prises pour rendre l'engrais minéral et les autres apports plus accessibles aux petits exploitants, et pour fournir à ceux-ci du matériel végétal de qualité et exempt de maladies. Des investissements dans des infrastructures routières et dans des capacités de stockage et de transformation dans les zones de production aideront les producteurs à conserver une part plus importante de la valeur ajoutée. Les politiques devraient promouvoir les investissements privés dans la transformation du manioc et encourager les associations qui relient les producteurs de manioc et les producteurs de produits transformés, qui promeuvent l'adoption de normes et qui diffusent les informations sur les marchés. Si les subventions publiques peuvent réduire l'exposition des agriculteurs à l'instabilité des prix, des choix plus durables existent, comme les assurances récolte ou les contrats d'approvisionnement entre les fabricants de produits alimentaires et les coopératives agricoles.



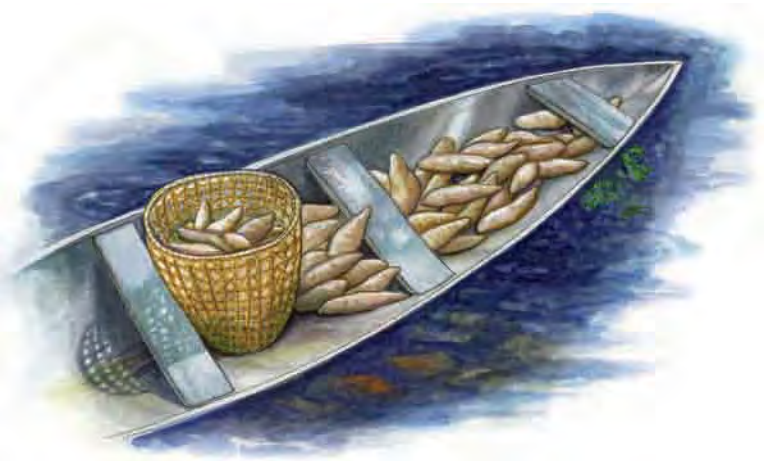
Chapitre 1

Le manioc, une culture du XXI^e siècle

*L'«aliment des pauvres» est devenu
une culture polyvalente qui répond
aux priorités des pays en développement,
aux tendances de l'économie mondiale
et au défi du changement climatique.*

Le manioc (*Manihot esculenta* Crantz) est une des quelque 199 espèces d'arbres, d'arbustes et d'herbes constituant le genre *Manihot*, dont la distribution s'étend du nord de l'Argentine au sud des États-Unis d'Amérique. Si certaines études identifient plusieurs origines géographiques du manioc, d'autres suggèrent que l'espèce cultivée est originaire du versant sud du bassin brésilien de l'Amazonie¹⁻⁴. D'un point de vue botanique, le manioc est un arbuste ligneux pérenne, qui peut atteindre 1 à 5 m de hauteur. Sa mise en culture, essentiellement pour ses racines tubéreuses riches en amidon, est estimée remonter à 9 000 ans, ce qui en fait l'une des productions agricoles les plus anciennes. À l'époque précolombienne, il était cultivé en de nombreux endroits d'Amérique du Sud, d'Amérique Centrale et des îles des Caraïbes.

Suite aux conquêtes espagnole et portugaise, le manioc a été transplanté sur la côte occidentale de l'Afrique. Dès les années 1800 sa culture s'étendait au long de la côte orientale de l'Afrique et en Asie du Sud. L'expansion de la culture du manioc a été considérable au cours du XX^e siècle, qui l'a vu émerger comme une culture alimentaire de base de premier plan dans toute l'Afrique sub-saharienne ainsi qu'en Inde, en Indonésie et aux Philippines. Du fait qu'il est vulnérable au froid et que sa période de croissance dure presque un an, la culture du manioc se confine presque exclusivement dans les zones tropicales et sub-tropicales. Sa culture est pratiquée aujourd'hui par des millions de petits agriculteurs dans plus de 100 pays, depuis les American Samoa jusqu'à la Zambie, sous toutes sortes d'appellations locales: *mandioca* au Brésil, *yuca* au Honduras, *ketela pohon* en Indonésie, *mihogo* au Kenya, *akpu* au Nigéria et *sân* au Viet Nam.



***Manihot esculenta* présente des caractéristiques** qui en font une culture très attractive pour les petits producteurs des zones isolées à sols pauvres et précipitations faibles ou aléatoires. Comme il est propagé au moyen de boutures des tiges, le matériel végétal (boutures) est abondant et bon marché. La plante supporte très bien les sols acides, et participe à une association symbiotique avec des champignons du sol qui aident ses racines à absorber le phosphore et les oligoéléments. Elle décourage les herbivores au moyen de deux glycosides produits par ses feuilles et qui, à la digestion, forment du cyanure d'hydrogène, hautement toxique. Du fait que la plupart des nutriments du sol absorbés au cours de sa croissance restent dans la partie aérienne de la plante, le recyclage de cette partie aide à préserver la fertilité du sol. Lors d'un stress provoqué par la

D'après certaines études, la culture du manioc a commencé il y a bien 9 000 ans, sur la lisière sud de l'Amazonie brésilienne, où elle perdure à ce jour.

sécheresse, la production foliaire se réduit jusqu'à la pluie suivante. Grâce à l'utilisation efficace de l'eau et des nutriments du sol par le manioc, ainsi qu'à sa résistance aux attaques sporadiques de ravageurs, les producteurs, tout en utilisant peu ou pas d'intrants, peuvent compter sur une récolte raisonnable là où d'autres cultures échoueraient.

Une racine tubéreuse de manioc contient plus de 60 pour cent d'eau. Cependant, sa matière sèche est très riche en glucides, qui constituent environ 250 à 300 kg pour une tonne de racines fraîches. Quand la racine est utilisée comme aliment, le meilleur moment pour la récolte est environ 8 à 10 mois après plantation; plus la croissance est longue, plus le rendement en amidon est élevé. Cependant, pour certaines variétés, la récolte peut se faire «à la demande», n'importe quand entre six mois et deux ans. Ces qualités font du manioc une des cultures de base alimentaires les plus fiables.

En raison de la teneur élevée en amidon des racines tubéreuses, le manioc constitue une source importante d'énergie métabolisable. Son rendement énergétique à l'hectare est souvent très élevé, et il a le potentiel de dépasser largement celui des céréales⁵. Dans de nombreux pays d'Afrique sub-saharienne, c'est la source la moins chère de calories. De plus, les racines tubéreuses contiennent des quantités significatives de vitamine C, de thiamine, de riboflavine et de niacine⁶.

Ils peuvent également présenter, selon la variété, une teneur élevée en glycosides cyanogénétiques, particulièrement dans les téguments externes⁷. C'est pourquoi, après récolte, les racines tubéreuses de manioc sont épluchées, puis subissent une cuisson prolongée, ou épluchées, râpés et mis à tremper pour provoquer une fermentation qui va libérer le cyanure sous forme de gaz volatil. Le traitement de la pâte continue ensuite – par séchage, rôtissage ou ébullition – pour obtenir une farine grossière et divers autres produits alimentaires. Dans certains pays, le manioc est également cultivé pour ses feuilles, qui peuvent contenir jusqu'à 25 pour cent de protéines en poids sec^{5, 8}. Le séchage au soleil ou la cuisson ramènent la teneur en cyanure d'hydrogène à un niveau non toxique. Tant les feuilles que les racines tubéreuses peuvent servir à nourrir les animaux de la ferme, tandis que les tiges peuvent servir de bois de feu et de substrat pour la culture de champignons.

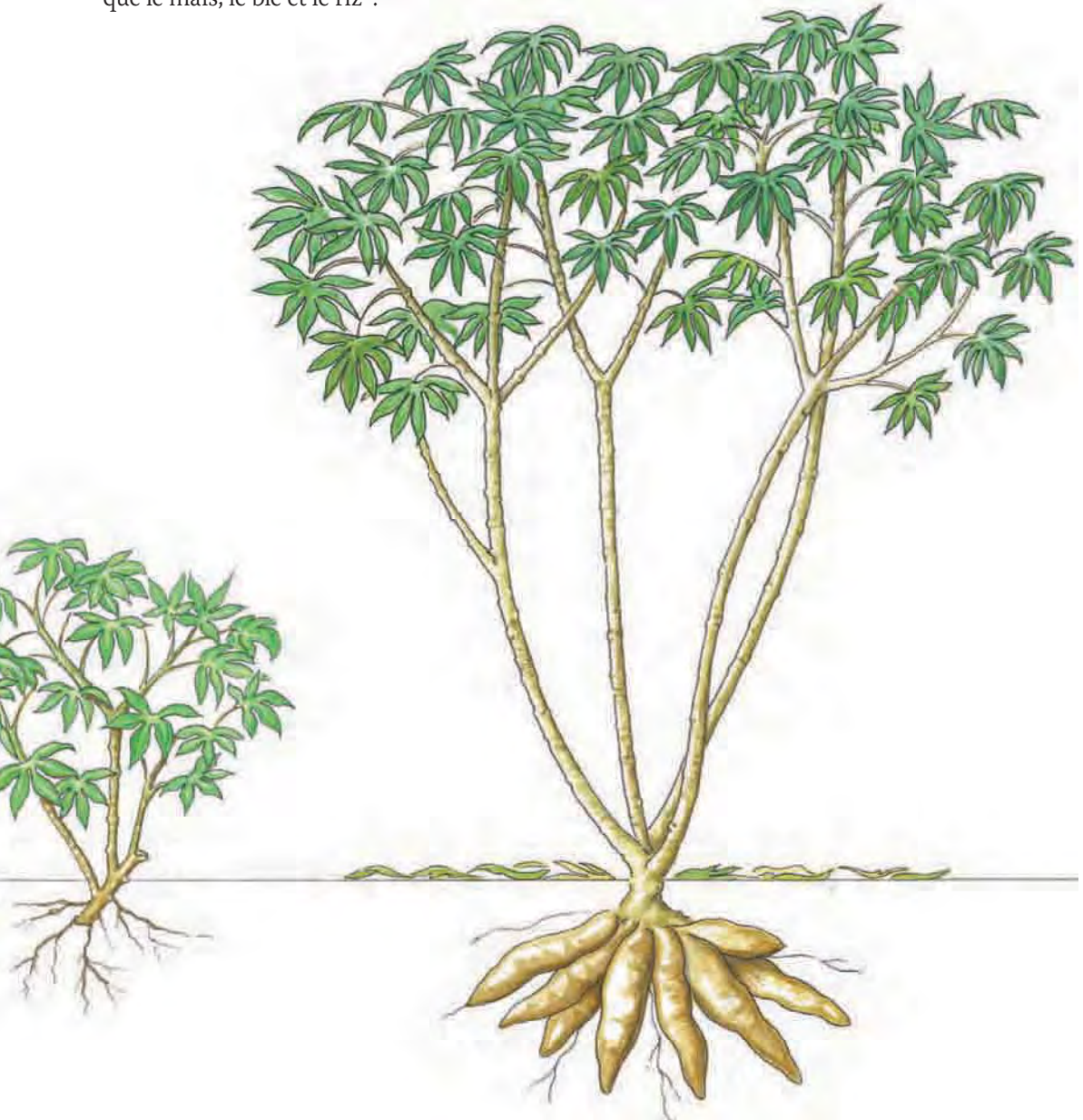
La versatilité du manioc ne s'arrête pas là. L'amidon des racines tubéreuses peut également être utilisé dans un large assortiment d'activités industrielles, dont l'industrie alimentaire, le textile, le contreplaqué, la papeterie et les colles, ainsi que comme matière première pour la production d'éthanol biocarburant.



Parmi la famille des cultures alimentaires de base, le manioc a longtemps été considéré comme celle se prêtant le moins bien à l'intensification. Les morceaux de tige de manioc sont volumineux et sont fréquemment vecteurs de ravageurs et maladies sérieux, tandis que la lenteur considérable du processus de multiplication végétative fait obstacle à l'adoption de nouvelles variétés améliorées. Sortir de terre les racines tubéreuses de manioc demande beaucoup de main-d'œuvre, et les racines elles-mêmes sont difficiles à transporter tout en étant très périssables: ils doivent être transformés dans les jours suivant la récolte.

L'approche de l'intensification d'après le modèle Révolution Verte, basé sur le recours aux variétés naines et des apports considérables d'intrants chimiques et d'irrigation, a énormément amélioré le rendement du blé et du riz, mais s'est révélé inadaptée au manioc en zones pluviales. En partie à cause de sa localisation dans des pays en voie de développement, le manioc a bénéficié de beaucoup moins de recherche et de développement que le maïs, le blé et le riz⁹.

Le manioc pousse à partir de boutures coupées dans les tiges. À compter du 3^e mois, quelques-unes de ses racines fibreuses commencent à tubériser grâce à l'amidon transféré à partir du feuillage. La plus grande partie de l'amidon des racines tubéreuses se forme après le sixième mois, quand le couvert formé par la plante atteint son extension maximale.

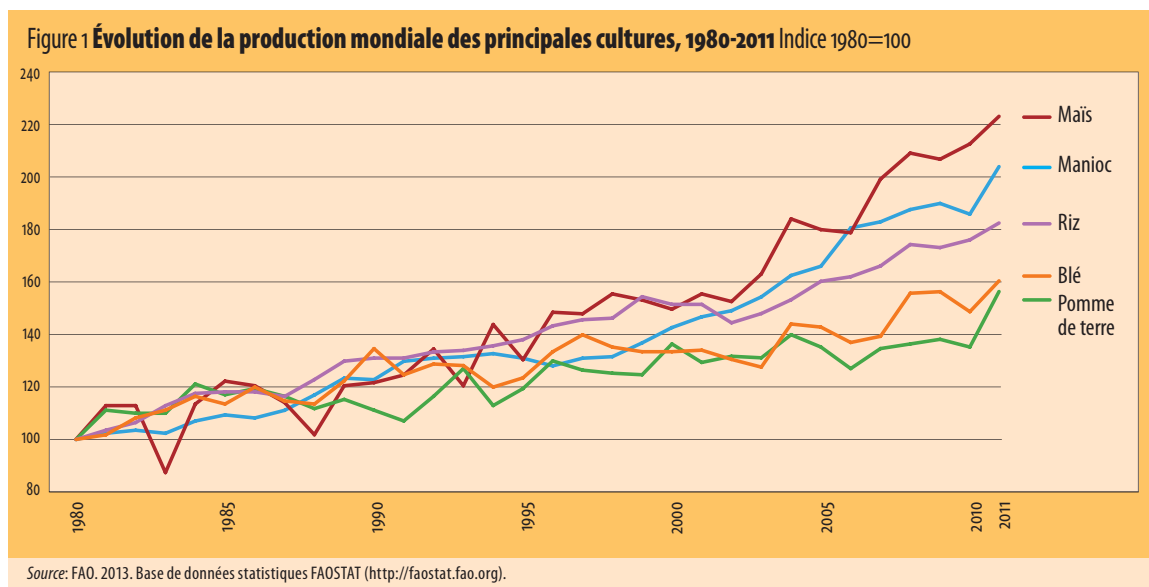


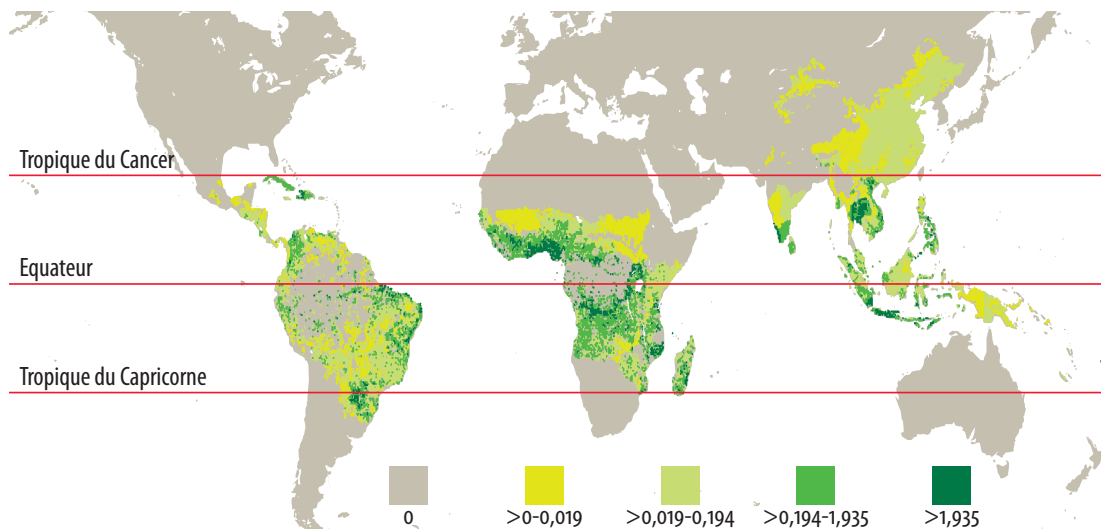
Mais le rang occupé par le manioc dans l'agriculture a changé du tout au tout. De 1980 à 2011, la superficie totale cultivée en manioc a augmenté de 44 pour cent, passant de 13,6 à 19,6 millions d'hectares, soit le taux d'accroissement le plus élevé des cinq grandes cultures alimentaires mondiales. Au cours de la même période, la production mondiale a plus que doublé, passant de 124 à 252 millions de tonnes¹⁰.

Au cours de la décennie écoulée, la croissance de la production de manioc s'est accélérée (figure 1). Les estimations de la FAO situent la récolte mondiale 2012 à plus de 280 millions de tonnes, ce qui représente une augmentation de 60 pour cent depuis 2000 et un taux de croissance annuelle double de celui constaté au cours des deux décennies précédentes¹¹. Depuis 2000, le taux de croissance de la production de manioc en Afrique est égal à celui du maïs, tandis qu'en Asie du Sud, du Sud-Est et de l'Est, il est presque le triple de celui du riz¹⁰.

Également significative, depuis le début du siècle, est la tendance à l'accroissement de la productivité des systèmes de production agricole basés sur le manioc. Entre 1980 et 2000, la montée de la production était essentiellement due à la mise en culture de superficies plus importantes, avec un gain de quelque 3,7 millions d'hectares, tandis que les rendements connaissaient une croissance annuelle de 0,6 pour cent seulement. Depuis lors, le rendement moyen à l'hectare a augmenté de presque 1,8 pour cent par an à l'échelle globale, passant de 10,4 tonnes en 2000 à 12,8 tonnes en 2012. Alors que durant la période 1980-2000 la croissance des rendements du manioc était largement à la traîne derrière celle des autres grandes cultures alimentaires, au cours de la décennie écoulée elle a dépassé celle des pommes de terre, du riz, du maïs et du blé¹⁰.

Les rendements moyens actuels sont encore très en dessous du potentiel du manioc. Une étude du Centre international d'agriculture



Surface cultivée en manioc (ha/km²)

tropicale (CIAT) datant des années 90 donnait une estimation prudente de ce potentiel, chiffré – sous réserve d’une amélioration de la conduite de la culture et des sols, et de l’introduction de variétés plus productives et résistant mieux à la sécheresse, aux ravageurs et aux maladies – à 23,2 tonnes/ha en moyenne. Sur la base de la superficie actuellement en culture, cela représenterait une production annuelle de 450 millions de tonnes.

L’examen de l’évolution des régions productrices de manioc dans le monde montre que la croissance de la production est le fruit de différents facteurs et que les producteurs réagissent à la montée de la demande en intensifiant la production.

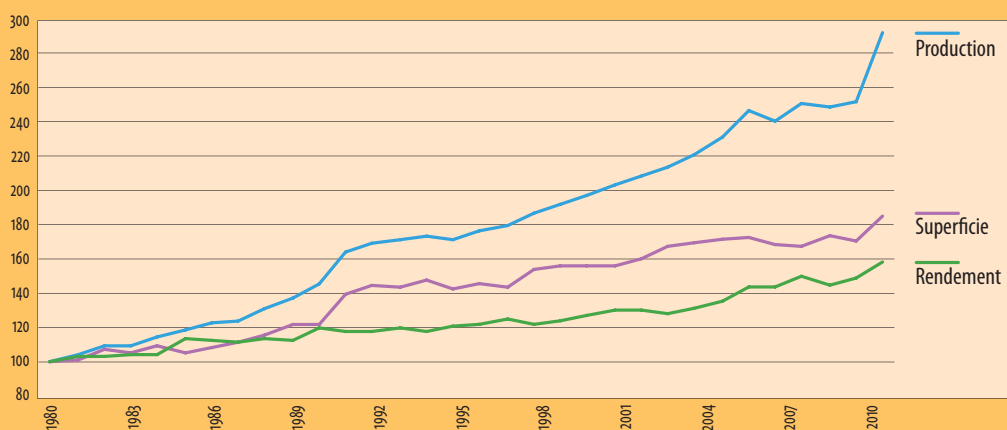
Afrique sub-saharienne

C’est en Afrique sub-saharienne que la croissance de la production de manioc a été la plus marquée, avec une récolte de 140,9 millions de tonnes – plus de la moitié de la production mondiale – en 2011. De 1980 à 2000, la production a presque doublé, passant de 48,3 à 95,3 millions de tonnes, grâce à une expansion de 56 pour cent de la superficie en culture et de 25 pour cent des rendements. Entre 2000 et 2011, l’expansion de la superficie en culture est retombée à 18 pour cent, mais l’amélioration des rendements, passant de 8,6 à 10,8 tonnes/ha, a entraîné une augmentation de près de 50 pour cent de la production (figure 2).

En Afrique sub-saharienne, la majeure partie du manioc est produite par de petits producteurs à faible revenu qui n’utilisent que peu ou pas d’intrants extérieurs. Sa culture va en général de pair avec d’autres, telles que maïs, riz, légumineuses, melons, bananes et palmier à huile. Il reste essentiellement une culture alimentaire – environ 90 pour cent des racines

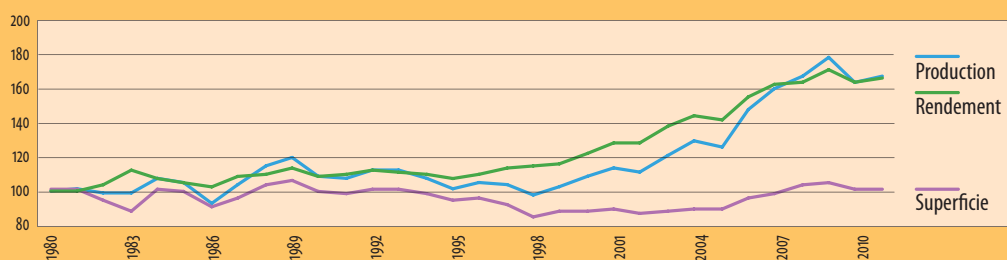
Source: Adapté de Monfreda, C., Ramankutty, N. et Foley, J.A. 2008. Farming the planet: 2. Geographic distribution of crop areas, yields, physiological types, and net primary production in the year 2000. Glob. Biogeochem. Cycles, 22: 1-19.

Figure 2 **Évolution de la production, de la surface cultivée et du rendement du manioc en Afrique sub-saharienne** Indice: 1980=100



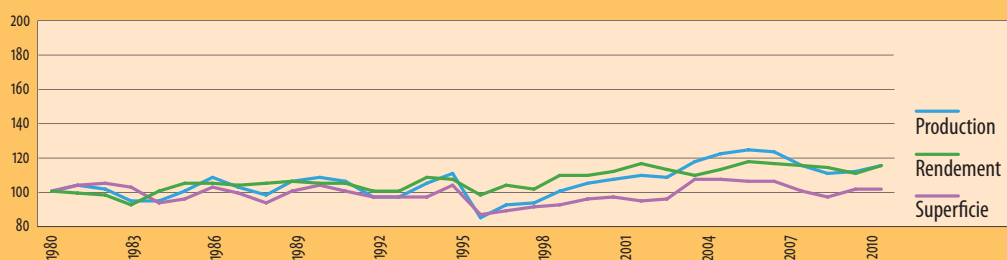
Source: Tableaux annexes 1.1, 1.2 et 1.3

Figure 3 **Évolution de la production, de la surface cultivée et du rendement du manioc en Asie, 1980-2011** Indice: 1980=100



Source: Tableaux annexes 1.1, 1.2 et 1.3

Figure 4 **Évolution de la production, de la surface cultivée et du rendement du manioc en Amérique latine et Caraïbes, 1980-2011** Indice: 1980=100



Source: Tableaux annexes 1.1, 1.2 et 1.3

tubéreuses récoltés vont à la consommation humaine, tandis qu'environ 10 pour cent subissent une transformation rudimentaire pour servir d'aliment du bétail utilisé sur place.

Depuis 2000, la production de manioc augmente plus vite que la population, la disponibilité de manioc par habitant montant jusqu'à presque 60 kg par an. La consommation de manioc par les Africains dépasse celle de toute autre culture de base alimentaire, le maïs y compris. La quasi-totalité est consommée soit sous forme de racines tubéreuses fraîches, soit après transformation en produits à base de farine fermentée¹³. Certaines estimations situent la consommation quotidienne des urbains nigériens à 0,2 kg¹⁴.

Les progrès les plus importants en termes de production depuis 2000 ont eu lieu en Afrique de l'Ouest, avec une production accrue de 60 pour cent, passant de 47 à 76 millions de tonnes. La productivité s'est améliorée tandis que les pays de la sous-région prenaient conscience du potentiel présenté par le manioc comme culture industrielle, à même de diversifier le revenu des producteurs, de faire rentrer des devises et de créer de l'emploi¹². La poussée de la production a été plus particulièrement marquée au Nigéria et au Ghana: en l'espace de 11 ans, ces deux pays ont connu une hausse de rendement de 25 pour cent, atteignant environ 15 tonnes/ha¹⁰.

Les rendements moyens dans le reste de la région restent faibles, à environ 10 tonnes. Néanmoins, dans certains pays, une production plus intensive – faisant davantage appel notamment à des variétés améliorées, à des engrais minéraux et à d'autres intrants – a entraîné une nette amélioration des rendements. C'est ainsi qu'au Malawi, un programme du gouvernement pour la multiplication rapide de matériel végétal à haut rendement et exempt de maladies a provoqué une expansion rapide de la culture du manioc à travers le pays¹⁵. De 1990 à 2011, les rendements moyens sont passés de 2,3 à 21,5 tonnes/ha, et la production de 144 000 tonnes à 4,2 millions de tonnes¹⁰.

Plus récemment, le Rwanda a démontré comment l'intensification peut produire des résultats spectaculaires en très peu de temps. Depuis 2007, son programme d'intensification des cultures de base alimentaires a apporté aux producteurs 140 millions de boutures de variétés améliorées, résistantes aux maladies, ainsi que des engrais importés et des services de vulgarisation.

Il en est résulté pour les rendements un passage de moins de 6,7 tonnes en 2007 à 12,3 tonnes en 2011, tandis que la production passait à plus du triple, de 780 000 tonnes à 2,5 millions de tonnes¹⁶.

L'Afrique sub-saharienne accuse un retard par rapport aux tendances globales affectant le développement de la filière manioc. Cependant, on voit émerger de nouvelles utilisations pour le manioc: dans le secteur de l'aliment du bétail, dans la boulangerie en substitution partielle à la farine de blé, et comme matière première industrielle. En 2012, le Nigéria est entré en fanfare sur le marché international du manioc en décrochant une commande de 1 million de tonnes de cossettes de manioc séchées pour

la Chine¹⁰; le gouvernement vient d'annoncer de nouvelles exportations en direction de la Chine, de 3,3 millions de tonnes en 2013¹⁷.

Asie

La contribution des producteurs asiatiques à la production mondiale de manioc est de 30 pour cent. Au cours des trois dernières décennies, leur production a augmenté de 66 pour cent, passant de 45,9 millions de tonnes en 1980 à 76,6 millions de tonnes en 2011. Cette croissance est due presque entièrement à une culture plus intensive – la superficie cultivée n'a pas changé entre 1980 et 2011, tandis que les rendements moyens passaient de 11,8 à 19,5 tonnes/ha sur la même période (figure 3).

Comme en Afrique, le manioc est essentiellement produit par des petits producteurs, qui traditionnellement y voyaient une réserve permettant d'affronter une mauvaise récolte de riz et une source d'aliment pour leurs animaux. Actuellement, la plus grande partie du manioc de la région est destinée à satisfaire la demande en cossettes de manioc séchées et en amidon de manioc, à destination du sous-secteur des aliments du bétail et de la transformation industrielle.

C'est la Thaïlande qui a introduit l'utilisation industrielle à grande échelle du manioc dans les années 80, en créant un prospère sous-secteur d'exportation de pellets séchés vers l'Europe pour l'alimentation du bétail. La croissance spectaculaire de la production de ce pays, passant de 3,7 millions de tonnes en 1970 à plus de 20 millions de tonnes en 1990, a été alimentée par l'expansion des surfaces cultivées; les rendements eux-mêmes ont en fait diminué, passant de 15,3 tonnes à moins de 14 tonnes/ha¹⁰.

Dans les années 90, la Thaïlande a lancé un important programme de dissémination auprès des agriculteurs de nouvelles variétés à haut rendement, ainsi que d'amélioration de leur accès aux engrais minéraux et à la vulgarisation. De 1990 à 2009, les rendements ont augmenté de presque deux tiers en Thaïlande, tandis que la superficie cultivée se réduisait de 10 pour cent et que la production atteignait un record de 30 millions de tonnes.

Depuis 2000, avec de plus en plus de pays désireux de pénétrer des marchés export lucratifs, la production asiatique de manioc a augmenté de 55 pour cent. Le pays le plus demandeur de la région est la Chine. Entre 2000 et 2009, les importations chinoises de manioc séché sont passées de 256 000 tonnes à plus de 6 millions de tonnes, tandis que les importations d'amidon de manioc faisaient plus que doubler, atteignant 1,2 million de tonnes¹⁰.

La Thaïlande domine le marché export avec des expéditions de 6 millions de tonnes de cossettes de manioc séchées et d'amidon, pour une valeur totale de 1,5 milliard de dollars EU en 2010. Elle se trouve néanmoins face à une concurrence croissante. Le Viet Nam a plus que quadruplé sa production de manioc depuis 2000, passant de 2 à

8,5 millions de tonnes¹¹, et exportant 1 million de tonnes de manioc séché en 2010. Les exportations indonésiennes ont également augmenté, passant de 150.000 tonnes en 2000 à 1,4 million de tonnes. Au Cambodge, l'exportation du manioc séché, une activité naissante totalisant 22.000 tonnes en 2011, vient de recevoir un coup de fouet avec des commandes chinoises portant sur 1 million de tonnes¹⁹.

Un nouveau domaine d'utilisation important se fait jour en Asie, l'alimentation de l'industrie des biocarburants – une tonne de cossettes séchées produit environ 300 litres d'éthanol pur à 96 pour cent¹³. Dans le cadre des efforts de différents pays pour réduire tant leur dépendance par rapport aux importations de pétrole que leurs émissions de gaz à effet de serre, des sociétés chinoises, japonaises et coréennes ont commencé à obtenir des concessions pour des plantations de manioc à grande échelle, notamment au Cambodge, en Indonésie, en RDP Lao et aux Philippines, pour produire des cossettes séchées destinées à la fabrication d'éthanol.

Dans quelques pays, le manioc reste d'abord et avant tout une culture alimentaire. L'Indonésie dispose de l'approvisionnement alimentaire en manioc per capita le plus important de la région, avec 44 kg/an, contre une moyenne régionale de 6,7 kg. Le manioc est également cultivé essentiellement à des fins alimentaires dans l'État indien du Kerala, où les producteurs ont atteint un rendement moyen en racines tubéreuses de 24 tonnes/ha, grâce à une production intensive, fréquemment sous irrigation²⁰.

Amérique latine et Caraïbes

L'Amérique latine et les Caraïbes, où *Manihot esculenta* a été cultivé à l'origine, ne contribuent que pour 14 pour cent à la production mondiale, avec quelque 34,3 millions de tonnes en 2011. Entre 1980 et 2011, la superficie cultivée a progressé de moins de 1 pour cent, passant à 2,6 millions d'hectares, tandis que la production augmentait de 15 pour cent, grâce à une augmentation modérée des rendements. Cependant, la croissance annuelle moyenne de la production depuis 2000 est le double de celle enregistrée au cours des deux décennies précédentes (figure 4).

Comme dans d'autres régions des tropiques, le manioc des Amériques est en général confiné dans des zones marginales à précipitations aléatoires, faible fertilité naturelle du sol, et terrain difficile. La nature inhérente de la culture du manioc, et particulièrement ses exigences en matière de main-d'œuvre, en font généralement une culture de petits producteurs, dans le cadre de systèmes de production agricole où elle cohabite avec d'autres cultures ou des activités d'élevage²¹. La production est dominée par le Brésil, qui a récolté 24,4 millions de tonnes en 2011 – soit quasiment les trois quarts de la production totale de la région – suivi par le Paraguay (2,4 millions de tonnes), la Colombie (2,2 millions de tonnes) et le Pérou (1,1 million de tonnes)¹⁰.

En dépit de la diminution de la consommation alimentaire de manioc au cours des 50 dernières années, en raison des déplacements massifs des populations rurales vers les zones urbaines, il demeure un aliment de base important, notamment en Colombie et dans le Nord-Est du Brésil. La FAO évalue à moitié-moitié la proportion de la production de manioc consommée par les humains et par le bétail dans la région. Le Brésil met en œuvre des politiques de promotion de la consommation de manioc par substitution de farine de manioc produite dans le pays aux céréales importées. Le gouvernement a décrété l'incorporation de 10 pour cent de farine de manioc dans la farine de blé pour panification, une initiative dont on estime qu'elle absorbe environ la moitié de la production nationale de manioc¹¹.

La plupart des producteurs de manioc d'Amérique latine et des Caraïbes utilisent peu d'intrants, et leurs rendements – avec une moyenne de 12,9 tonnes/ha – restent bien en deçà de leur niveau potentiel. Il existe cependant, depuis les années 90, une tendance significative à l'émergence d'exploitations à plus grande échelle et plus intensives, notamment au Brésil. Si la majeure partie du manioc brésilien continue de provenir du Nord-Est, sec et présentant des rendements d'environ 11 tonnes/ha²¹, les États du sud du pays, pratiquant une culture intensive – essentiellement pour produire de la farine de manioc et de l'amidon natif à destination des industries alimentaire, cartonnaire et textile – sont parvenus à des rendements allant jusqu'à 40 tonnes²².

La production brésilienne d'amidon de manioc, transformée essentiellement dans les usines de l'État du Paraná, est estimée à plus de 500 000 tonnes en 2011²³. Environ 70 pour cent de la matière première provient de petites exploitations. Pour arriver à un apport de matière première constant sur l'année, la production de manioc est mécanisée, les agriculteurs pratiquant fréquemment la monoculture du manioc avec un recours intensif aux intrants²⁴. D'autres pays de la région, notamment la Colombie, le Paraguay et le Venezuela, sont également en train d'augmenter leur capacité de production d'amidon de manioc. Par rapport à l'Asie, la proportion de la production régionale de manioc qui se retrouve sur le marché international est très réduite. En fait, le premier pays exportateur est le Costa Rica, qui a exporté environ 92.000 tonnes de manioc séché en 2010.

Si la production mondiale de manioc a atteint un niveau record en 2012, et ce pour la 14^{ème} année consécutive, il subsiste toujours un gisement considérable de croissance future. Le commerce mondial des produits du manioc a connu une expansion marquée en 2012, suite à l'avantage de prix du manioc par rapport au maïs comme source d'amidon. Les prix des cossettes et de l'amidon à l'international sont restés remarquablement stables, en dépit d'une demande très forte. La FAO s'attend à voir se poursuivre en 2013 la montée en production de l'Afrique sub-saharienne¹¹.

La place qu'occupe désormais le manioc dans l'agriculture mondiale constitue une avancée majeure vers la réalisation de la Stratégie globale pour le développement du manioc qu'ont adoptée en 2001, après quatre ans de consultations, la FAO, le Fonds international pour le développement agricole (FIDA), différents partenaires issus des secteurs public et privé, et 22 pays producteurs de manioc. La stratégie reconnaît le potentiel présenté par le manioc non seulement en termes de sécurité alimentaire, mais également comme élément moteur du développement industriel rural et source de revenus améliorés pour les producteurs, les transformateurs et les négociants²⁵.

Il est très probable que la croissance de la production de manioc va encore s'accélérer au cours de la décennie actuelle. «L'aliment des pauvres» est devenu une culture polyvalente du XXI^e siècle – une culture qui répond aux priorités des pays en développement, aux tendances de l'économie mondiale et au défi du changement climatique. En résumé:

Développement rural. Dans les pays tropicaux, les décideurs reconnaissent désormais le potentiel énorme que représente le manioc pour accélérer le développement rural industriel et améliorer les revenus des ruraux. Leurs regards se tournent vers la Thaïlande, où les gains de productivité des deux décennies écoulées ont abondé les revenus des petits producteurs d'un montant estimé à 650 millions de dollars EU et fait sortir de la pauvreté de nombreux producteurs de manioc. Dans le sud du Brésil, le manioc est une culture industrielle mettant en jeu des millions de dollars, et alimentant des usines qui emploient des milliers de ruraux²⁴. Il a été suggéré que l'investissement dans la recherche et le développement sur le manioc en Afrique serait de nature à générer les gains les plus élevés en termes de PIB agricole²⁶.

Sécurité alimentaire des zones urbaines. Un facteur primordial d'accroissement de la production sera le prix élevé des céréales sur les marchés mondiaux, qui a déclenché en 2008 l'inflation globale des prix alimentaires. En Afrique, la persistance de la pauvreté urbaine favorise la consommation de produits alimentaires à base de manioc, du fait que les consommateurs recherchent les sources de calories les moins chères¹². Parmi les recommandations de la FAO aux gouvernements pour maîtriser la hausse des prix alimentaires figure la fabrication de produits à base de manioc susceptibles d'être mis sur le marché comme aliments faciles à préparer et se conservant longtemps²⁷. Le manioc pourrait également contribuer à améliorer l'état nutritionnel des populations à bas revenu – certaines nouvelles variétés biofortifiées produisent des racines tubéreuses riches en vitamine A, en fer et en zinc.

Substituts d'importation. De nombreux gouvernements ont institué, ou envisagent de le faire, l'obligation d'incorporer de la farine de manioc d'origine locale à la farine de blé utilisée en boulangerie, qui est le plus

souvent importée. Le Nigéria a récemment porté à 100 pour cent son taux de douane sur la farine de blé, consacrant le produit de cette hausse à un fond de développement du pain à base de manioc¹¹. Il a également indiqué qu'il prévoyait de substituer du gruau de manioc à 10% du maïs utilisé en alimentation des volailles, ce qui augmenterait de 480.000 tonnes la demande en racines tubéreuses de manioc²⁸. En Afrique de l'Est, le secteur des aliments du bétail se tourne vers le manioc, maïs et blé devenant de plus en plus hors de prix²⁹.

Énergie renouvelable. La production mondiale de bioéthanol pourrait atteindre les 155 milliards de litres en 2020, contre 100 milliards de litres en 2010. La part qu'y occupe actuellement le manioc est réduite, mais la demande chinoise est en croissance rapide, suite à sa décision de ne plus utiliser de céréales pour produire du biocarburant. Actuellement, 50 pour cent de la production chinoise d'éthanol provient de racines tubéreuses de manioc et de patates douces, et on s'attend à ce qu'elle produise 780 millions de litres d'éthanol, à partir de 6 millions de tonnes de manioc séché, en 2012¹³. La Chine prévoit de mettre au point des variétés de manioc adaptées à la production de biomasse énergétique dans les régions plus froides et sèches situées au nord du pays³⁰.

Nouvelles utilisations industrielles. À l'échelle globale, le manioc constitue la seconde source d'amidon, après le maïs, avec une production estimée à 8 millions de tonnes par an. Cependant, les pays tropicaux importent chaque année de l'amidon de maïs pour une valeur de 80 millions de dollars EU, auquel pourrait se substituer de l'amidon fabriqué à base de manioc produit localement¹³. En Thaïlande, où les exportations d'amidon de manioc ont rapporté quelque 4 milliards de dollars EU depuis 2000, les chercheurs sont en train de mettre au point une variété dont les racines tubéreuses contiennent un amidon capable de rivaliser avec l'amidon de maïs premium «waxy»^{31, 32}. Une variété récemment mutée présente dans l'amidon de ses racines des granules plus petits, ce qui réduit considérablement le temps et l'énergie nécessaires pour la production d'éthanol³³.

Adaptation au changement climatique. Un autre facteur favorisant l'accroissement de la production de manioc est la capacité potentielle de cette culture à bien s'adapter au changement climatique. D'après une étude récente sur l'impact du changement climatique sur les principales cultures alimentaires de base africaines, la moins vulnérable aux conditions climatiques telles que prévues en 2030 serait le manioc, et en fait, sur la plus grande partie des 5,5 millions de km² englobés dans l'étude, le manioc s'en trouverait mieux. À l'inverse, toutes les autres grandes cultures alimentaires de base de la région, dont le maïs, le sorgho, le mil, les haricots, les pommes de terre et les bananes devraient subir un impact essentiellement négatif³⁴.

À mesure que la demande croît, les systèmes traditionnels de culture du manioc se voient remplacer, dans le monde entier, par des systèmes de production agricole plus intensifs. Au cours des années à venir, on peut s'attendre à voir se renforcer la tendance à l'intensification – visant à augmenter les rendements sur une même surface de terre cultivée – dans l'ensemble des régions productrices de manioc. L'alternative consistant à étendre les superficies cultivées n'est pas possible dans la plupart des pays, en raison de la réduction des terres arables disponibles et des gros besoins en main-d'œuvre associés à la culture du manioc. L'expérience a également montré que l'ouverture de nouvelles zones à la culture du manioc peut avoir des coûts environnementaux sévères: en Thaïlande, au cours des années 70 et 80, l'expansion des superficies mises en culture a conduit à une déforestation massive²⁵.

Les producteurs, l'industrie et les décideurs sont en train d'étudier des solutions aux contraintes qui freinent l'amélioration des rendements du manioc⁹. Les petits producteurs brésiliens, indiens et thaïlandais ont eu d'excellents résultats en production commerciale, avec des rendements compris entre 25 et 40 tonnes/ha, obtenus par une intensification des pratiques culturales. Si les rendements africains sont actuellement inférieurs à la moitié du niveau potentiel global, des expériences sur le terrain ont donné des rendements allant jusqu'à 40 tonnes³⁵. Au Nigéria, l'amélioration des variétés, des pratiques culturales et de la conduite des cultures pourrait donner des rendements de 25 tonnes/ha et au-delà.

Le Rwanda prévoit de faire passer sa production de manioc des 2,5 millions de tonnes d'aujourd'hui à pas moins de 6,1 millions de tonnes en 2017, en disséminant des variétés à rendement amélioré, en formant les agriculteurs à une meilleure conduite des cultures, et en encourageant un recours accru aux engrais minéraux, aux pesticides et à l'irrigation¹⁶. Avec le soutien des bailleurs de fonds internationaux, d'autres pays africains – tels que le Ghana et la République démocratique du Congo – ont formulé des programmes similaires visant la commercialisation du manioc, en accord avec l'Initiative panafricaine sur le manioc de l'Union africaine, qui a identifié *Manihot esculenta* comme un produit agricole clé, une culture contribuant à la sécurité alimentaire, et un «soldat de la lutte contre la pauvreté»³⁶.

On peut donc prédire au manioc un avenir comprenant de plus en plus de monoculture à grande échelle, l'adoption généralisée de génotypes à haut rendement mieux adaptés à l'industrialisation, et un recours accru à l'irrigation et aux intrants chimiques.

Dans leur soutien aux programmes d'intensification de la production de manioc, les décideurs doivent prendre en compte les leçons tirées de la Révolution Verte. Basé sur l'utilisation de variétés génétiquement uniformes et le recours intensif au labour, à l'irrigation, aux engrais minéraux et aux pesticides, ainsi qu'aux intrants chimiques, ce dernier modèle a engendré un changement d'ordre de grandeur dans les rendements céréaliers

mondiaux et la consommation alimentaire individuelle moyenne. Mais ces énormes gains de productivité se sont souvent assortis d'effets négatifs sur la base de ressources naturelles de l'agriculture, à un degré si sérieux que le potentiel productif à venir de celle-ci s'en trouve compromis. Nombreux sont les pays où des décennies d'agriculture intensive ont dégradé des terres fertiles et asséché les nappes phréatiques, provoqué des infestations de ravageurs, mis à mal la biodiversité, et pollué l'air, le sol et l'eau³⁷.

Appliquer le même modèle à la production de manioc implique des risques similaires. Le passage des systèmes traditionnels de production de manioc des petits producteurs – basés sur les cultures intercalaires et le recours aux périodes de jachère pour laisser se reconstituer les nutriments du sol³⁹ – à une monoculture intensifiée peut simplifier la conduite de la culture et favoriser, au début, une augmentation des rendements. L'expérience montre, cependant, qu'il en résulte également une prévalence accrue des ravageurs et maladies, et une accélération de la détérioration des réserves de nutriments du sol^{35, 38}.

Dans le sud du Brésil, la demande constante tout au long de l'année de manioc destiné à l'industrie de l'amidon a conduit à une monoculture ininterrompue sur les mêmes parcelles, au chevauchement des calendriers de plantation, à l'utilisation croissante de variétés génétiquement uniformes, et à des besoins de plus en plus élevés en intrants chimiques pour préserver la fertilité du sol et lutter contre les ravageurs et les maladies²⁴. Au Rwanda, les densités de plantation plus élevées entraînées par l'intensification sont à l'origine d'une pression des ravageurs et des maladies qui compromet les rendements¹⁶. En même temps que le réchauffement va commencer à permettre une production intensive de manioc dans des nouvelles zones en Afrique, en Asie et en Amérique du Sud, on s'attend à voir s'alourdir les risques de problèmes de ravageurs et de maladies²⁴.

La culture du manioc en continu – mettant en jeu au moins 10 ans de production sur une même parcelle avec moins d'un an de jachère entre deux récoltes – est déjà très répandue en Afrique sub-saharienne, notamment dans les zones non humides et les hautes terres⁴⁰. En Afrique de l'Est, les paysages agricoles sont passés des systèmes traditionnels comportant des jachères importantes à une production en continu axée sur le manioc³⁵.

Avec l'intensification, de nombreux producteurs africains de manioc ont complètement abandonné la jachère et ne cherchent pas à compenser les pertes de nutriments au moyen de techniques de conduite de la fertilité des sols, telles que cultures de couverture et fumure organique. La chute du niveau de nutriments dans le sol se traduit par celle des rendements, au point de rendre la production non rentable³⁹.

Dans le nord-est de la Thaïlande, après plusieurs années de culture du manioc en zone de hautes terres, la fertilité du sol est en baisse à cause de l'érosion, des pratiques de labour privant le sol de couverture, et du fait que les agriculteurs n'enfouissent pas les résidus de récolte⁴¹. En Colombie,

la monoculture du manioc a vu ses rendements chuter de 37 à 12 tonnes/ha en neuf ans, à cause de la dégradation des sols.

Au Nigéria, des recherches ont mis en évidence une augmentation de l'érosion des sols quand les cultures mixtes traditionnelles cèdent la place à la monoculture⁴². Qui plus est, des pratiques traditionnelles de lutte contre l'érosion des sols qui se montrent très efficaces dans le cadre d'une polyculture le sont moins en monoculture⁴². Des expérimentations menées au Viet Nam ont produit des rendements en manioc de 19 tonnes en monoculture, mais ont entraîné de graves pertes de sol, dues à l'érosion, de plus de 100 tonnes/ha, impossibles à soutenir de façon durable⁴³.

En 2010, la FAO a adopté une approche écosystémique de l'intensification des pratiques culturales, approche à la fois très productive et durable en termes d'environnement⁴⁴. Baptisée «Produire plus avec moins», elle propose de «verdier» la Révolution Verte par le recours à des pratiques culturales qui se reposent sur les contributions de la nature à la croissance d'une culture, telles que la matière organique du sol, la maîtrise de la circulation de l'eau, la pollinisation et la lutte biologique contre les insectes ravageurs et les maladies. Les principes clés qui sous-tendent «Produire plus avec moins» sont:

- ▶ La préservation d'un sol en bonne santé pour une bonne nutrition de la plante
- ▶ La mise en culture d'une gamme élargie d'espèces et de variétés végétales selon des régimes de rotation, d'association et de successions culturales
- ▶ L'utilisation de variétés bien adaptées et à haut rendement et de semences de qualité
- ▶ Une gestion de l'eau efficace, maximisant le rendement par goutte d'eau
- ▶ Une gestion préventive des ravageurs, des maladies et des plantes adventices

Ce modèle agricole respectueux de l'environnement encourage la réduction ou l'abandon du labour de façon à stimuler les rendements tout en rétablissant la santé des sols. Il lutte contre les insectes ravageurs en protégeant leurs ennemis naturels plutôt qu'en arrosant les cultures à l'aveuglette avec des pesticides. Il utilise les engrais minéraux avec parcimonie, en les combinant avec des sources organiques de nutriments du sol³⁷.

Les leçons tirées de projets de développement agricole menés dans 57 pays en voie de développement ont montré qu'une utilisation plus efficace de l'eau, la réduction du recours aux pesticides et le soin de la santé du sol entraînent une amélioration d'environ 80 pour cent des rendements⁴⁵. Une autre étude est parvenue à la conclusion que les systèmes agricoles qui conservent les services écosystémiques, en ayant recours au labour de conservation, à la diversification des cultures, à l'intensification des cultures de légumineuses et la lutte biologique contre



Grâce à «Produire plus avec moins», les pays tropicaux peuvent éviter les risques posés par l'intensification de la production du manioc.

les ravageurs, donnent des résultats comparables à ceux obtenus par les systèmes d'agriculture intensive et à haut niveau d'intrants^{46, 47}.

Le présent guide montre comment l'utilisation de «Produire plus avec moins» peut aider les pays en voie de développement à éviter les risques liés à une intensification non durable, tout en exploitant pleinement le potentiel du manioc en termes de rendements accrus, de lutte contre la pauvreté rurale et de contribution au développement économique national. Par exemple, il montre comment l'association du manioc à l'arachide non seulement donne des rendements élevés en racines tubéreuses mais encore produit un revenu bien supérieur à celui de la monoculture; comment une guêpe prédatrice est bien plus efficace que les insecticides face aux infestations de cochenille du manioc; et comment la rotation du manioc avec des haricots et du sorgho a rétabli le rendement là où l'utilisation des engrais minéraux seuls avait échoué.

On trouvera, aux chapitres 2, 3, 4, 5 et 6, une description de toute une panoplie de pratiques à la fois adoptables et adaptables, s'appuyant sur l'écosystème; ces pratiques, qui renforcent la productivité du manioc, peuvent servir de pierre angulaire aux programmes nationaux et régionaux. Le chapitre 7 se penche sur les utilisations post-récolte du manioc et la création de valeur ajoutée. Le chapitre 8 définit des politiques de facilitation de l'intensification durable de la production de manioc, et insiste sur l'importance – au moment d'introduire de nouvelles pratiques ou technologies – de «laisser le agriculteur décider».



Chapitre 2

Systèmes de production agricole

Nombre de petits producteurs de manioc suivent déjà trois recommandations essentielles du modèle «Produire plus avec moins»: labour réduit ou labour zéro, couverture du sol et diversification des cultures.

Dans «Produire plus avec moins», les systèmes de production agricole s'articulent sur trois recommandations essentielles¹. Tout d'abord, les agriculteurs doivent s'attacher à protéger la structure, la matière organique et la santé du sol en général en *limitant les atteintes mécaniques à son encounter*. Cela signifie minimiser «le labour conventionnel», le passage de la charrue, de la herse ou de la houe avant chaque culture et au cours de la croissance de la plante. À la place, les producteurs sont encouragés à passer au labour de conservation, qui exclut les pratiques conduisant à inverser le sol et à enfouir les résidus de récolte. Des formes répandues de labour de conservation sont le labour en bandes ou minimal, qui permet de ne perturber que la couche destinée à contenir le rang de semences, et le labour zéro, qui s'interdit le recours à la charrue ou au binage.

En même temps que le labour de conservation, la FAO recommande *le maintien d'un couvert protecteur organique sur le sol*, c'est-à-dire l'utilisation de cultures ou de résidus (paillage) pour réduire l'érosion du sol, préserver son eau et ses nutriments, et éliminer les plantes adventices. La couverture organique du sol ne se contente pas d'améliorer l'état physique du sol; elle encourage la prolifération des biotes du sol – y compris les vers de terre et les protozoaires, champignons et bactéries bénéfiques – qui favorisent la bonne santé du sol et les résultats de la culture. Dans un système à zéro labour, la plantation se fait directement à travers le paillis formé par les résidus des récoltes précédentes ou des cultures de couverture.

Troisièmement, les agriculteurs doivent cultiver, en association, en succession ou en rotation, *un large assortiment d'espèces végétales*, qui pourront comprendre des arbres, des arbustes et des pâturages. Les cultures mixtes aboutissent à une production diversifiée, ce qui aide les agriculteurs à réduire les risques, à réagir aux variations de la demande des marchés, et à s'adapter aux chocs extérieurs, dont le changement climatique. L'association ou la rotation de cultures exigeantes en nutriments avec des légumineuses qui vont enrichir le sol, et de cultures à enracinement superficiel avec des cultures à enracinement en profondeur, préservent la fertilité du sol et la productivité des cultures, tout en posant une barrière à la transmission des ravageurs ou des maladies spécifiques d'une espèce cultivée.

Ces trois pratiques, en améliorant la teneur du sol en matière organique et l'activité de ses biotes, en réduisant la pression des ravageurs et des maladies, en réduisant l'érosion et en accroissant la disponibilité de l'eau et des nutriments utilisés par la culture, conduisent à une amélioration durable des rendements. Elles font également baisser les coûts de production, essentiellement grâce aux économies réalisées sur les machines agricoles, les carburants fossiles et les intrants extérieurs tels que l'irrigation, les engrais minéraux et les pesticides.

Labour ou pas labour?

Il faut au manioc un sol à la structure assez meuble pour faciliter l'enracinement initial et permettre la tubérisation des racines. Il est par ailleurs plutôt vulnérable à la concurrence des plantes adventices, à l'excès d'humidité et à la pourriture des racines. Pour toutes ces raisons, la plantation se fait en général sur un sol ameubli et désherbé à la charrue ou par binage. Sur des sols dégradés et sans structure, un labour conventionnel facilite l'insertion des boutures dans le sol et permet à l'enracinement de bénéficier d'un sol bien drainé et bien aéré^{2, 3}.

Cependant, ce n'est pas le labour qui détermine le rendement, mais l'état du sol. Il est également possible de planter des boutures de manioc, et d'obtenir de bons rendements, sur un sol non labouré, à condition que celui-ci soit sain, bien structuré et sans compaction⁴. Un sol friable et riche en matière organique offre des conditions idéales pour une culture à zéro labour². D'après une étude sur la production de manioc par les petits producteurs en Afrique de l'Ouest et de l'Est, la plantation sur un lit de semis sans aucune préparation du sol est plus fréquente que pour toutes les autres cultures, à l'exception du riz. Là où le sol présente de mauvaises qualités physiques, les agriculteurs plantent sur des buttes ou des billons préparés à la main⁵.

La pratique continue du labour conventionnel, surtout avec des charrues, herse ou rototillers lourds attelés à des tracteurs, enfouit la couverture protectrice du sol, tue ses biotes, entraîne une décomposition rapide de sa matière organique, et détériore sa structure en pulvérisant ses agrégats. Labourer ou biner toujours à la même profondeur, saison après saison, provoque fréquemment l'apparition d'une semelle de labour, couche de sol compacte – en général sous la couche arable – qui laisse difficilement le passage à l'eau et aux racines. Avec des sols de ce type, il sera nécessaire de les ameublir mécaniquement pour continuer à produire, mais au prix d'une aggravation de leur dégradation.

Toujours avec ces sols, cultiver du manioc sans labour pourra se traduire par des rendements inférieurs dans les premières années. À plus long terme, cependant, en réduisant la minéralisation du sol, son érosion et la perte d'eau, en contribuant à reconstituer sa matière organique et en préservant la stabilité de ses agrégats et son drainage interne, le zéro labour facilite au mieux le fonctionnement des racines. Une fois sa santé restaurée, un sol non labouré peut produire des rendements élevés et le faire à moindre coût, tant pour le agriculteur que pour la base de ressources naturelles du système de production agricole.

Aujourd'hui, la préparation du sol pour le manioc se fait de toutes sortes de manières différentes et à divers degrés d'intensité. Les petits producteurs d'Indonésie, du Viet Nam et de nombreux pays africains, ainsi que partout où la pente est trop forte pour permettre une mécanisation quelconque, utilisent en général une houe pour ameublir le sol à l'endroit

du semis. S'agissant d'une activité à forte intensité de main-d'œuvre, la préparation du sol se limite fréquemment au trou de semis proprement dit. Si cela s'apparente à un labour réduit, il peut également en résulter un mauvais rendement si les plantes adventices ne sont pas combattues.

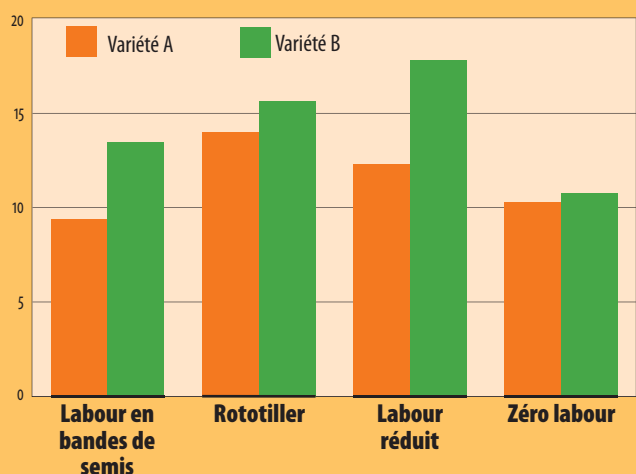
Dans les régions où les agriculteurs cultivent le manioc sur de grandes surfaces, ils procèdent traditionnellement à un labour tracté par des bœufs ou des buffles d'eau, en général en un ou deux passages. Les agriculteurs des zones montagneuses de la Colombie utilisent une charrue réversible simple tractée par une paire de bœufs¹¹. En Indonésie, ils labourent avec des bœufs, avant de billonner à la main avec une houe à manche court. Dans l'État indien du Kerala, les agriculteurs binent le sol avant de pratiquer des buttes individuelles pour chaque plant de manioc, une pratique à haute intensité de main-d'œuvre qui peut demander plus de 30 jours de travail à l'hectare.

Dans les pays où le manioc est cultivé sur de grandes surfaces, allant de 2 à 5 ha, le sol est généralement préparé avec un tracteur tirant une charrue à versoirs ou à disques, suivi en général par un passage de herse à disques et parfois de billonneuse. Ou encore, le sol est ameubli, et les résidus de culture et plantes adventices enfouis, avec un rototiller. Cependant, cette méthode tend à pulvériser le sol et peut entraîner une érosion sérieuse si le sol est en pente.

De nombreux producteurs brésiliens de manioc pratiquent le labour de conservation. En général ils cultivent durant les mois d'hiver une plante de couverture, comme l'avoine maigre (*Avena strigosa*) ou le blé, afin de protéger la surface du sol, de l'enrichir en matière organique et d'éliminer les plantes adventices. Au printemps, avant la maturation de la céréale de couverture, celle-ci est écrasée avec un rouleau tiré par un tracteur, ou tuée avec des herbicides, puis une planteuse mécanique plante les boutures de manioc directement à travers le paillis formé par les résidus de la céréale. Au Paraguay, les agriculteurs plantent le manioc à la main sans labour préalable, après avoir utilisé de l'avoine maigre ou des légumineuses arbustives comme couverture d'hiver¹².

De nombreuses expérimentations ont tenté de déterminer la meilleure méthode de préparation du terrain pour le manioc et l'efficacité des méthodes alternatives basées sur le labour de conservation^{11, 13}. Cependant, les effets des différentes options de labour sur le niveau de rendement ne sont pas clairement établis: les expériences de terrain en Afrique, en Asie et en Amérique latine donnent des résultats qui varient d'une année à l'autre et d'un endroit à l'autre. Sur une pente peu prononcée en Colombie, les meilleurs rendements pour une variété résultaient d'un labour réduit – préparation à la houe des seuls trous de plantation – alors que pour une autre variété, l'utilisation d'un rototiller monté sur un tracteur donnait le meilleur rendement (figure 5). Tant le zéro labour qu'une préparation en bandes de semis à la houe ou au rototiller produisaient des rendements sensiblement inférieurs. Mais d'autres expérimentations

Figure 5 Effets du mode de labour sur le rendement du manioc, Colombie (t/ha)



Source: Tableau annexe 2.1

dans la même zone – portant sur le zéro labour, le labour à traction animale (bœufs), et le labour en bandes de semis – ont désigné le zéro labour comme entraînant les rendements les plus élevés et l'érosion du sol la plus faible.

Lors d'une expérimentation sur trois ans, sur une pente à 25 pour cent dans la province de Hainan, Chine, le rendement supérieur, 26 tonnes/ha, résultait de labour et disquage conventionnels. Un labour réduit aux trous de plantation donnait un rendement légèrement inférieur, de 24,6 tonnes, tandis qu'au zéro labour et à la préparation de bandes de semis correspondaient des rendements encore plus bas, d'environ 22,8 tonnes. Cependant, le

labour réduit et le zéro labour entraînaient également le plus faible niveau d'érosion du sol, un problème majeur sur une pente marquée¹⁴.

Au Brésil, le rendement moyen en manioc, lors d'une expérimentation sur quatre ans, était de 18,2 tonnes/ha sur les parcelles à zéro labour, sensiblement moins que les 24,7 tonnes résultant du labour conventionnel¹⁵. En revanche, sur des sols argileux préalablement plantés en maïs d'hiver sous zéro labour pendant quatre ans, le zéro labour et le labour conventionnel n'aboutissaient pas à des différences de rendement significatives¹⁶.

Lors d'une expérimentation en Thaïlande portant sur la préparation du terrain, sur quatre années consécutives, la pratique standard – deux labours avec une charrue à 3 disques puis une herse à 7 disques – a donné les meilleurs rendements, tandis que le zéro labour donnait en permanence un rendement plus faible³. En revanche, une autre expérimentation menée en Thaïlande n'a pas donné de différence significative de rendement entre les modes de labour. En passant une sous-soleuse suivie d'un chisel, les chercheurs ont atteint un rendement de quelque 22 tonnes/ha, contre 20 tonnes quand le terrain n'était pas labouré et les plantes adventives combattues avec des herbicides¹⁷.

En Thaïlande également, avec une application d'engrais azoté de 100 kg/ha, le rendement en racines tubéreuses du manioc cultivé en zéro labour a atteint 67 tonnes, nettement plus que les 53 tonnes résultant d'un labour conventionnel (figure 6). L'année suivante, le rendement moyen des parcelles non labourées est retombé à 49 tonnes, légèrement inférieur à celui des parcelles sous labour conventionnel, de 54 tonnes cette année-là¹⁷.

Une étude nigériane a conclu que le rendement obtenu par billonnage conventionnel est jusqu'à 48 pour cent supérieur à celui des champs non labourés¹⁸, bien que le zéro labour soit la pratique la plus répandue parmi les producteurs locaux. Cependant, les plantations avaient été effectuées au

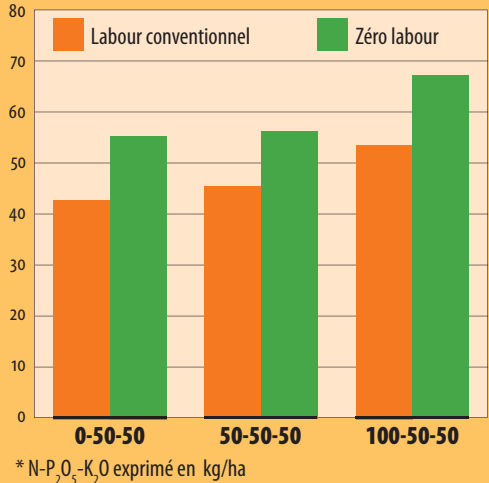
cœur de la saison des pluies, en juin, au moment où l'humidité du sol est maximale et la température minimale, ce qui a ralenti l'émergence des plants sur les parcelles non labourées et entraîné la pourriture d'une quantité substantielle de boutures¹⁸. En fait, quand la plantation a été effectuée au début de la saison des pluies, en mars, l'émergence du manioc a été meilleure dans les parcelles à zéro labour¹⁹. D'autres expérimentations menées au Cameroun et au Nigéria ont conclu que le mode de labour n'a pas d'effet sur le rendement en manioc^{18, 20}; en République démocratique du Congo, le rendement était plus élevé en l'absence de labour sur sol ferrallitique, et de même niveau sur sol de limon sableux, à condition que la parcelle soit paillée².

Pour finir, une étude récente portant sur une expérimentation de 8 ans sur sol de limon sableux en Colombie a conclu que le zéro labour est plus efficace pour enrichir le sol en nutriments et préserver ses caractéristiques physiques, et que, combiné avec le paillis de résidus de récoltes, il produit les rendements en racines tubéreuses les plus élevés, avec ou sans fumure minérale (figure 7). L'étude concluait, dans son évaluation coûts-bénéfices, que la comparaison du labour conventionnel et du zéro labour était à l'avantage de celui-ci, qui, sur le long terme, représente un «système optimal» de production du manioc²¹.

Sur la base des données dont nous disposons, il n'est pas possible de définir une méthode quelconque de préparation du sol comme «la meilleure pour le manioc». À titre de conclusion d'ensemble, on peut en déduire que, sur le rendement en manioc, les effets du mode de labour fluctuent d'une année à l'autre, et que, pour la lutte anti-érosion, les effets du zéro labour se révèlent en général positifs. La recherche montre également que sur les sols lourds, mal drainés ou déjà fortement dégradés, il est nécessaire de préparer le sol sous une forme ou sous une autre. Cependant, même dans ce dernier cas, la nécessité d'un labour peut être réduite par le recours à des pratiques améliorant la structure, la teneur en matière organique et le drainage du sol, comme le paillage².

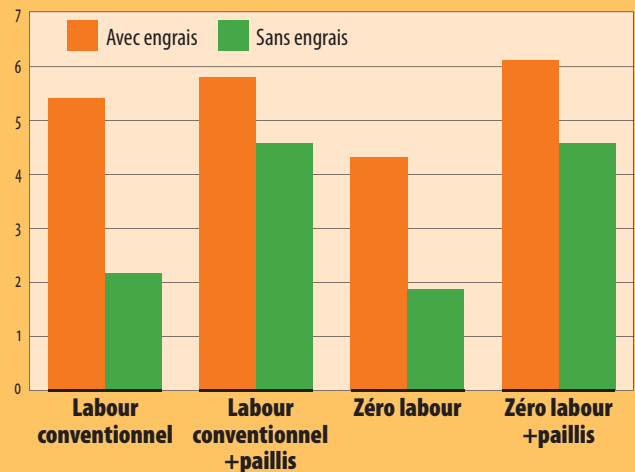
Les producteurs de manioc doivent être encouragés à se tourner vers le labour minimum, et, dans l'idéal, le zéro labour, surtout sur des sols bien agrégés, friables, avec une teneur convenable en matière organique.

Figure 6 Effets du mode de labour et de l'engrais* sur le rendement du manioc, Thaïlande (t/ha)



Source: Tableau annexe 2.2

Figure 7 Réaction du rendement du manioc au paillis de plantes de surface, à la fumure et au labour, Colombie (t/ha)



Source: Tableau annexe 2.3

Du fait que les rendements ne dépendent pas du labour proprement dit, mais de la santé du sol, il est recommandé d'assortir les expérimentations portant sur le labour d'un suivi précis de l'évolution de la structure du sol et de sa matière organique sous le régime du zéro labour, car il semble que ces facteurs aient un impact à long terme positif sur les rendements du manioc et soient de bons indicateurs de la durabilité de sa culture.

Même là où le labour de conservation entraîne des rendements inférieurs, il présente des avantages économiques pour les producteurs: économies sur le carburant et l'équipement requis pour un labour conventionnel, et – du fait qu'il réduit l'érosion du sol, préserve sa teneur en eau et contribue à préserver sa santé – possibilité de produire du manioc de façon plus intensive et durable, sans devoir utiliser de grandes quantités d'inputs extérieurs²². Le labour de conservation présentera également une alternative intéressante au labour conventionnel dans les zones touchées par le changement climatique. Là où les précipitations diminueront, il contribuera à préserver la structure du sol, et là où elles augmenteront, il contribuera à réduire l'érosion du sol et à améliorer sa structure, permettant un meilleur drainage interne²³.

Cultures de couverture et paillage

Le maintien en permanence d'une couverture du sol est une autre pratique de base de «Produire plus avec moins», qui est de plus essentielle pour tirer pleinement parti des avantages du labour de conservation. La couverture du sol est tout particulièrement importante dans le cas du manioc – avec sa croissance initiale lente, le sol reste exposé à l'impact direct de la pluie durant les 2 ou 3 premiers mois du cycle végétatif, et l'apparition de plantes adventices est favorisée par le large espacement entre les boutures plantées. Afin de protéger la surface du sol, de réduire le ruissellement et l'érosion, et de contrer les plantes adventices, les recommandations de «Produire plus avec moins» comportent la couverture de la surface du sol avec un paillis, tel que résidus de récoltes, ou de cultiver des plantes de couverture (aussi appelées «paillis vivant») au cours des périodes de jachère ou pendant l'implantation du manioc. Le paillage des lits de semis est tout spécialement recommandé quand le manioc est cultivé sur des pentes vulnérables à l'érosion. Les boutures de manioc peuvent être plantées directement à travers le paillis de couverture, avec peu ou pas de préparation du sol²⁴.

Le paillis de couverture sert également de couche isolante, réduisant les variations diurnes de la température et l'évaporation de l'eau, même en cas de sécheresse prolongée. Il augmente la teneur du sol en matière organique et offre un environnement favorable aux micro-organismes du sol ainsi qu'à la faune souterraine. Le paillis, en améliorant les conditions physiques du sol – réduction de la température du sol, humidité du sol

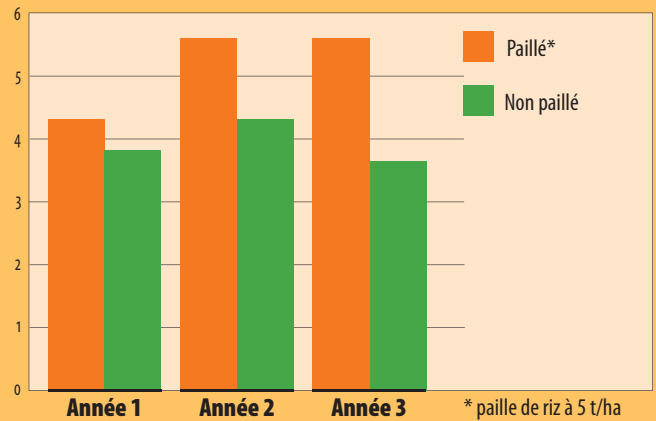
accrue, meilleure capacité d'infiltration de l'eau et moins d'évaporation – contribue à de meilleurs rendements¹⁶.

Lors d'une expérience sur 3 ans en République démocratique du Congo, l'application de 5 tonnes de paille de riz sur du manioc tardif a entraîné l'augmentation du pH du sol, de sa teneur en carbone organique, du phosphore disponible pour le sol et des cations échangeables avec le sol. Les plants de manioc paillés produisaient des racines tubéreuses plus nombreuses et plus grosses que les non paillées, et le rendement en poids sec de racines tubéreuses augmentait chaque année, passant d'une moyenne de 4,3 tonnes à 5,6 tonnes à l'hectare, quel que soit le cultivar utilisé. En années un, deux et trois, les rendements étaient respectivement supérieurs de 17 pour cent, 28 pour cent et 58 pour cent à ceux du manioc non paillé (figure 8)²⁵.

On considère généralement que la culture de plantes intercalaires entre les cycles de culture du manioc constitue une pratique d'amélioration du sol (voir chapitre 5, *Nutrition des cultures*). Cependant, elle peut également contribuer à réduire les infestations de plantes adventices. Les légumineuses à croissance rapide étouffent de nombreuses adventices indésirables qui prolifèrent normalement durant l'implantation du manioc, ainsi qu'après sa récolte, apportant ainsi un moyen de lutte anti-adventices moins gourmand en main-d'œuvre que le désherbage manuel et moins coûteux que la pulvérisation d'herbicides (voir aussi chapitre 6, *Ravageurs et maladies*).

Des expériences ont montré que si les légumineuses pérennes sont plus efficaces pour la protection du sol que les légumineuses à graines, telles que haricots et pois chiches, les légumineuses pérennes très productives, telles que le stylosanthès (*Stylosanthes guianensis*) entrent vivement en concurrence avec le manioc pour les nutriments et réduisent le rendement racine dans une proportion considérable. Cependant, avec des légumineuses pérennes moins agressives, telles que l'arachide pintoï (*Arachis pintoï*), la perte en rendement est moins grave²⁶.

Figure 8 Effets du paillage sur le rendement séché du manioc de fin de saison, République démocratique du Congo (t/ha)



Source: Tableau annexe 2.4

Cultures mixtes

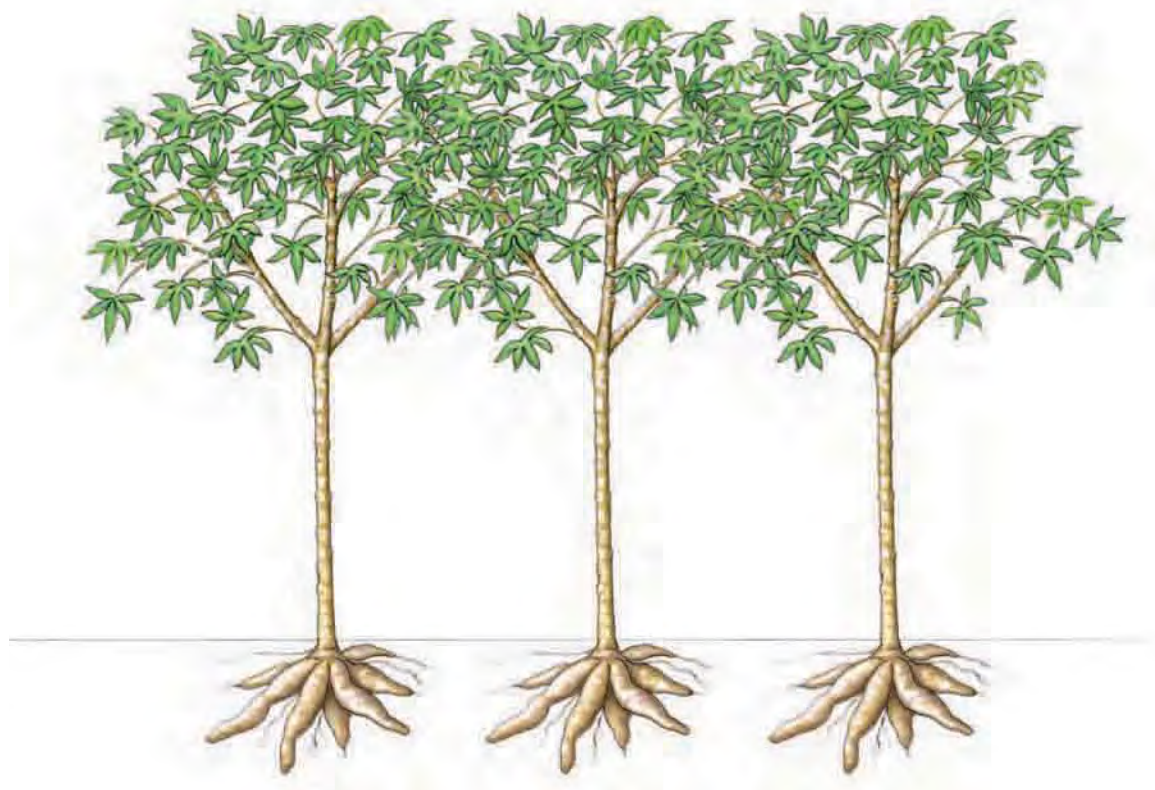
Bien que le manioc soit cultivé en monoculture en Thaïlande et dans le sud du Brésil, la culture en intercalaire est pratiquée par de nombreux petits agriculteurs en de nombreux endroits des tropiques. Ceux qui le cultivent pour l'autoconsommation, ou ne disposent que de très peu de

terre, plantent des cultures à maturation rapide, telles que maïs, riz pluvial, et différents types de légumineuses à graines, dont les haricots communs, les pois chiches, le haricot mungo et l'arachide, dans l'espace qui sépare les rangs de manioc. Les avantages de cette pratique sont nombreux – elle abrite le sol de l'impact direct de la pluie, réduit l'érosion provoquée par le ruissellement, et limite la prolifération d'adventices durant les premiers stades du développement du manioc.

Les cultures intercalaires produisent par ailleurs des plantes dont la récolte s'étage au long de l'année, améliorent le revenu net par unité de superficie foncière, et réduisent le risque de perte totale d'une récolte. C'est ainsi que dans le sud-ouest du Nigéria, par exemple, on plante souvent ensemble maïs et manioc, durant la première des deux saisons des pluies annuelles; le maïs sera ensuite récolté à l'occasion d'une brève interruption des pluies, tandis que le manioc continuera seul. Les deux cultures différant par leurs complexes ravageurs-maladies et leurs exigences trophiques, une d'entre elles peut survivre tandis que l'autre échouera. Certains producteurs plantent même une deuxième culture de maïs – le manioc est moins risqué et le maïs, en cas de réussite, constitue un bonus²⁷.

La culture de manioc en même temps que des légumineuses à graines à cycle court présente encore un autre avantage: elle apporte des glucides et des protéines, qui sont la base d'un régime alimentaire sain pour un ménage d'agriculteurs. On a pu estimer qu'un hectare de manioc en intercalaire avec des haricots noirs communs (*Phaseolus* spp.) peut produire environ 10 tonnes de manioc frais, à 30 pour cent d'amidon, et 600 kg de haricots à 28 pour cent de protéines – ce qui permet de couvrir les besoins alimentaires de cinq adultes tout en laissant un surplus d'environ

En monoculture, le manioc est en général planté avec des espacements de 1 m, soit 10 000 plants à l'hectare.



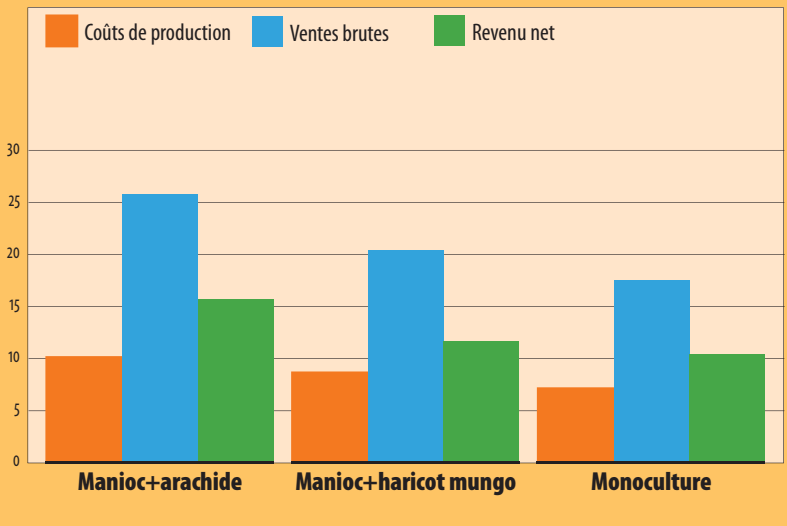
6 tonnes de manioc, pour l'utiliser comme aliment du bétail ou pour le vendre².

Dans de nombreux endroits, en Afrique, le manioc est cultivé en même temps que de nombreuses autres plantes, tantôt selon un schéma ordonné, tantôt en un mélange inorganisé de diverses cultures qui sont continuellement récoltées et replantées dès que la place se libère. En Afrique de l'Ouest, une pratique répandue consiste à planter de 5 à 10 boutures de manioc sur le pourtour de buttes de grandes dimensions, et de planter le centre de la butte en cultures telles que maïs, haricots, et melon.

En Indonésie, le riz pluvial est cultivé entre les rangs de manioc, tandis que le maïs est cultivé entre les plants de manioc, dans les rangs proprement dits. Une fois riz et maïs récoltés, environ quatre mois après leur plantation, l'espace inter-rangs est replanté en légumineuses à graines, telles que soja ou arachide. Dans certaines zones, grâce à la longueur de la saison des pluies, une quatrième culture intercalaire est possible, comme l'ambarique, après récolte des légumineuses à graines. Ce type de culture intercalaire particulièrement intensive permet jusqu'à cinq récoltes en une année sur une superficie très réduite.

Des expérimentations menées au Viet Nam ont montré que la culture mixte manioc-arachide (*Arachis hypogaea*) non seulement donne des rendements en racines tubéreuses élevés (30,7 tonnes/ha) mais encore fournit un revenu net bien supérieur à la monoculture (figure 9). Les rendements en monoculture sont légèrement meilleurs que dans le système

Figure 9 **Coûts de production et revenu générés par trois expériences de cultures intercalaires avec manioc, Viet Nam** (millions de dong)



Source: Tableau annexe 2.5



En Indonésie, les agriculteurs plantent le manioc avec d'autres cultures, à croissance plus rapide, telles que riz et maïs. Une fois les céréales récoltées, ils plantent de l'arachide.

manioc-arachide, à 32 tonnes/hectare, et avec des coûts de production inférieurs de 30%. Cependant, la valeur commerciale élevée de l'arachide, et son rendement de 1,5 tonnes/ha, résultent en un revenu net total de 50% supérieur à celui de la monoculture.

En République démocratique du Congo, un mode de plantation du manioc à 2 m d'inter-rangs et 0,5 m entre les plants sur chaque rang (au lieu de l'espacement classique de 1 par 1 m) permet deux récoltes successives d'intercalaires en légumineuses, une en arachide et l'autre en haricots à rame. Cette disposition des cultures n'affecte pas le rendement du manioc, et le revenu additionnel provenant des ventes de légumineuses se monte à presque 1 000 dollars EU par hectare²⁸. En Inde, la culture mixte manioc-banane entraîne des rendements manioc supérieurs, tandis que le revenu net maximum est obtenu en combinant le manioc avec des haricots verts ou des pois chiches²⁹.

Dans le nord-est de la Thaïlande, les producteurs laitiers ont mis au point un système «alimentaire-fourragère» à base de manioc en intercalaire avec des pois chiches. La culture de pois chiches fournit jusqu'à 2,4 tonnes de fourrage par hectare, qui est donné aux vaches en même temps que les feuilles de manioc séchées. Si ce système donne généralement un rendement inférieur à la monoculture, les chercheurs ont déterminé qu'il maximise l'efficacité de l'utilisation de la terre et produit de meilleurs résultats économiques³⁰.

Les cultures mixtes supposent une sélection attentive des cultures individuelles – dans leurs variétés les mieux adaptées – ainsi qu'un calendrier de plantation soigné, une fumure efficace, et une répartition et une densité optimales des plants. Au Nigéria, la réussite des combinaisons manioc-maïs dépend du calendrier et de l'intensité de la récupération du manioc une fois le maïs récolté. La recherche a établi qu'avec un maïs planté à haute densité et un rendement de maïs supérieur à 3,5 tonnes, le rendement du manioc retombe de 31,6 tonnes/ha à moins de 20 tonnes/ha. Au cours d'expérimentations en Thaïlande, planter des pois chiches (*Vigna unguiculata*) et des pois sabres (*Canavalia gladiata*) en même temps que le manioc sur une période de quatre ans a donné des rendements inférieurs à ceux du manioc cultivé seul. Cependant, quand la plantation des intercalaires s'effectuait trois semaines après celle du manioc, le manioc était soumis à une moindre concurrence en début de croissance, ce qui lui permettait une meilleure implantation et aboutissait à des rendements dépassant ceux de la monoculture³¹.

L'efficacité anti-érosive des intercalaires dépend de la quantité de feuillage qu'elles ont été en mesure de produire avant que les précipitations ne s'attaquent à la surface du sol. Cela peut expliquer le caractère contradictoire des résultats obtenus par l'utilisation des intercalaires pour lutter contre l'érosion du sol. L'utilisation en intercalaire de l'arachide, de la citrouille, de la courge ou du maïs doux a été jugée peu efficace en Thaïlande, tandis que l'association manioc-maïs au Viet Nam et manioc-ambarique en Thaïlande était estimée «très efficace»³².

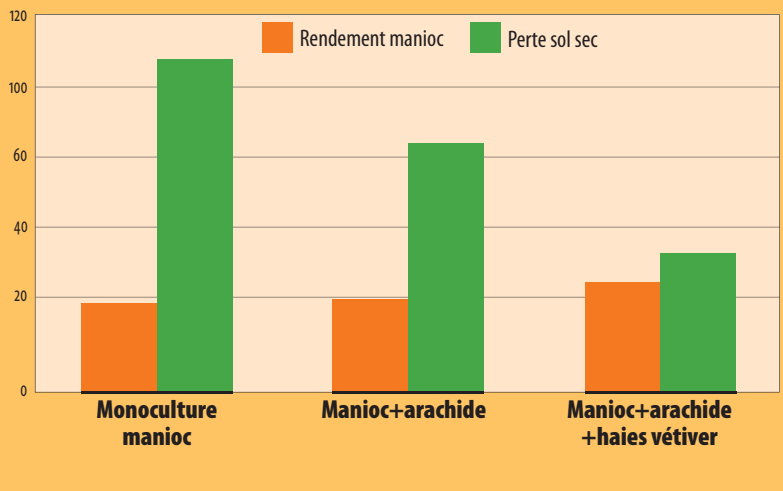


En Thaïlande, du manioc avec une culture intercalaire de pois chiche (ci-dessus) entraîne généralement des rendements en racines tubéreuses plus bas, mais le fourrage produit suffit à assurer un revenu net supérieur.

Des résultats plus réguliers en matière de lutte anti-érosion ont été obtenus par la culture du manioc entre des haies de protection, ou «haies vives», une alternative bon marché aux options de conservation du sol faisant appel au terrassement, telles que murets ou terrasses en banquettes suivant les courbes de niveau³³. Les haies filtrent et ralentissent le ruissellement et peuvent être constituées de diverses espèces préconisées d'herbes, de légumineuses pérennes et autres plantes, ou d'herbes et autres plantes spontanées laissées en place en ne sarclant pas ou en ne labourant pas des bandes de sol^{2, 34}. Dans divers pays d'Asie, les agriculteurs protègent leurs champs avec des haies de vétiver (*Vetiveria zizanioides*, une herbe), de *Tephrosia candida* (un arbuste), de *Paspalum atratum* (une herbe) et d'ananas planté serré. Le vétiver est particulièrement recommandé pour réduire une érosion sévère affectant un terrain déjà dégradé.

Un avantage supplémentaire de l'utilisation de haies est qu'en les taillant régulièrement, elles apportent un paillis *in situ*, ce qui rend ces systèmes particulièrement efficaces contre l'érosion et demande moins de travail que l'apport de paillis à partir de l'extérieur. Les ananas peuvent être récoltés et commercialisés, tandis que le *paspalum* et les autres herbes peuvent être fauchés et donnés au bétail et aux buffles. Des expérimentations menées au Viet Nam ont produit des rendements en manioc de 19 tonnes en

Figure 10 Réaction du rendement et de la perte de sol sec aux modes de gestion de la culture, Viet Nam (t/ha)



Source: Tableau annexe 2.6

monoculture, mais ont entraîné de graves pertes de sol, dues à l'érosion, de plus de 100 tonnes/ha⁴³. En culture mixte avec de l'arachide, les rendements en racines tubéreuses se sont légèrement améliorés et les pertes de sol sont retombées à 65 tonnes, ce qui constitue un mieux sensible, mais non soutenable à long terme. De tous les traitements soumis à expérimentation, les rendements les plus élevés (23,7 tonnes), les pertes de sol les plus limitées (32 tonnes) et le meilleur revenu net ont été atteints par l'association manioc-haies de vétiver (figure 10).

Une autre forme de culture mixte est l'agroforesterie, qui associe aux cultures des arbres et des arbustes pérennes. En Inde, le manioc se cultive sous des cocotiers et des hévéas adultes³⁵. Le manioc peut également être planté en allées entre des rangs de légumineuses arborées à enracinement profond et croissance rapide, telles que *Leucaena leucocephala* ou *Gliricidia sepium*. Le feuillage est élagué régulièrement et incorporé au

sol des allées ou – dans un système à zéro labour – appliqué en paillis avant de planter le manioc.

Comme les arbres extraient de grandes quantités d'azote atmosphérique tandis que leurs racines vont chercher les nutriments dans les couches les plus profondes du sol, la décomposition des résidus d'élagage fertilise le sol des allées et améliore le rendement des cultures qui y sont présentes. En climat plus sec, les arbres s'enracinent plus profondément et donc sont moins en concurrence pour l'eau et les nutriments que d'autres cultures intercalaires. Dans les systèmes agroforestiers, il a été montré que les coupes de feuilles de la légumineuse fourragère *Flemingia macrophylla* ont un effet particulièrement bénéfique sur le rendement³⁶. Au Bénin, une combinaison de fumure minérale et d'application de 3 tonnes/ha de paillis de pois d'Angole (*Cajanus cajan*) a produit une amélioration sensible du rendement³⁷.

Si le manioc est rarement cultivé en rotation avec des céréales dans les zones de production de manioc à sols pauvres et précipitations aléatoires, c'est une pratique courante dans certaines zones de production céréalière en Afrique, les agriculteurs utilisant les abondantes chutes de feuilles et les résidus post-récolte pour entretenir la fertilité du sol. Le rendement du maïs est nettement amélioré par l'azote dégage par la décomposition de la biomasse verte et feuillue du manioc³⁸.

Dans les zones marginales où le manioc est la culture dominante, il peut être cultivé en rotation avec des légumineuses à graines, telles que haricots, arachide, ambarique, pois chiches et soja, qui fixent l'azote atmosphérique et le rendent disponible pour la culture de manioc qui suit. En Inde, la culture séquentielle de manioc et de pois chiches a amélioré la fertilité du sol à tel point que l'application de fumier et d'engrais chimique a pu être réduite de 50% sans affecter le rendement. Les économies réalisées sur les intrants externes ont permis au système de production séquentielle de manioc et de pois chiche de surpasser celui d'une production utilisant des traitements de fumure complets (figure 11)³⁹.

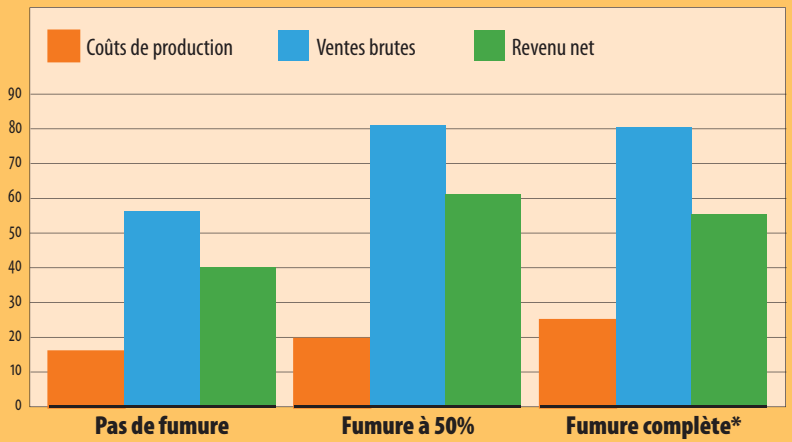
Une étude réalisée en Colombie a constaté, sur un manioc en monoculture sans fumure, une chute de rendement de 37 à 12 tonnes par an sur une période de neuf ans. Si, à la suite de cette évolution, l'utilisation modérée d'engrais n'a amélioré en rien la productivité, le passage à un système de rotation – enchaînant le chanvre du Bengale (*Crotalaria juncea*), le maïs, le manioc, le haricot commun, le sorgho et une seconde récolte de manioc – a ramené le rendement à 30 tonnes. Les chercheurs en ont conclu que ce n'était pas les nutriments qui faisaient défaut dans le sol, mais que le manioc était dans l'impossibilité de les utiliser en raison de la dégradation biologique du sol provoquée par une production en continu sur plusieurs années⁴⁰. En Thaïlande, une expérimentation conduite sur le long terme a montré qu'une rotation annuelle du manioc avec de l'arachide, suivie la même année par des pois d'Angole, contribue à une montée régulière du rendement du manioc, alors qu'en monoculture le

rendement du manioc tend à diminuer³¹.

Les systèmes de production de manioc à petite échelle sont déjà nombreux à incorporer, à des degrés variables, les trois pratiques essentielles de «Produire plus avec moins» consistant à réduire au minimum le bouleversement du sol, à utiliser une couverture organique du sol et à améliorer la résistance du système aux conditions défavorables et diversifiant les cultures et en pratiquant des cultures séquentielles. Ces

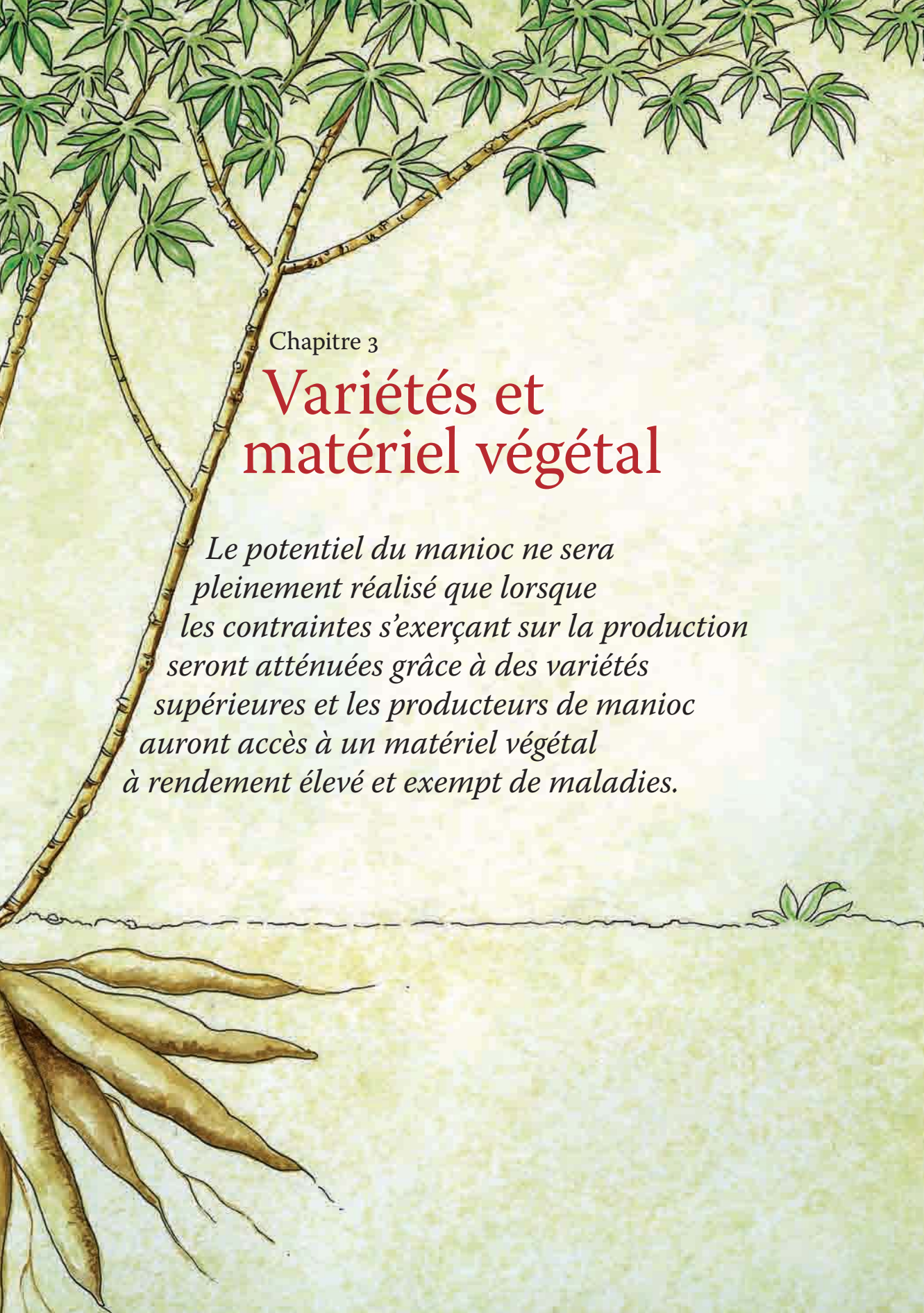
pratiques forment la base d'une intensification durable de la production de manioc. Cependant, elles ont besoin du soutien apporté par quatre autres pratiques du modèle «Produire plus avec moins»: le recours à des variétés bien adaptées et à haut rendement, et à du matériel végétal de qualité; une gestion efficace des ressources en eau; une nutrition améliorée des cultures, basée sur une utilisation judicieuse de la fumure minérale combinée à la fumure organique; et la lutte intégrée contre les insectes ravageurs, les maladies et les plantes adventices. Ces pratiques font l'objet des chapitres qui suivent.

Figure 11 **Coûts et bénéfices d'une culture séquentielle manioc-niébé, Inde** ('000 Rs/ha)



* Fumure complète= 26 kg/ha P + 25 tonnes/ha fumier de ferme

Source: Tableau annexe 2.7



Chapitre 3

Variétés et matériel végétal

Le potentiel du manioc ne sera pleinement réalisé que lorsque les contraintes s'exerçant sur la production seront atténuées grâce à des variétés supérieures et les producteurs de manioc auront accès à un matériel végétal à rendement élevé et exempt de maladies.

Les systèmes de production agricole basés sur «Produire plus avec moins» utiliseront des plantes et des variétés mieux adaptées à une production reposant sur les principes de l'écologie que celles mises au point pour l'agriculture à forte consommation d'intrants. L'emploi ciblé d'intrants externes exigera des plantes cultivées plus productives, qui absorbent les nutriments et l'eau de manière plus efficace, qui résistent mieux aux insectes ravageurs et aux maladies et qui tolèrent mieux la sécheresse, les inondations, le gel et les températures élevées.

Les variétés devront être adaptées à des zones géographiques et à des systèmes de production moins favorables, produire des aliments ayant une meilleure valeur nutritionnelle et les qualités organoleptiques souhaitables, et contribuer à l'amélioration des services écosystémiques. L'intensification durable supposera aussi l'adaptation au changement climatique – une diversité génétique accrue renforcera cette adaptabilité, tandis qu'une meilleure résistance aux agressions biotiques et abiotiques rendra les systèmes de production plus robustes.

Les agriculteurs devront avoir les moyens et l'occasion d'insérer ce matériel végétal dans leurs différents systèmes de production. C'est pourquoi la gestion des ressources génétiques végétales, la mise au point de cultures et de variétés, et la distribution en temps voulu de semences de haute qualité sont des contributions essentielles à l'intensification durable¹.

Parmi les grandes cultures alimentaires de base du monde, le manioc est réputé pour sa capacité à produire des rendements raisonnables sur des sols pauvres, dans des zones où les précipitations sont faibles ou erratiques, et en l'absence de produits agrochimiques et autres intrants extérieurs. Ces qualités de «rusticité» ont fait du manioc une culture des plus adaptées à l'agriculture à petite échelle et faible utilisation d'intrants, tandis que son potentiel inné l'a mis au nombre des cultures les plus indiquées pour l'agriculture démunie de ressources des zones tropicales et néotropicales dans le cadre des scénarios de changement climatique du XXI^e siècle.

Cependant, le potentiel du manioc ne sera pleinement réalisé que lorsque certaines contraintes critiques s'exerçant sur sa production seront atténuées pour des variétés bien adaptées et à haut rendement. Par exemple, le manioc est vulnérable à l'engorgement, aux basses températures en altitude, et à un large spectre de ravageurs et maladies mutables et pouvant affecter sérieusement les rendements. Les modèles de changement climatique prévoient qu'il souffrira davantage des contraintes biotiques que de la sécheresse et des températures élevées².

Compte tenu de l'importance croissante, dans le monde entier, du manioc comme source de nourriture pour l'homme et les animaux, et de matière première pour l'industrie des aliments du bétail, il existe une demande de plus en plus marquée pour des cultivars présentant certaines caractéristiques spécifiques et adaptés à différents environnements. Des variétés hautement spécialisées doivent être mises au point pour satisfaire

à des utilisations finales de plus en plus diversifiées et en concurrence mutuelle. En Afrique, de nouvelles variétés seront nécessaires pour accompagner la culture dans les savanes sèches, les régions semi-arides et subtropicales, et l'accélération de la tendance vers une production répondant aux demandes du marché³.

Le système appelé à fournir aux petits producteurs des variétés de manioc à haut rendement et bien adaptées s'articule en trois volets: la conservation et la dissémination des ressources génétiques, la mise au point de variétés, et la distribution aux producteurs de matériel végétal sain et de bonne qualité.

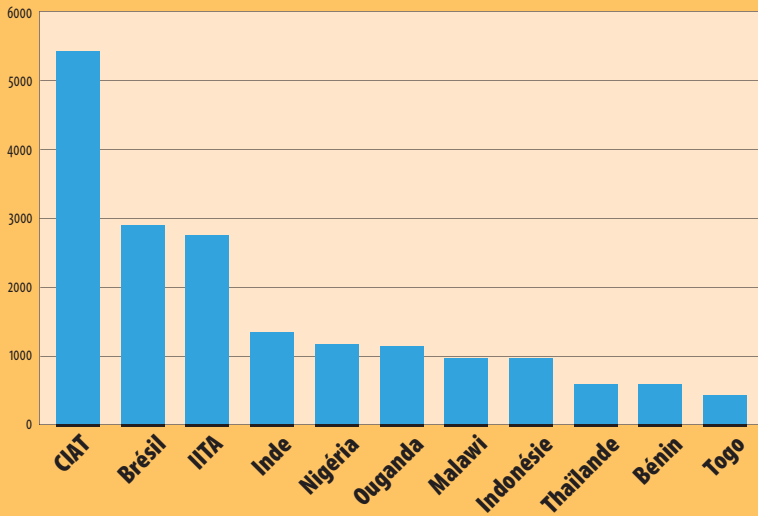
La conservation du pool génique du manioc

Le genre *Manihot* comprend l'espèce cultivée, *Manihot esculenta*, et – selon la taxonomie adoptée – entre 70 et 100 espèces sauvages. Tant ces espèces apparentées sauvages que les cultivars traditionnels, ou races locales, qu'ont élaborés les agriculteurs au cours des siècles, sont la source primaire des gènes et combinaisons de gènes utilisés pour produire de nouvelles variétés⁴.

Au début des années 70, le CIAT a lancé une importante initiative de collecte et de conservation des races locales de manioc. De nos jours, la collection du CIAT à Cali, en Colombie, est la première au monde, avec environ 5 500 accessions de races locales. La maintenance de la collection se fait dans un laboratoire de culture tissulaire, tandis qu'une collection de précaution *in vitro* est conservée à Lima, au Centre international de la pomme de terre. Le CIAT a créé une «collection noyau» d'environ 630 accessions, représentative de l'ensemble de la diversité génétique considérable présentée par la collection principale, et qui sert à des analyses intensives de détermination et de génome. Un double de la collection noyau est conservé en Thaïlande, *in vitro* et en culture.

L'Institut international d'agriculture tropicale d'Ibadan, Nigeria (IITA) possède également une importante banque de germplasma de manioc, comportant quelque 2 800 accessions, essentiellement d'origine ouest-africaine. La plus grande collection nationale est celle de la Société brésilienne de recherche agricole (Brazilian Agricultural Research Corporation), avec 2 900 accessions. D'autres grandes collections, avec au total 7 200 accessions, sont réparties entre le Bénin, l'Indonésie, le Malawi, le Nigéria, la Thaïlande, le Togo et l'Ouganda (figure 12). La plupart des autres pays producteurs de manioc disposent de leur propre banque de germplasma de races locales et de variétés améliorées, bien que peu de documentation soit disponible sur beaucoup de ces collections nationales⁴.

Figure 12 Principales collections de germplasmе de manioc
(nombre d'accessions)



Source: Tableau annexe 3.1

Au cours des deux dernières décennies, les biotechnologistes et les sélectionneurs moléculaires ont utilisé les accessions des banques de germplasmе pour déterminer quels sont les gènes qui contrôlent des caractéristiques spécifiques, et en 1997 la première carte génomique du manioc a été annoncée⁵. Compte tenu de la baisse des coûts de la biologie moléculaire et de la biotechnologie, le temps est venu d'entamer la caractérisation de la diversité génétique du manioc sur la totalité de son génome, et de combler les lacunes des banques de germplasmе avant que ne soit perdue une diversité de haute valeur⁶.

La collecte des races locales doit se continuer face à l'abandon par les agriculteurs de ces cultivars traditionnels pour faire place à des variétés améliorées. Par exemple, l'Amérique centrale n'est que peu représentée dans la banque de germplasmе du CIAT, où ne se trouve aucune accession du Surinam ou de la Guyane française⁶. D'après le *Deuxième Rapport de la FAO sur l'État des ressources phytosanitaires pour l'alimentation et l'agriculture dans le monde*, les pays prioritaires des Amériques pour cette collecte sont l'État plurinational de Bolivie, le Brésil, la Colombie, Haïti, le Nicaragua, le Pérou et la République bolivarienne du Venezuela; en Afrique, la collecte devrait se concentrer sur la République démocratique du Congo, le Mozambique, l'Ouganda et la République unie de Tanzanie. Des stratégies de conservation et de gestion des races locales sur le terrain doivent également être développées pour compléter leur conservation *ex situ*⁴.

Les espèces apparentées au manioc cultivé pourraient représenter une contribution importante à la mise au point de variétés utilisables pour

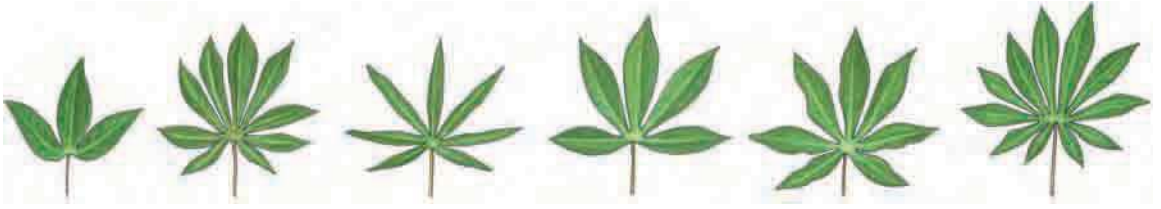
l'intensification durable dans le cadre de systèmes à faible utilisation d'intrants. Cependant, les espèces sauvages de *Manihot* ont fait l'objet de collectes, de déterminations et d'évaluations insuffisantes, et de nombreuses populations sont menacées au sein de leur habitat d'origine⁶. Au Brésil, les défrichements les plus importants ont lieu dans des zones qui constituent l'habitat naturel de sept espèces sauvages de *Manihot* qui pourraient se révéler une ressource importante pour la sélection de manioc adapté à un environnement semi-aride. La déforestation du bassin de l'Amazonie menace les espèces forestières de *Manihot*, et les espèces apparentées propres à la Mésoamérique voient leurs habitats entamés par l'urbanisation et l'expansion de l'agriculture. Il est donc urgent de mettre activement à exécution des propositions, déjà depuis longtemps sur le tapis, pour créer des réserves *in situ* pour les espèces sauvages de *Manihot*⁴.

L'harmonisation des données de passeport et d'évaluation sur les accessions des banques de germplasma doit également revêtir un caractère prioritaire. Les outils de la biologie moléculaire, adossés à une solide technologie de traitement de l'information, contribueront à une production plus efficace de données, ainsi qu'à leur dissémination, et faciliteront un génotypage global des accessions de manioc. Ces données devront être rendues libres d'accès au moyen de bases de données interrogeables, de façon à faciliter l'acquisition de germplasma susceptible de compléter des variations transmissibles disponibles localement en vue d'améliorer la génétique de la plante.

C'est là un travail considérable, qui nécessitera la collaboration active du CIAT, de l'IITA, des programmes nationaux – particulièrement ceux des grands pays producteurs et des sites de concentration de la diversité génétique de la plante – ainsi que des laboratoires de pointe qui travaillent sur le manioc. Les mécanismes multilatéraux de la FAO, et notamment le Traité international sur les ressources phytogénétiques pour l'alimentation et l'agriculture, peuvent fournir une plate-forme neutre pour une coopération synergique, dont le besoin se fait sentir.

Sélection de variétés améliorées

Les premières introductions de manioc en Afrique et en Asie à partir d'Amérique latine couvraient une base génétique restreinte, limitant la diversité dont pouvaient disposer les agriculteurs pour sélectionner de nouvelles variétés. En Thaïlande, par exemple, un unique clone – Rayong 1 – était cultivé sur 90 pour cent de l'ensemble de la zone de production du manioc, jusqu'aux années 90⁷. L'accès à des variétés supérieures combinant de nombreuses caractéristiques utiles s'est considérablement amélioré au cours des dernières décennies, du fait du recours, par les chercheurs du CIAT, de l'IITA et de nombreux programmes nationaux de sélection, à la large diversité génétique disponible dans les banques de germplasma.



La sélection et la dissémination de variétés à haut rendement et résistantes aux agressions biotiques et abiotiques contribuent depuis 30 ans à des améliorations substantielles des rendements du manioc et de la production dans son ensemble – spécialement en Asie. On estime à 55 pour cent la proportion de la surface asiatique plantée en manioc qui porte des variétés améliorées. En Afrique, leur adoption est plus lente, et de fait les rendements y sont également bien plus bas. Pour combler ce fossé, il est nécessaire de promouvoir la dissémination et l'adoption de variétés améliorées sur une échelle globale.

Les objectifs les plus courants des sélectionneurs sont le rendement et la qualité de la racine, mais ils ont également d'autres qualités en tête, comme la résistance aux insectes ravageurs et aux maladies, et la tolérance à la sécheresse, à l'engorgement, aux températures trop hautes ou trop basses, à la forte acidité du sol et à sa pauvreté en phosphore⁸⁻¹¹. S'il est arrivé que des accessions des banques de germplasmе soient distribuées directement comme variétés améliorées, la plupart sont utilisées dans des programmes de croisements pour l'obtention de nouvelles variétés combinant une capacité de fort rendement à d'autres qualités positives.

Le programme de sélection du CIAT a produit des clones résistant mieux à la bactériose vasculaire du manioc, à la maladie de la superélongation, aux thrips et aux aleurodes, et tolérants à la pourriture racinaire causée par les moisissures aquatiques *Phytophthora*. Il a également mis au point des variétés tolérantes au froid, qui prospèrent jusqu'à une altitude de 1 800 m au-dessus du niveau de la mer, comme dans les Andes tropicales et les hauts plateaux d'Afrique de l'Est, et il coopère avec les programmes nationaux qui travaillent sur des variétés adaptées au froid saisonnier des zones subtropicales de Chine, du Brésil et du Paraguay.

Des semences sexuelles, au nombre de plus d'un demi-million, ont été produites par le CIAT et distribuées aux programmes nationaux de sélection d'Asie, qui s'en servent pour sélectionner ou pour croiser les meilleures sélections avec les plus prometteuses de leurs propres lignées. Au moins 50 variétés améliorées fournies par le CIAT, comportant du germplasmе latino-américain, ont été distribuées en Asie. Le CIAT a

Les feuilles de manioc, en disposition hélicoïdale autour de la tige, ont de 3 à 11 lobes lisses ou nervurés.

Les racines tubéreuses de manioc sont de forme conique, cylindrique ou irrégulière, et de couleur crème, jaune, ou brun variant de clair à foncé.



également fourni à l'Institut central indien de recherche sur les plantes à racines tubéreuses des plants issus, par culture tissulaire, de lignées présentant une forte résistance aux virus de la mosaïque du manioc (CMD) de l'Inde et du Sri Lanka.

En quatre décennies de travail sur l'amélioration génétique du manioc, le CIAT a produit plus de 400 variétés améliorées présentant des caractéristiques telles que la résistance à la mosaïque du manioc, la bactériose vasculaire et l'acarien vert. Ces variétés ont été distribuées dans toute l'Afrique sub-saharienne, et on estime qu'elles ont permis de doubler le rendement dans certains pays. Les chercheurs de l'IITA ont identifié trois sources de résistance à la CMD – l'espèce sauvage *Manihot glazovii* («arbre-manioc») originaire du Brésil, et deux races locales nigérianes. Quelque 40 variétés CMD-résistantes ont été distribuées au Nigéria, 36 en République unie de Tanzanie, 30 en République démocratique du Congo et 14 au Malawi. On estime que la maladie est pratiquement sous contrôle dans les zones où ces variétés sont cultivées.

La recherche, tant au CIAT qu'à l'IITA, se penche également sur l'amélioration de la valeur nutritive du manioc par l'augmentation de sa teneur en vitamine A, en fer et en zinc. La sélection a permis aux chercheurs de doubler la teneur en caroténoïdes, précurseurs de la vitamine A, dans les racines tubéreuses de manioc¹². Le manioc biofortifié en vitamine A a été distribué dans plusieurs pays, dont la République démocratique du Congo et le Nigéria.

Le pool génique du manioc a déjà été largement mis à contribution pour produire des technologies conduisant à de meilleurs revenus pour les agriculteurs du monde entier⁶. Il subsiste d'importants gisements d'innovation, au fur et à mesure que le progrès incessant des technologies biomoléculaires nous apporte une compréhension approfondie de la structure et du comportement du génome du manioc, et que les coûts du séquençage et de la mise au point de marqueurs moléculaires s'amenuisent.

Face à la menace croissante sur la production de manioc de nombreux pays du fait du changement climatique, les efforts des sélectionneurs se tournent de plus en plus vers un «empilement» de multiples caractéristiques dans des variétés d'élite. On se dirige également vers une plus grande attention portée, plutôt qu'à la plasticité, aux variétés destinées aux agro-écologies «de niche» et – du fait que pratiquement toute la sélection se fait en monoculture – aux systèmes de cultures mixtes. En effet, les petits agriculteurs à faible revenu qui vivent dans des zones isolées présentant des conditions agropédologiques médiocres ont besoin de variétés «astucieuses», adaptées aux conditions locales, et donnant d'excellents rendements avec un recours minimal à l'agrochimie ou à l'irrigation.

Aussi les programmes nationaux doivent-ils être encouragés à intégrer les résultats des activités de présélection menées au CIAT et à l'IITA dans leurs propres programmes de sélection qui utilisent comme parents des races locales et autres génotypes appréciés des agriculteurs. Jusqu'ici,

l'accent était mis sur l'évaluation des lignées produites par le CGIAR par rapport à des critères de plasticité; il faut désormais compléter ce travail par l'introgession de caractères émanant de matériels adaptés à des conditions locales.

Voici quelques exemples de sélection du manioc à des fins et pour des secteurs spécifiques. Les chercheurs du CIAT ont isolé une mutation du manioc dont l'amidon contient très peu ou pas du tout d'amylose¹³, ce qui se révèle extrêmement utile en utilisation industrielle¹⁴. Ce caractère dit «amidon cireux» est en cours d'incorporation dans des variétés commerciales à haut rendement par l'Institut thaï de développement du tapioca¹⁵. Le CIAT a également identifié une mutation provoquée dont les granules d'amidon font un tiers du volume normal, avec une surface rugueuse. Cet amidon devrait être utile pour le secteur des biocarburants, car sa conversion en sucre, première étape de la fermentation pour production d'alcool, demande moins de temps et d'énergie¹⁶.

D'autres travaux en cours au CIAT et dans les organisations partenaires comportent un recours régulier aux outils moléculaires pour l'amélioration génétique du manioc. Par exemple, divers marqueurs moléculaires destinés à retracer l'hérédité de la résistance aux aleurodes, aux acariens verts et à la bactériose vasculaire sont actuellement à différents stades de validation.

Des marqueurs moléculaires associés à la résistance à la mosaïque du manioc sont actuellement utilisés dans la sélection de variétés présentant cette résistance à une maladie dévastatrice. Des variétés de manioc à haut rendement, adaptées aux conditions locales et résistantes à la CMD, ont été mises au point par le CIAT à titre de mesure préventive contre le risque très réel de voir le virus faire son apparition sur le continent américain. L'utilisation de marqueurs moléculaires rend également possible les transferts transcontinentaux de germplasm de manioc. Des géotypes de manioc d'Amérique latine ont pu être introduits avec succès dans les programmes africains de sélection, parce que les marqueurs constituaient un moyen efficace pour ne retenir que les géotypes CMD-résistants.

Suite à la première démonstration d'une modification génétique du manioc réussie en 1996, un certain nombre de géotypes transgéniques ont été mis au point, avec une meilleure résistance aux virus et aux agressions abiotiques, une moindre teneur en glycosides cyanogénétiques, de meilleures qualités nutritionnelles et un amidon amélioré en rendement et en qualité¹⁷. Au départ, seuls quelques laboratoires de pointe aux États-Unis disposaient de la capacité de créer des maniocs transgéniques. Cependant, la modification génétique du manioc est à présent à la portée de plusieurs laboratoires d'Asie et d'Afrique. La souplesse d'utilisation de ce moyen, potentiellement très puissant, de produire des «variétés sur mesure» avec des caractéristiques innovantes est encore renforcée par la mise au point de protocoles de manipulation génétique du manioc indépendants du géotype.

Bien que certains génotypes transgéniques de manioc aient été soumis à des expérimentations contrôlées, aucun n'a encore été officiellement mis en circulation dans le monde. Outre les défis techniques proprement dits, les questions de droits de propriété intellectuelle et de biosécurité devront être résolues pour que la transformation génétique devienne une méthode privilégiée d'amélioration du manioc. Bien conscient de ces contraintes, le CIAT s'intéresse à la production de variétés non transgéniques, résistantes aux herbicides, qui réduiraient les coûts de main-d'œuvre du désherbage, actuellement responsables de 20 à 40 pour cent des coûts de production, et dont l'introduction faciliterait grandement l'adoption de pratiques de labour réduit⁶.

La participation des agriculteurs aux essais variétaux et au choix des critères de sélection (appelée sélection participative, ou «PPB»), doit devenir une étape clé de la mise au point de nouvelles variétés. Les critères retenus par les agriculteurs doivent être pris en compte à tous les stades de la sélection, et les essais sur leurs propres champs doivent intervenir aussi tôt que possible dans le processus de sélection. Les programmes nationaux doivent intégrer les principes de la PPB dans l'élaboration et l'introduction des variétés améliorées de manioc, surtout dans un contexte de demande croissante pour des cultivars spécialisés, adaptés à des environnements, des systèmes de culture ou des utilisations finales spécifiques. Des progrès considérables devront être faits par les systèmes de vulgarisation agricole de nombreux pays pour s'assurer que les petits producteurs tirent tout le profit des variétés améliorées de manioc.

Matériel végétal

L'utilisation de matériel végétal de haute qualité, exempt de maladies ou de pathogènes, et préservant la pureté génétique, est un élément crucial de la production du manioc. Dans une culture à multiplication végétative, la prévalence de maladies et de ravageurs peut être cumulative sur plusieurs générations, un problème qui se pose très peu avec l'utilisation de semences botaniques. De plus, les tronçons de tige de manioc sont périssables, volumineux et encombrants au transport, tout en occupant des espaces de stockage considérable. En agriculture de subsistance, la récolte du manioc se répartit en général sur un an ou plus, ce qui fait de l'entreposage des boutures un casse-tête logistique. De ce fait, de nombreux agriculteurs ne conservent pas leurs tiges de manioc pour les replanter, se fournissant en boutures chez le voisin ou sur le marché local; dans de telles conditions, il est matériellement impossible de préserver la qualité du matériel végétal.

Des systèmes efficaces de multiplication et de distribution régulières de matériel végétal de variétés améliorées, exempt de maladies, sont indispensables pour une intensification durable. Parmi les grands

producteurs de manioc, la Thaïlande a connu la meilleure réussite en matière de dissémination de variétés améliorées auprès de ses producteurs de manioc. En 1994, le Gouvernement thaïlandais a mis en place un programme spécial de multiplication rapide et de distribution de nouvelles variétés à haut potentiel de rendement, indice de récolte élevé, forte teneur en amidon et capacité de récolte précoce. Le programme associait le Département de l'agriculture et la Faculté d'agriculture de l'Université de Kasetsart, qui fournissaient le matériel végétal de base, et le Département de vulgarisation agricole et l'Institut thaï de développement du tapioca, qui le multipliaient et le distribuaient. Dès 2000, près de 90 pour cent de la zone thaïlandaise de production de manioc utilisait les cultivars préconisés, contre moins de 10 pour cent une décennie plus tôt^{7, 18}.

Même si divers protocoles de multiplication rapide du manioc ont été mis au point, et sont susceptibles d'une utilisation à grande échelle pour la production spécialisée de matériel végétal conforme aux normes de qualité¹⁹, très peu de pays mettent en œuvre un système semencier officiel de multiplication du manioc. Les efforts pour impliquer le secteur privé n'ont que peu progressé, en raison principalement de la lenteur de la multiplication du manioc, comparée à celle des céréales – là où un bâton de manioc va, en un an, produire assez de tiges pour former 10 nouvelles boutures, une graine de maïs va produire 300 nouvelles graines trois mois après avoir été semée.

En Inde, l'utilisation sans précaution de matériel végétal contaminé, la non-disponibilité de variétés résistantes et le manque d'intérêt du secteur privé envers la fourniture de matériel végétal sain ont entraîné une forte prévalence de la mosaïque du manioc. L'Institut central indien de recherche sur les plantes à tubercules a mis au point des procédures de multiplication *in vitro* de méristèmes de manioc exempts de virus. Cependant, contrairement à ce qui s'est passé pour d'autres cultures horticoles à forte valeur, comme les bananes et les pommes de terre, aucune entreprise privée n'a mis en œuvre cette technologie à grande échelle pour alimenter les agriculteurs en plants de manioc sans virus.



Les boutures obtenues à partir de tiges saines, exemptes de ravageurs et de maladies, produisent davantage de rejets et ont un meilleur rendement en racines tubéreuses.

Pour améliorer l'efficacité de la production de boutures de manioc, l'IITA et l'Institut national nigérian de recherche sur les plantes à tubercules ont mis au point une technologie de multiplication accélérée, qui repose sur le tronçonnage des tiges de manioc en boutures comptant 2 ou 3 nœuds, au lieu des 5 à 7 généralement observés. Avec une gestion efficace du champ, la récolte des tiges peut se faire deux fois par an, à 6 et 12 mois après plantation, ce qui se traduit par un ratio de 50 boutures récoltées pour un planté²¹. Une étude de 2010 a montré qu'un tiers des producteurs de manioc de l'État d'Akwa Ibom, au Nigéria, utilisaient cette technologie pour multiplier des boutures de variétés améliorées et les vendre aux autres agriculteurs; le produit moyen de ces ventes était de 750 dollars EU par an²².

Faute d'un système semencier national pour le manioc, les programmes de développement du manioc de nombreux pays africains utilisent un système de multiplication accéléré communautaire sur trois niveaux pour fournir aux agriculteurs du matériel végétal amélioré et sain. Au niveau supérieur, le matériel produit par les sélectionneurs est multiplié, dans les meilleures conditions agronomiques, sur des stations de recherche et des fermes d'État pour produire de la semence de base exempte de maladies. Le niveau secondaire consiste en une seconde multiplication, sur des exploitations de 2 ha, fréquemment conduites par des groupements de producteurs, des organisations communautaires et des ONG. Ce matériel certifié est alors distribué à des sites de multiplication tertiaires, qui sont la source d'approvisionnement en boutures la plus importante et la plus accessible²⁴. Dans certains pays, cette approche est assortie de la distribution de «bons de semences», qui permettent aux producteurs à bas revenu d'acquérir des boutures à prix subventionné.

On estime à plus de 300 000 le nombre de ménages de l'ouest du Kenya et 80 pour cent la proportion de petits producteurs de manioc ougandais qui cultivent des variétés importées multipliées et distribuées par cette voie²³. L'Initiative africaine de soutien à l'innovation et à la dissémination technologiques (African Technology Uptake and Up-scaling Support Initiative, TUUSI) a appelé les décideurs de la région à une plus large promotion de l'approche à trois niveaux et à encourager le secteur semencier officiel à s'impliquer dans la certification, la multiplication et la distribution de matériel végétal de qualité. La TUUSI préconise également la participation d'ONG et d'associations de agriculteurs comme étant le meilleur moyen de s'assurer que les fruits de la recherche soient adoptés par le plus grand nombre de producteurs de manioc²³.

Un degré élevé de participation aux activités de multiplication a été atteint par l'Initiative des Grands Lacs pour le manioc, gérée par les Services de secours catholique (CRS) et soutenue par la Fondation Bill & Melinda Gates. Mise en œuvre dans six pays d'Afrique de l'Est et centrale, l'initiative impliquait 10 instituts de recherche agronomique, 53 ONG locales et environ 3 000 groupements de producteurs. Elle a mis en place un réseau de 6 500 petites parcelles de multiplication, de 0,3 ha chacune

en moyenne, desservant chacune 350 agriculteurs locaux, et contribué à la dissémination de 33,6 millions de boutures au total. L'Initiative a également instauré un protocole de gestion qualité à bas coût, sur la base d'évaluations visuelles, permettant d'évaluer la pureté variétale et de donner une note par rapport aux ravageurs et aux maladies²⁵.

L'utilisation de matériel végétal de mauvaise qualité restera une des principales causes des faibles rendements de manioc, surtout en Amérique latine et en Afrique, pour quelque temps encore. Faute de systèmes efficaces de multiplication et de distribution, il reste possible aux agriculteurs de contribuer à améliorer la situation grâce à quelques pratiques simples à l'échelon local:

- ▶ *Utiliser les tiges* de plants vigoureux, de 8 à 12 mois d'âge, qui ne montrent pas de symptômes de ravageurs ou de maladies, poussent sur un sol fertile, et présentent un rendement élevé. Les tiges primaires, longues et droites, des variétés à ramification tardive sont les plus appropriées.
- ▶ *Les tiges coupées doivent être entreposées* en position verticale et à l'ombre, leur base reposant sur un sol ameubli à la houe et qu'on arrosera régulièrement. Les tiges ayant séjourné un maximum de 5 jours avant d'être tronçonnées produiront plus vite des rejets.
- ▶ *Couper les tiges en boutures* de 20 cm de long, avec chacun 5 à 7 nœuds, immédiatement avant de les planter. Le diamètre des boutures doit être d'au moins 3 cm, celui de la moelle étant inférieur à la moitié de ce diamètre.
- ▶ *Avant de planter*, faire tremper 5 à 10 minutes les boutures dans de l'eau chaude pour tuer les ravageurs ou pathogènes qui pourraient être présents. Pour la température de l'eau, c'est également très simple – mélanger en quantités égales de l'eau bouillante et de l'eau fraîche²⁶.

Pour un rendement maximum, les plants-mères d'où proviennent les boutures doivent avoir bénéficié d'une fumure adéquate. Les plants de manioc qui ont poussé sur un sol pauvre en azote, phosphore et potassium donnent des boutures qui sont également carencés en ces nutriments, ainsi qu'en amidon, d'où une faible teneur en sucres et sucres totaux. À leur tour, les plants issus de boutures pauvres en nutriments auront un moindre taux de rejets, produiront moins de tiges et leur rendement sera inférieur (tableau annexe 3.2)²⁷.

Même sur un champ avec une fumure uniforme, certains plants poussent mieux et produisent plus de racines tubéreuses que d'autres. Un producteur peut améliorer sa récolte suivante de manioc en ne coupant des tiges pour en faire des boutures qu'à partir des plants à fort rendement. Il résultera de cette pratique simple une nette augmentation de la production, surtout avec des variétés traditionnelles qui peuvent être vulnérables aux ravageurs et aux maladies.



Chapitre 4

Gestion de l'eau

Une fois bien établi, le manioc peut pousser dans des régions qui reçoivent 400 millimètres seulement de précipitations annuelles moyennes. Cependant, des rendements bien plus élevés peuvent être obtenus avec un apport d'eau plus important.

La seule source d'eau pour environ 80 pour cent des superficies cultivées dans le monde est la pluie. L'agriculture pluviale contribue pour presque 60 pour cent à la production agricole mondiale et constitue les moyens d'existence et la sécurité alimentaire de millions de agriculteurs parmi les plus pauvres. L'agriculture irriguée, avec ses taux d'exploitation et ses rendements moyens supérieurs, produit jusqu'à trois fois plus à partir d'une même superficie.

Tant l'agriculture pluviale que l'agriculture irriguée sont confrontées à des défis considérables. Au fur et à mesure que s'accroît la concurrence pour des ressources en eau de plus en plus rares, l'irrigation est de plus en plus sous pression pour «produire plus avec moins d'eau» et réduire son impact environnemental, y compris la salinisation des sols et la pollution de l'eau potable par les nitrates. Un recours accru aux technologies de précision d'économie de l'eau, comme le goutte à goutte et la micro-irrigation, sera une contribution importante à l'intensification durable.

Le changement climatique représente un risque grave pour l'agriculture pluviale. Certains scénarios prévoient une diminution de quelque 30 pour cent ou davantage du ruissellement pluvial sur de vastes étendues de l'Afrique sub-saharienne, d'Asie du Sud et d'Amérique latine dès 2050. Avec une variabilité et une incertitude accrues des flux d'eau, et une fréquence croissante des sécheresses et des inondations, il est prévu un déclin des rendements agricoles dans de nombreux pays en voie de développement¹.

Néanmoins, une évaluation exhaustive de la gestion de l'eau en agriculture a conclu que les principaux gisements de productivité agricole se trouvent dans les zones d'agriculture pluviale². Mais la réalisation de ce potentiel suppose la mise en application de recommandations essentielles de «Produire plus avec moins»: l'utilisation de variétés améliorées, tolérantes à la sécheresse; l'adoption généralisée du labour de conservation, du paillage et autres pratiques d'amélioration pédologique; le renversement du processus de dégradation des terres; et l'ajout d'une composante irrigation à l'agriculture pluviale, par collecte de l'eau de pluie et irrigation de supplémentation².

Contrairement à la majorité des autres cultures alimentaires, le manioc n'est pas tributaire d'une humidité du sol adéquate durant une période critique de floraison et de production de graines. Il dispose également de plusieurs mécanismes de défense qui l'aident à conserver l'eau, et ses racines peuvent aller chercher les réserves d'humidité du sous-sol à grande profondeur³. En conséquence, le manioc peut résister à des sécheresses prolongées⁴.

Cependant, c'est une culture très vulnérable au déficit hydrique du sol durant les trois mois suivant sa plantation. Les boutures ne vont produire des rejets et croître convenablement que si la température du sol dépasse les 15°C avec une humidité du sol d'au moins 30 pour cent de la capacité au champ⁵. Un stress hydrique à tout moment de cette période initiale

réduit considérablement la croissance des racines et des jeunes pousses, compromettant le développement ultérieur des racines tubéreuses, même s'il est ensuite remédié au stress de sécheresse^{6,7}.

Une fois bien établi, le manioc peut pousser dans des régions très sèches – telles que le Nord-Est du Brésil – qui reçoivent 400 mm seulement de précipitations annuelles moyennes. Dans le sud de l'Inde, les besoins en eau du manioc se situent entre 400 à 750 mm sur un cycle de production de 300 jours. Cependant, des rendements bien plus élevés ont été obtenus avec un apport d'eau plus important. Des recherches en Thaïlande ont mis en évidence une corrélation entre le maximum de rendement et des précipitations totales d'environ 1 700 mm entre les 4^{ème} et 11^{ème} mois après plantation⁸.

Le manioc répond également bien à l'irrigation. Au cours d'essais menés au Nigéria, le rendement a été multiplié par six grâce à une irrigation de supplémentation d'un volume égal à l'eau apportée par les précipitations de la saison⁹. Cependant, le manioc est par ailleurs vulnérable à un excès d'eau – en cas d'engorgement du sol, les rejets et la croissance initiale sont compromis et le rendement chute.

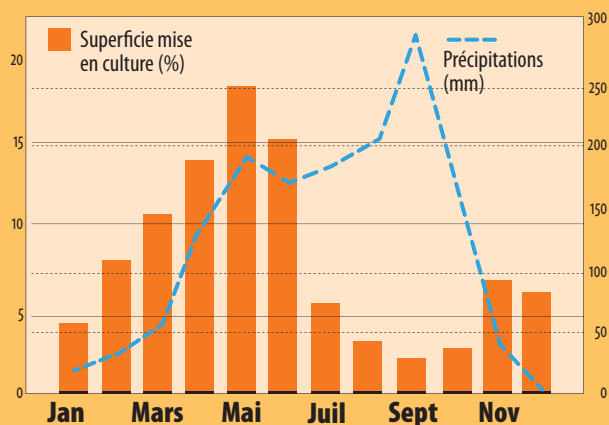
Culture pluviale

Dans la plus grande partie du monde, le manioc est une culture presque exclusivement pluviale. L'optimisation de la culture pluviale du manioc exige donc d'être attentif au calendrier de plantation, de planter et de positionner les boutures de façon à exploiter au mieux l'humidité disponible du sol, et d'appliquer des pratiques de gestion du sol qui contribuent à conserver l'eau.

La plantation peut se faire tout au long de l'année si les précipitations sont uniformément réparties, mais pas au cours de pluies torrentielles ou de sécheresse¹⁰. Dans les zones qui n'ont qu'une saison des pluies par an, les agriculteurs plantent généralement dès l'arrivée de la pluie, normalement en avril-mai dans les tropiques nord et en octobre-novembre dans les tropiques sud. Une enquête réalisée en Thaïlande en 1975 a établi que près de 50 pour cent des cultures de manioc étaient plantées dans la période avril-juin (figure 13).

Une fois bien implantés, les jeunes plants vont développer des racines de plus en plus profondes au fur et à mesure que la saison sèche assèche les couches superficielles du

Figure 13 Précipitations et superficie plantée chaque mois en manioc (Thaïlande)



Source: Adapté de Sinthuprama, S. 1980. Cassava planting systems in Asia. Dans E.J. Weber, J.C. Toro et M. Graham, eds. *Cassava cultural practices*. Proc. of a Workshop, held in Salvador, Bahia, Brazil. March 18-21, 1980. pp. 50-53.

sol. Dans l'État indien d'Andhra Pradesh, les agriculteurs plantent le manioc dans des pépinières bien arrosées, avant le début d'une saison des pluies qui durera 5 mois, de façon à déclencher les rejets et l'enracinement. Avec l'arrivée de la pluie, les boutures et leurs racines sont transplantés sur le champ. Si les pluies précoces s'arrêtent et que des boutures transplantées meurent, elles sont remplacées par d'autres boutures en préparation dans la pépinière. Cette approche permet aux agriculteurs de tirer le meilleur parti de la brève saison des pluies, sans devoir recourir à l'irrigation.

Dans le sud du Nigéria, la plantation intervient généralement entre mars et avril, au début de la saison des pluies, même si une plantation plus tardive – en juin, quand la pluie bat son plein, avec récolte 10 mois plus tard durant la saison sèche prolongée – conduit à des marges bénéficiaires supérieures¹¹. Repousser la plantation après juin dans le sud du Nigéria peut entraîner une chute spectaculaire des rendements, jusqu'à 60 pour cent (figure 14)¹².

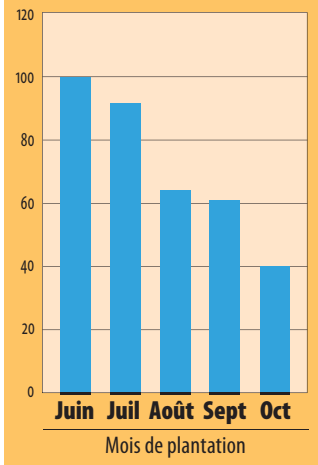
Là où il existe deux saisons des pluies relativement brèves, on peut planter le manioc au début ou au milieu de l'une ou l'autre des saisons des pluies, la récolte intervenant de 10 à 14 mois plus tard, de préférence durant la saison sèche, la teneur en amidon étant alors maximale. Dans l'État du Kerala, en Inde, le manioc se plante le plus souvent en avril-mai, au début de la mousson du sud-ouest, et en septembre-octobre, à l'arrivée de la mousson du nord-est. Cependant, certains agriculteurs plantent du manioc à cycle court dans les rizières aquatiques en février, après récolte du paddy, pendant que le sol est encore humide. La plante profite de l'humidité résiduelle du sol au cours des mois secs qui suivent, et est récoltée à huit mois, avant de replanter en riz.

Planter en début de saison des pluies va généralement donner les meilleurs rendements, du fait que la plante est assurée d'une humidité du sol adéquate durant la partie la plus critique de son cycle de croissance. Cependant, la recherche a montré que le rendement peut varier en fonction de la variété utilisée, du type de sol, de l'âge de la plante à la récolte, ainsi que de l'intensité et de la répartition des précipitations au cours d'une année spécifique.

En Thaïlande, planter en juin aboutissait à des rendements moyens de presque 40 tonnes/ha, comparative-ment à 27 tonnes/ha pour une plantation en septembre au plus fort de la saison des pluies, et à 22 tonnes/ha pour le début de la saison sèche, au mois d'octobre (figure 15)¹⁰.

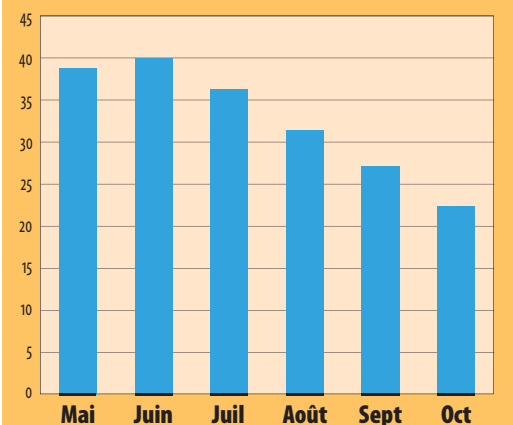
Cependant, des recherches ultérieures sur le même site thaïlandais, utilisant quatre variétés Rayong améliorées, ont lié le rendement maximum à une date de plantation entre août et novembre; planter plus tôt, en avril-mai, ou plus tard, en décembre-mars, donnait des rendements beaucoup plus faibles. Une expérimentation encore plus

Figure 14 Effets du calendrier de plantation sur le rendement du manioc de fin de saison, Nigéria (%)



Source: Tableau annexe 4.1

Figure 15 Effets du calendrier de plantation sur le rendement moyen du manioc*, Thaïlande (t/ha)



* Récolte des racines tubéreuses à 8, 10, 12, 14, 16 et 18 mois

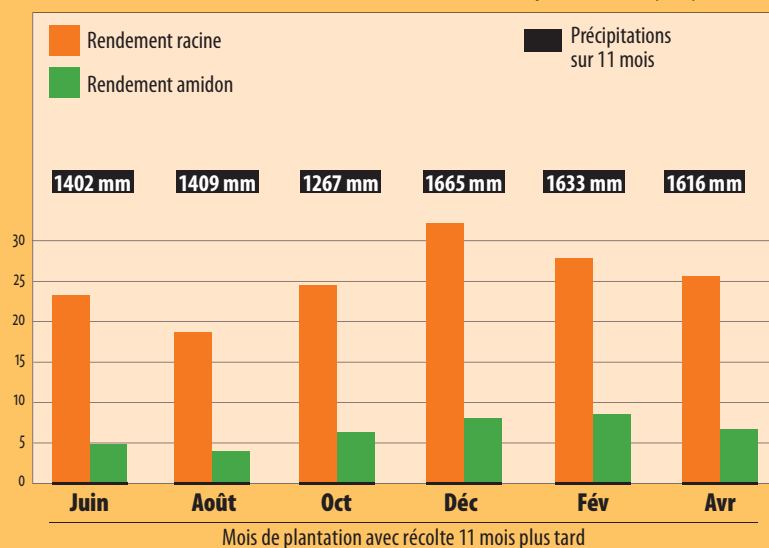
Source: Tableau annexe 4.2

récente, sur trois années consécutives, a encore donné d'autres résultats. Le meilleur rendement correspondait à une plantation en décembre, au début de la saison sèche, avec récolte 11 mois plus tard, en novembre (figure 16)⁸.

Explication: sur le site des expérimentations, des pluies occasionnelles au cours de la saison sèche produisent suffisamment d'humidité dans le sol pour arriver à un taux de survie de la plante de 90 pour cent. Planter encore plus avant dans la saison sèche, en février, diminuait le rendement mais avec une teneur en amidon plus élevée. En dressant un graphe du rendement et de la teneur en amidon en fonction des précipitations au cours de périodes spécifiques du cycle de croissance, il a été déterminé que le rendement racine et les précipitations totales montraient la meilleure corrélation du 4^{ème} au 11^{ème} mois (mars à octobre), tandis que la corrélation maximum entre la teneur en amidon et les précipitations s'observait entre les 6^{ème} et 9^{ème} mois (juillet à octobre), après la plantation⁸.

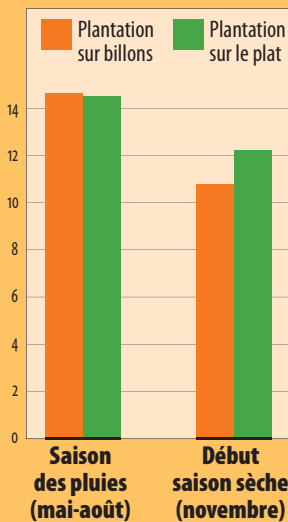
En culture pluviale, les méthodes de plantation doivent être adaptées aux conditions d'humidité du sol. Quand le sol est mal drainé et trop humide suite à des pluies torrentielles, il vaut mieux planter les boutures sur des billons ou des buttes, qui maintiendront les racines au-dessus de l'eau stagnante. Cela réduira également la pourriture des racines. En revanche, là où le manioc est planté en saison sèche en Thaïlande, la production de rejets et la survie de la plante réussissent nettement mieux quand les boutures de manioc sont plantées à même le champ, en raison notamment de la teneur en eau légèrement plus élevée jusqu'à 30 cm de profondeur (figure 17)¹³.

Figure 16 Effets du calendrier de plantation et des précipitations moyennes sur le rendement des racines et de l'amidon du manioc, Thaïlande (t/ha)



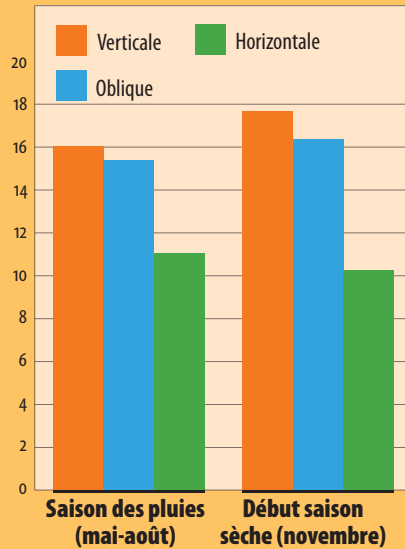
Source: Tableau annexe 4.3

Figure 17 Effets du mode de plantation sur la survie des plants de manioc en saison des pluies et sèche, Thaïlande ('000/ha)



Source: Tableau annexe 4.4

Figure 18 Effets du positionnement de la bouture sur le rendement du manioc en saison des pluies et sèche, Thaïlande (t/ha)



Source: Tableau annexe 4.4

De la même façon, dans un sol lourd et humide il convient de planter à faible profondeur, de 5 à 10 cm, mais d'aller un peu plus profond dans un sol à texture légère et sec, pour se prémunir contre la température élevée et le manque d'humidité en surface. En Thaïlande, le positionnement des boutures à la verticale ou inclinés à 45° donnait des rendements et des teneurs en amidon sensiblement meilleurs que la position horizontale (figure 18). Le gain en rendement était encore plus marqué si les boutures étaient plantées au début de la saison sèche et à faible profondeur, en raison des conditions chaudes et sèches à proximité de la surface. En plantant à l'horizontale, la poussée des rejets était nettement retardée et la survie des plants réduite⁴³.

Si les premières pluies sont torrentielles, les sols peu profonds sont les plus exposés au risque d'engorgement, ainsi que les sols mal drainés où le sous-sol a été compacté par le passage d'engins lourds. Le risque d'engorgement pourra être réduit par l'adoption du zéro labour, qui améliore le drainage interne (voir chapitre 2, *Systèmes de production agricole*). Là où il est recouru au labour, la préparation du sol doit avoir lieu quand il n'est ni trop sec ni trop humide – réduisant ainsi le nombre de passages de la charrue et de la herse nécessaires – et, en cas de besoin, une sous-soleuse pourra être utilisée pour décompacter la semelle de labour.

Il peut arriver de devoir repousser la plantation en fin de saison des pluies, mais jamais plus tard que deux mois avant l'apparition de la saison sèche. Planter vers la fin de la saison des pluies, plutôt qu'à son début, donne généralement des rendements inférieurs, mais présente quelques

avantages: moins de concurrence des plantes adventices, et – si la récolte se fait en contre-saison – la possibilité de profiter de prix du marché plus élevés. Un autre avantage est que, la plantation tardive du manioc intervenant en l'absence d'autres activités agricoles importantes, il y a moins de concurrence pour la main-d'œuvre.

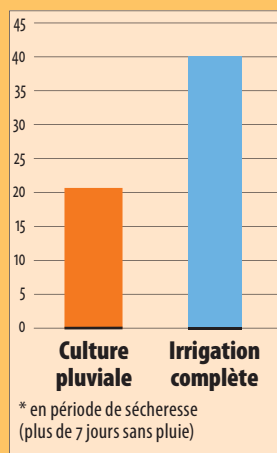
Culture irriguée

Quand le manioc est planté vers la fin de la saison des pluies, ou quand la saison des pluies est très brève, il se trouve mieux de recevoir une irrigation de supplémentation au cours des périodes sans précipitations. Sur un terrain plat ou pratiquement plat, cela peut se faire par submersion ou par sillons, mais sur une pente il sera plus pratique d'utiliser des rampes d'arrosage ou un canon d'arrosage rotatif.

Des recherches menées en Inde ont montré qu'en période de sécheresse, les rendements augmentaient en fonction du volume d'eau d'irrigation utilisé. L'irrigation complète, apportant 100 pour cent des besoins en eau de la plante, donnait un rendement double de celui obtenu sans irrigation. Elle avait aussi pour conséquences une teneur en amidon légèrement supérieure et une réduction marquée de la teneur en cyanure d'hydrogène (figure 19)¹⁴.

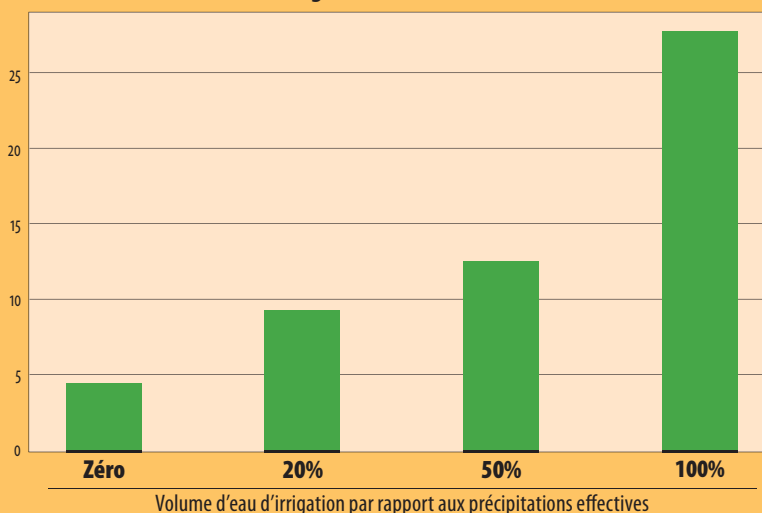
En termes d'efficacité de l'utilisation de l'eau, la méthode la plus effective est le goutte à goutte, qui, en apportant l'eau par petites quantités à intervalles rapprochés, l'économise tout en maintenant l'humidité du sol à un niveau très favorable à la croissance de la plante (outre qu'elle

Figure 19 Effets de l'irrigation de supplémentation* sur le rendement du manioc, Inde (t/ha)

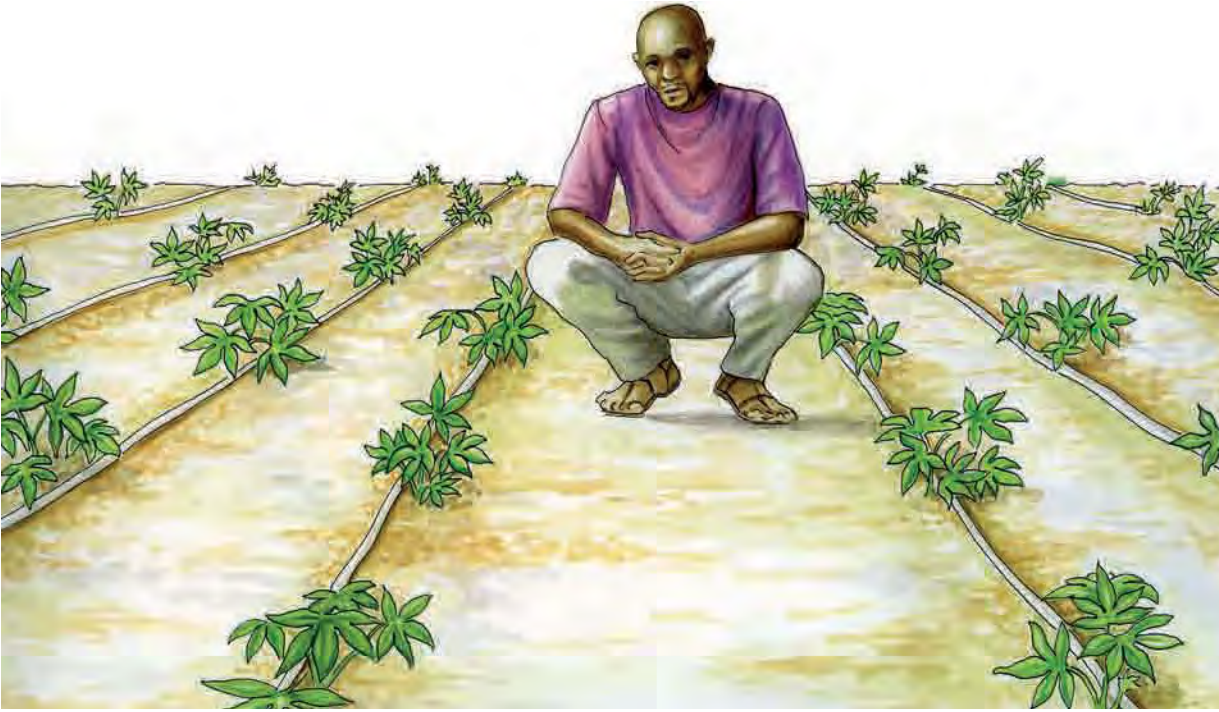


Source: Tableau annexe 4.5

Figure 20 Effets de l'irrigation goutte à goutte de supplémentation sur le rendement du manioc, Nigéria (t/ha)



Source: Tableau annexe 4.7



permet d'arroser le manioc, mais non les plantes adventices). Au cours d'expériences menées dans la région très aride du Tamil Nadu, en Inde, l'irrigation goutte à goutte du manioc a donné des rendements équivalents à ceux obtenus sous irrigation par submersion – environ 60 tonnes – en utilisant moitié moins d'eau. En appliquant au goutte à goutte le même volume d'eau que par submersion, les rendements continuaient à augmenter sensiblement, atteignant 67,3 tonnes (tableau annexe 4.6)¹⁵.

Des résultats similaires sont apparus lors d'expérimentations dans le sud-ouest du Nigéria. Avec 730 mm de précipitations effectives durant la période de croissance, le rendement du manioc pluvial culminait à moins de 5 tonnes/ha. Dans les parcelles recevant une irrigation goutte à goutte de supplémentation, les rendements augmentaient très vite au fur et à mesure que davantage d'eau était apportée. À 100 pour cent des précipitations, le goutte à goutte entraînait des rendements de 28,1 tonnes, soit une efficacité totale de l'eau de 18,8 kg/ha/mm, contre 6,2 kg hors irrigation (figure 20). Même avec des apports moindres, le gain en rendement restait significatif – une irrigation de supplémentation qui ajoutait 20 pour cent à l'apport total d'eau doublait pratiquement le rendement⁹.

Au Nigéria, les chercheurs sont passés d'un rendement de 4,6 à 28 tonnes/ha grâce à l'irrigation goutte à goutte.

A detailed illustration of a tree with a thick, textured trunk and several branches extending upwards and outwards. The leaves are green and have a lobed, maple-like shape. The tree's root system is shown in the lower half of the page, with several large, thick, brown roots extending horizontally and vertically into the ground. The background is a light, textured greenish-yellow.

Chapitre 5

Nutrition des cultures

*L'association de processus
écosystémiques et de l'utilisation
judicieuse d'un engrais minéral constitue
la base d'un système de nutrition
des cultures durable qui produit plus
tout en utilisant moins d'apports
de l'extérieur.*

Pour arriver au niveau élevé de productivité nécessaire à la satisfaction de la demande actuelle et future, l'agriculture doit, littéralement, revenir à ses racines, en redécouvrant l'importance de la santé du sol, du recours à des sources naturelles pour la nutrition du sol, et de l'utilisation raisonnée des engrais minéraux.

L'utilisation excessive d'engrais minéraux pour la production agricole se fait à un coût considérable pour l'environnement, notamment par acidification des sols, pollution de l'eau, et émissions accrues de gaz à fort effet de serre. Une utilisation mieux ciblée et plus parcimonieuse des engrais conduirait à des économies d'argent pour les agriculteurs et à assurer que les nutriments servent à nourrir les plantes plutôt qu'à polluer l'air, le sol et les cours d'eau.

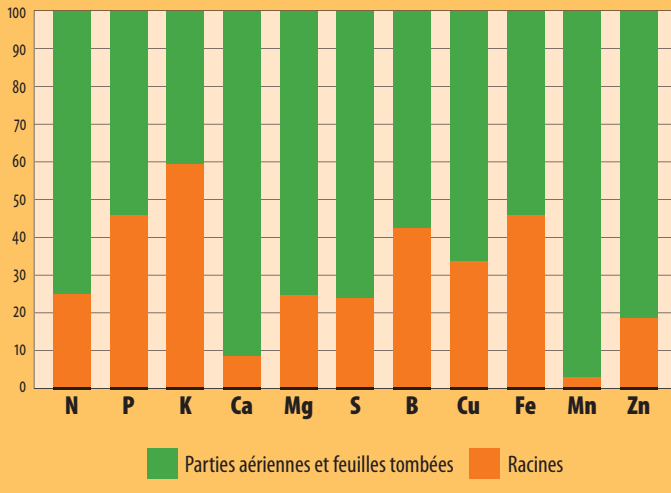
L'impact de la fumure minérale sur l'environnement est une question de gestion: quantité épandue par rapport à la quantité que la récolte va exporter, et méthodes/calendriers d'application. En d'autres termes, c'est l'efficacité de l'utilisation des engrais, et en particulier de l'azote et du phosphore (P), qui détermine si ce volet de la gestion de la fertilité des sols est un bien pour les cultures ou s'il a des effets négatifs pour l'environnement.

L'expérience montre que les rendements les plus élevés et les plus stables sont atteints quand les nutriments des plantes cultivées proviennent d'un mélange d'engrais minéraux et de sources organiques, telles que fumier animal et arbres ou arbustes qui, dans les climats secs, vont faire remonter, à partir du sous-sol, des nutriments qui, sans cela, ne seraient jamais arrivés au contact de la culture. La nutrition des cultures peut être renforcée par d'autres associations biologiques – par exemple, celle entre les racines de la plante et les mycorhizes. Dans l'approche «Produire plus avec moins», cette association de processus écosystémiques et de l'utilisation judicieuse d'engrais minéraux constitue la base d'un système de nutrition des cultures durable, qui produit plus tout en utilisant moins d'intrants extérieurs.

Le manioc peut pousser et arriver à des rendements raisonnables sur des sols où de nombreuses autres cultures échoueraient. Il est très tolérant aux sols pauvres en phosphore et peut en général pousser même en l'absence de fertilisation phosphorique. Cela vient du fait que le manioc a formé une association mutuellement favorable avec un groupe de champignons du sol appelés «mycorhizes à vésicule et arbuscules»^{2, 3}. Ces mycorhizes, présentes pratiquement dans tous les sols, s'introduisent dans les racines du manioc et se nourrissent des glucides qu'il produit. En échange, leurs longs filaments de mycélium apportent à la racine du phosphore et des micronutriments qu'ils vont chercher dans un volume de sol bien plus vaste que celui à la portée de la racine elle-même. Cette association symbiotique permet au manioc d'absorber assez de phosphore pour une croissance saine.

La majeure partie des nutriments absorbés par le manioc au cours de sa croissance se retrouve dans ses parties aériennes⁴. Le retour au sol des tiges et des feuilles – tant comme couverture de feuilles que comme paillis après récolte – apporte de la matière organique au sol, et une partie

Figure 21 **Distribution des nutriments dans le manioc sans fumure à 12 mois, Colombie (%)**



Source: Tableau annexe 5.1

de ces nutriments sera réutilisée par la culture suivante (figure 21). En fait, quand les parties aériennes sont recyclées, l'exportation de nutriments du sol avec la récolte de racines tubéreuses est moins importante que pour la plupart des autres cultures^{5, 6} – un rendement de 15 tonnes/ha ne prélève qu'environ 30 kg d'azote, 20 kg de potassium (K) et seulement 3,5 kg de phosphore⁷⁻⁹. Le risque d'épuisement du phosphore est donc limité, même après de nombreuses années de production continue de manioc sur une même terre¹⁰.

Le manioc peut également être cultivé sur des sols très acides et peu fertiles, en raison de sa tolérance aux pH bas et au niveau élevé d'aluminium échangeable qui leur est associé. Là où le rendement

de cultures comme le maïs ou le riz est en général sévèrement impacté quand le pH du sol est au-dessous de 5 et que la saturation en aluminium dépasse les 50 pour cent, le rendement du manioc ne commence à fléchir que quand le pH du sol est inférieur à 4,2, et la saturation en aluminium de plus de 80 pour cent. Pour cette raison, le manioc n'a pas en général besoin d'un chaulage du sol, là où il serait indispensable pour d'autres cultures.

Fumure minérale

La capacité du manioc de produire sur des sols à faible fertilité a donné lieu à une perception erronée selon laquelle il n'a pas besoin d'engrais minéraux, et même, n'y réagit pas. En fait, l'analyse d'expérimentations approfondies examinées par la FAO montre que de nombreuses variétés de manioc répondent très bien à la fumure minérale¹¹. D'ailleurs, les besoins en engrais du manioc ne font que croître au fur et à mesure que les méthodes traditionnelles d'entretien de la fertilité du sol – telles que les cultures mixtes et le paillis de résidus de récolte – disparaissent face à l'arrivée de systèmes de production plus intensifs.

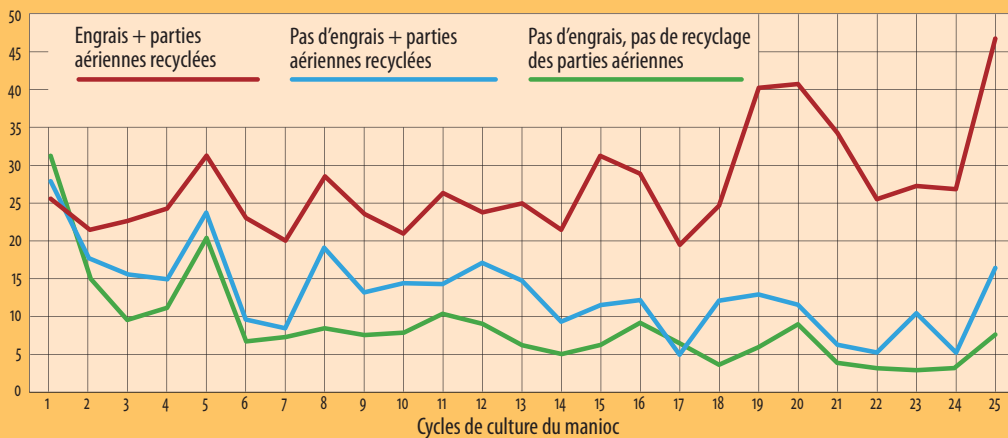
Quand le rendement est élevé et que les résidus de récolte ne sont pas enfouis, de grandes quantités de potassium et d'azote sont prélevées à chaque récolte. Pour préserver et les rendements et la fertilité du sol, le

manioc nécessiterait des applications annuelles à l'hectare estimées à 50-100 kg d'azote, 65-80 kg de potassium et 10-20 kg de phosphore, en fonction de la fertilité native du sol et du rendement souhaité.

Les résultats de 19 essais de fertilité de longue durée, conduits sur 4 à 36 ans de culture en continu de manioc sur les mêmes parcelles, indiquent que la contrainte nutritionnelle critique était la carence en K dans 12 cas, en N dans cinq cas et en P en seulement deux cas. En Thaïlande, des rendements allant jusqu'à 40 tonnes/ha ont été maintenus durablement sous application annuelle de volumes adéquats d'engrais minéraux (100 kg N + 22 kg P + 83 kg K) et incorporation des résidus végétaux dans le sol avant plantation. En l'absence d'engrais et après évacuation des parties aériennes, les rendements à l'hectare ont chuté rapidement, passant de 30 tonnes la première année à environ 7 tonnes six ans plus tard, en raison de l'épuisement des nutriments, et particulièrement du potassium (figure 22). Des résultats comparables ont été observés sur toutes sortes de sols, en Colombie, en Inde, en Indonésie, en Malaisie, en Thaïlande et au Viet Nam⁹.

Les rendements du manioc en Afrique pourraient progresser considérablement si les paysans avaient accès à des engrais minéraux à un prix raisonnable. En République démocratique du Congo, l'utilisation de variétés améliorées, résistant aux ravageurs et aux maladies, en combinaison avec des volumes adéquats d'engrais minéraux, a entraîné des augmentations du rendement – de 30 à 160 pour cent – ainsi que du rendement tiges, qui est important pour la production de matériel végétal de qualité. Dans l'ouest du pays, le rendement à l'hectare est passé de 12 à 25 tonnes grâce à des applications modérées d'engrais NPK, et a atteint 40 tonnes/ha suite à des applications plus abondantes¹². (Néanmoins, le prix de l'engrais en Afrique sub-saharienne reste élevé. Là où l'utilisation d'engrais sur du manioc n'est pas intéressante d'un point de vue

Figure 22 Effets de la fumure minérale et de la gestion des résidus de récolte sur le rendement du manioc sur 25 cycles culturaux, Thaïlande (t/ha)



Source: Howeler, R.H. 2012. Effect of cassava production on soil fertility and the long-term fertilizer requirements to maintain high yields. Dans R.H. Howeler, éd. *The cassava handbook – A reference manual based on the Asian regional cassava training course, held in Thailand*. Cali, Colombie, CIAT, pp. 411-428.

économique, le manioc peut profiter des restes de l'engrais appliqué à des cultures mieux valorisées, telles que le maïs et le soja¹³.)

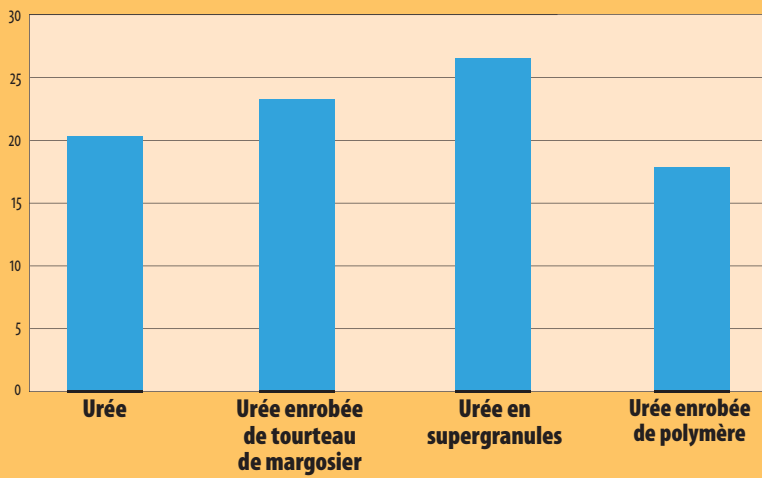
Au départ, le manioc doit recevoir une fumure contenant des quantités égales de N, de pentoxyde de phosphore (P_2O_5) et d'oxyde de potassium (K_2O), soit 500 à 800 kg/ha d'un engrais composé 15-15-15 ou 16-16-16. Cependant, si le manioc est cultivé en continu sur la même terre durant de nombreuses années, la composition en NPK devra être ajustée pour compenser les exportations de chaque composant lors de la récolte des racines tubéreuses. Cela peut se faire en utilisant des engrais avec une composition en N, P_2O_5 et K_2O d'environ 2:1:3, comme par exemple du 15-7-20, ou tout engrais composé riche en K et N, et relativement faible en P. Les agriculteurs doivent observer les préconisations de fumure locales basées sur des résultats expérimentaux sur le manioc, ou sur les résultats de simples essais de fumure sur leurs champs, menés avec l'assistance d'un agronome ou d'un agent vulgarisateur.

Les engrais solubles – tels que l'urée, les superphosphates simple et triple, le phosphate de d'ammonium, le chlorure de potassium et le sulfate de potassium – ainsi que la plupart des engrais composés doivent être appliqués soit lors de la plantation des boutures, soit, et de préférence, environ un mois plus tard, quand l'enracinement a commencé. Le phosphore doit être appliqué à la plantation ou aussitôt après. Pour le N et le K le mieux est de dissocier l'application, une moitié à la plantation ou peu après, et le reste environ 2 ou 3 mois plus tard, quand le manioc atteint son taux de croissance maximal.

La plupart des engrais minéraux se dissolvent rapidement dans l'humidité du sol. Ils doivent être appliqués en bandelettes courtes, de 20-30 cm, enfoncées à la houe à 4-5 cm de profondeur, à une distance de 5-10 cm de la bouture ou du plant de manioc. Après application, les engrais doivent être recouverts de sol pour éviter la volatilisation du N et la perte de nutriments par ruissellement et érosion. La plante va pousser ses racines vers la bandelette d'engrais de façon à absorber les nutriments contenus dans la solution du sol. Cette application localisée aide à éviter de fertiliser les plantes adventices éventuellement présentes à proximité.

Pour réduire les déperditions des nutriments des engrais, économiquement coûteuses et nocives pour l'environnement, les systèmes de production «Produire plus avec moins» s'attachent à obtenir une efficacité maximale de l'utilisation des engrais. Des essais menés en Inde ont montré comment on peut optimiser l'apport d'engrais azoté sur manioc en utilisant de l'urée comprimée en super granules ou en pastilles d'urée, enrobés d'une pâte à base d'huile de graine de neem (figure 23)¹⁴. Ces deux techniques ralentissent considérablement la nitrification de l'urée, ce qui limite les déperditions dans l'atmosphère et par ruissellement des eaux de surface, et assure que les besoins de la plante, aux différents stades de sa croissance, seront couverts par un apport constant d'azote. Au cours

Figure 23 Effets de quatre sources d'azote sur le rendement du manioc, Inde (t/ha)



Source: Tableau annexe 5.2

d'essais, l'urée enrobée de neem a produit une amélioration moyenne du rendement de 27 pour cent¹⁵.

Les engrais plus difficilement solubles, tels que phosphate naturel, chaux, soufre, et le compost organique et le fumier, sont normalement épandus sur la totalité du champ et enfouis avant la plantation, de façon à assurer un bon contact avec le sol et à accélérer leur décomposition ou leur dissolution. Dans les systèmes à zéro labour ou labour réduit, ils seront appliqués au fond des trous de plantation au moment de planter.

Nutriments d'origine organique

Si la fumure minérale peut contribuer à augmenter les rendements, elle ne saurait suffire à rendre durable la production à long terme sur un sol dégradé¹⁶. Il est nécessaire que les agriculteurs préservent et améliorent la qualité et la santé du sol au moyen d'autres mesures «Produire plus avec moins», telles que le labour de conservation, les cultures intercalaires, l'engrais vert, le paillage aux résidus de culture, les cultures de couverture, la culture en bandes, et l'application de fumier animal ou de compost (voir aussi chapitre 2, *Systèmes de production agricole*).

Les cultures intercalaires de légumineuses à graines, qui fixent l'azote atmosphérique, apportent au manioc une certaine quantité d'azote. Si la fixation biologique ne saurait couvrir la totalité des besoins du manioc en azote, elle présente des avantages. Au Nigéria, au bout de deux ans de culture mixte manioc-soja, l'enfouissement des résidus du soja a produit une amélioration de 10 à 23 pour cent du rendement¹⁷. Des essais sur



L'arachide a une croissance rapide et protège le sol contre l'érosion tout en apportant de l'azote aux plants de manioc.

*Au Viet Nam, la culture en bandes entre légumineuses arborées *Leucaena leucocephala* (à droite) améliore le rendement – mais l'efficacité peut être moindre en zone tropicale humide.*

deux sites en République démocratique du Congo ont montré qu'une amélioration des rendements résultait également de la culture d'arachide sur quatre rangs entre des rangs de manioc largement espacés. Mais dans les deux sites, des rendements encore plus élevés ont été obtenus en appliquant de l'engrais composé 17-17-17, à raison de 150 kg/ha, également réparti entre le manioc et l'intercalaire.

Sur un des deux sites, les meilleurs résultats nets en première année étaient ceux avec fumure, tandis qu'en deuxième année c'est l'intercalaire seule, sans fumure, qui donnait le meilleur résultat net. En dépit du prix élevé de l'engrais minéral dans cette région, c'est le traitement qui a la préférence des agriculteurs¹⁸.

La culture en bandes entre des rangs de légumineuses arborées à enracinement profond et croissance rapide, peut être un moyen efficace d'améliorer la fertilité du sol et les rendements, là où les engrais minéraux font défaut. Lors d'un essai à long terme d'amélioration du sol dans le sud du Viet Nam, la culture en bandes avec deux espèces de légumineuses arborées, *Leucaena leucocephala* et *Gliricidia sepium*, a eu un effet positif marqué et persistant sur le manioc cultivé en allées de 4 m de large, aussi bien avec que sans fumure. Au cours de la 16ème année de culture en continu sur les mêmes parcelles, la simple application d'engrais a fait passer le rendement de 4,8 à 17,4 tonnes/ha, tandis que la culture en bandes à *Leucaena* et sans fumure atteignait 13,4 tonnes. La combinaison de *Leucaena* et d'engrais a produit des rendements de plus de 20 tonnes (figure 24).

Cependant, la culture en bandes présente un intérêt limité sous les tropiques humides, où dominant de vastes étendues de sols ferrallitiques peu fertiles. La culture en bandes du manioc dans ces régions n'entraîne pas automatiquement de meilleurs rendements – l'examen d'essais réalisés en zones humides de l'Afrique de l'Ouest et centrale a montré que, dans la plupart des essais, elle avait un effet nul ou négatif sur la croissance des racines tubéreuses de manioc¹⁹. Ces résultats venaient



probablement du fait que les racines des arbres, en zone humide, tendent à rester en surface, entrant fortement en concurrence avec le manioc.

L'engrais vert – pratique consistant à cultiver pendant quelques mois une légumineuse fourragère ou à graines, puis à faire du paillis avec les résidus juste avant de planter du manioc – améliore également les sols, notamment leur teneur en azote. Les combinaisons légumineuses-manioc présentent un avantage biologique incontestable par rapport à la monoculture de manioc, parce que l'occupation du sol, en unités de surface x temps, est supérieure. Cependant, cet avantage biologique diminue avec le temps, et la durée de la culture de légumineuses ne doit pas dépasser 90 jours²⁰.

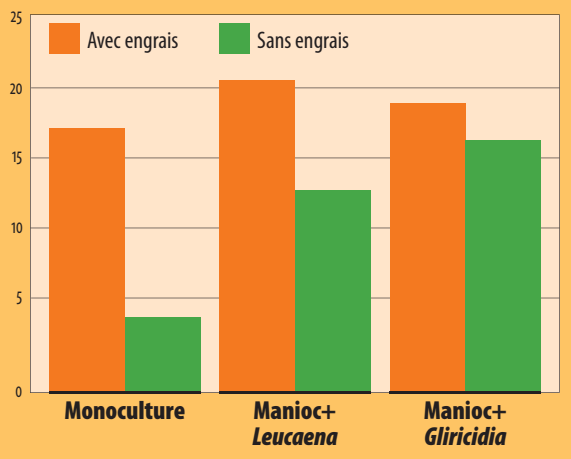
De nombreuses espèces ont été testées comme engrais vert, en Thaïlande et en Colombie, par rapport à leur effet sur le manioc²¹. Les engrais verts utilisés en Colombie comprennent des adventices locales, le pois chiche, l'arachide, le pois mascate (*Mucuna pruriens*), le pois sabre (*Canavalia ensiformis*), la légumineuse fourragère vivace *Zornia latifolia* et le kudzu tropical (*Pueraria phaseoloides*). Les légumineuses à graines ont été récoltées à quatre mois et les fourragères fauchées à six mois, avant d'être enfouies dans le sol. Le manioc a été planté un mois plus tard, avec ou sans fumure minérale selon les parcelles.

Si l'augmentation de rendement a été plus marquée sous fumure minérale, l'incorporation d'engrais vert a contribué à augmenter les rendements même en l'absence d'engrais minéraux. L'arachide était un des engrais verts les plus efficaces, mais *Zornia latifolia* et le kudzu se sont aussi montrés très efficaces, surtout en présence d'engrais.

Sur des sols colombiens très sableux, un paillis d'herbes adventices locales – hautes herbes et légumineuses rampantes – s'est révélé la meilleure méthode de fumure, en l'absence d'engrais minéraux. Une application de 3 à 4 tonnes de paillis sec à l'hectare a augmenté le rendement dans une proportion comparable à l'application de 500 kg d'engrais 15-15-15^{21, 22}. Des essais menés en Thaïlande ont montré l'effet positif de divers engrais verts, notamment le chanvre du Bengale (*Crotalaria juncea*), sur les rendements du manioc²¹.

Une autre approche consiste à planter l'engrais vert en même temps que le manioc, mais entre les rangs de manioc, un peu comme une culture intercalaire. Les engrais verts croissent rapidement et sont arrachés à 2 ou 3 mois, puis paillés entre les rangs de manioc. Les plantes à engrais vert *Canavalia ensiformis* et *Crotalaria juncea* se sont montrés particulièrement efficaces pour augmenter le rendement du manioc.

Figure 24 Effets de la culture entre bandes boisées ou en couloir sur le rendement du manioc, Viet Nam (t/ha)



Source: Tableau annexe 5.3



Tithonia diversifolia, un tournesol sauvage présent sous l'ensemble des tropiques, qui donne un paillis de haute qualité, riche en nutriments.

Il est également possible de collecter hors site du matériel organique destiné à recouvrir le sol. Certaines espèces comme *Tithonia diversifolia*, un tournesol sauvage qui pousse le long des routes sous les tropiques, donnent un paillis d'excellente qualité. *Tithonia* est particulièrement riche en N et K, bien que sa teneur en nutriments varie selon l'endroit où il pousse. En Afrique de l'Est, la pratique la plus courante est de faucher les feuilles et les rameaux tendres pour les hacher menu, avant la floraison, et de les répandre uniformément sur le sol²³.

Sur deux sites en République démocratique du Congo, Kiduma et Mbuela; l'enfouissement de 2,5 tonnes/ha de matière sèche de *Tithonia diversifolia* et *Chromolaena odorata* avant de planter le manioc a entraîné une augmentation très marquée du rendement, comparable à celle résultant d'une application faible à modérée d'engrais composé NPK²⁴. Avec une application de ces engrais verts en même temps que des volumes faibles à modérés d'engrais chimique, le rendement du manioc a même dépassé le niveau obtenu avec une application d'engrais plus importante.

Tithonia a eu un effet plus marqué que *Chromolaena* sur le rendement du manioc à Kiduma, mais pas à Mbuela, ce qui s'explique par une teneur en nutriments de la *Tithonia* collectée sur ce dernier site très inférieure. Les rendements de manioc ont répondu visiblement à des applications faibles, modérées et importantes d'engrais minéraux sur l'un et l'autre site, et les résidus d'engrais dans le sol ont été bénéfiques pour la récolte de manioc qui a suivi (figure 25).

En dépit du prix élevé de l'engrais, le bénéfice économique net progressait avec l'application d'engrais, jusqu'au taux d'application le plus élevé à Kiduma, et jusqu'à un taux modéré à Mbuela. Cependant, en termes de ratio coût-bénéfice et de taux de rentabilité marginale, la palme revenait à l'utilisation de *Tithonia*. En conclusion, là où l'engrais minéral n'est pas disponible ou à portée de bourse, il reste possible d'améliorer sensiblement les rendements du manioc avec l'enfouissement de végétation localement disponible, telle que *Tithonia* ou *Chromolaena*.

Cependant, ces plantes ne sont pas toujours présentes, et sont encombrantes à collecter et à transporter pour des applications au volume utilisé pour les expériences réalisées au Congo. De plus, *Tithonia* peut facilement se comporter en plante adventice dans les champs où elle a servi d'engrais vert, et *Chromolaena odorata* est un lieu de reproduction favori du criquet puant *Zonocerus variegatus*, un ravageur important du manioc en Afrique.

Ainsi, même si l'engrais vert peut certainement jouer un rôle important dans l'entretien de la fertilité du sol et l'amélioration du rendement du manioc, sa pratique et les espèces utilisées doivent être adaptées aux conditions spécifiques de la zone visée. Vu la longueur du cycle annuel du manioc, les paysans peuvent hésiter à en consacrer une partie à la production d'engrais vert. Ils vont fréquemment privilégier l'investissement dans l'engrais minéral.

Le fumier animal et le compost sont utilisés par les agriculteurs du monde entier pour améliorer leur production. Dans cette catégorie, le fumier de poule est celui qui tend à avoir la meilleure teneur en nutriments. Le fumier et le compost sont tous deux de bonnes sources de matière organique qui, une fois enfouies, améliorent la structure du sol et la stabilité de ses agrégats, tout en favorisant la rétention d'eau et la capacité d'échange de cations. Ils facilitent également l'activité souterraine biologique des vers de terre, des bactéries et des champignons, tout en apportant un large choix de nutriments, y compris des nutriments secondaires et des oligo-éléments.

Un programme de recherche de l'IITA portant sur le développement agricole dans les tropiques humides est en train d'examiner l'intérêt éventuel d'une intégration production animale-production de manioc. L'intégration de la production animale valorise les espèces végétales à engrais vert et les feuilles de manioc par leur utilisation fourragère, qui à son tour augmente le retour de fumier animal vers les champs et améliore les rendements.

Des essais montrent que combiner environ 3 à 5 tonnes/ha de fumier ou de compost avec une fumure minérale convenablement équilibrée en N, P et K est souvent la meilleure méthode pour accroître les rendements et préserver la capacité de production du sol. Les engrais vont apporter l'essentiel des macronutriments dont les plantes ont besoin, tandis que la fumure organique va apporter des nutriments secondaires et des oligo-éléments – qui ne sont requis qu'en quantités minimes – et améliorer l'état physique du sol.

Au cours d'essais en Indonésie et au Viet Nam, une combinaison de fumier de ferme ou de compost (5 tonnes/ha dans les deux cas) et d'engrais minéraux choisis et utilisés avec soin – azote et potassium au Viet Nam (tableau annexe 5.5), azote seul en Indonésie (figure 26) – a produit des rendements élevés et maximisé le revenu net.

Le principal problème avec les sources organiques de nutriments

Figure 25 Effets de l'engrais minéral et de l'engrais vert sur le rendement du manioc sur deux sites de la RD Congo (t/ha)

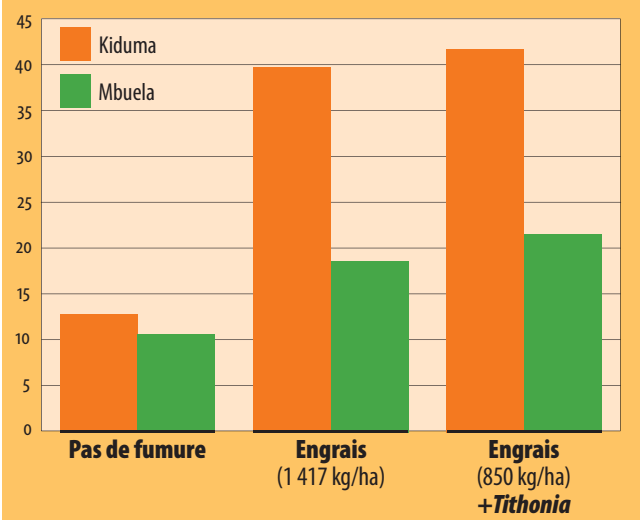
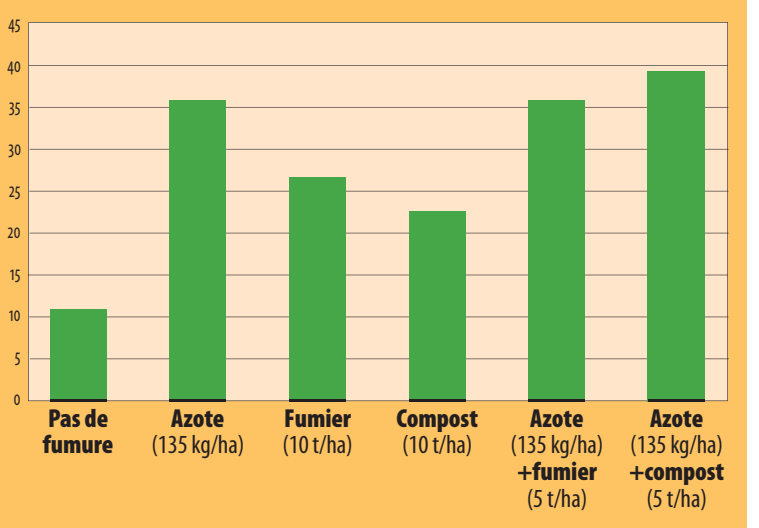


Figure 26 Effets de la fumure organique et minérale sur le rendement frais de manioc, Indonésie (t/ha)



Source: Tableau annexe 5.6

est leur teneur relativement faible en azote, phosphore et potassium – il faut une tonne de fumier animal ou de compost pour apporter une même quantité de ces nutriments de base que 50 kg d’engrais composé (tableau annexe 5.7). Pour les petits agriculteurs des zones rurales isolées, le manque de routes, de moyens de transport et de machines agricoles peut rendre le ramassage et l’épandage de fumier ou de compost, à raison de plusieurs tonnes, difficile et coûteux, sinon même impossible.

Lutte anti-érosion

Les couches superficielles du sol étant les plus fertiles, la lutte anti-érosion est un aspect essentiel de la gestion durable de la fertilité du sol. La disparition de la couche arable provoque la perte non seulement de nutriments disponibles ou échangeables, mais encore de la totalité des nutriments apportés par la fraction organique et minérale²⁵.

La culture du manioc tend à exposer davantage le sol aux pertes érosives que la plupart des autres cultures, surtout quand les agriculteurs n’utilisent ni plantes de couverture, ni paillis pour protéger le sol de l’impact direct de la pluie, du soleil et du vent au cours des 2 à 3 premiers mois de croissance¹⁰. De plus, le manioc occupe souvent des sols sableux ou limono-sableux avec une mauvaise stabilité des agrégats, et sur des pentes déjà érodées, en partie parce que le manioc est une des rares cultures qui peuvent produire suffisamment sur des sous-sols mis à nu.

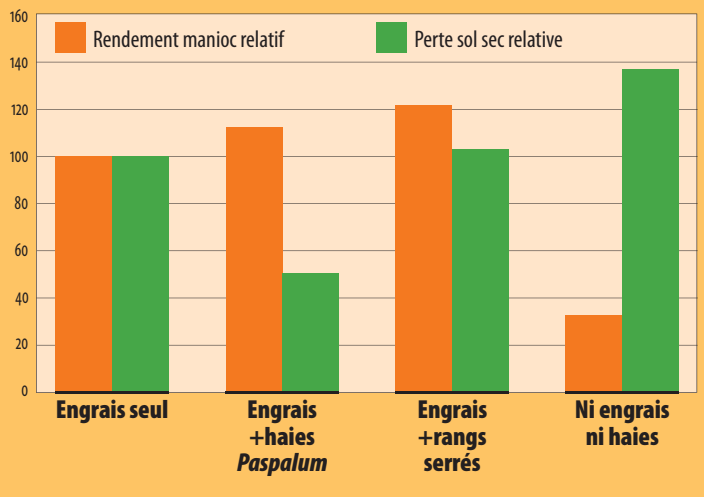
Les pratiques de «Produire plus avec moins» peuvent réduire dans une proportion significative le ruissellement et l’érosion, tout en contribuant à de bons rendements en manioc. Une option est le zéro labour (voir chapitre 2, *Systèmes de production agricole*), qui défend le sol contre l’érosion, ralentit la décomposition de la matière organique et entretient la stabilité des agrégats du sol ainsi que son drainage interne. Une étude menée en Colombie a montré qu’une combinaison de labour minimum et d’une rotation avec un mélange de légumineuses herbacées encourage l’activité microbienne dans le sol, d’où une adhésivité significative des particules du sol, une agrégation renforcée et une réduction de l’érosion. L’efficacité du zéro labour est au plus haut dans un sol bien agrégé et suffisamment riche en matière organique.

Si le labour conventionnel est utilisé pour la préparation du terrain, les sillons et les billons sur les pentes doivent épouser les courbes de niveau, plutôt que la ligne de descente, et les courbes de niveau doivent être plantées de haies d’herbe, ou de légumineuses arborées ou arbustives, de façon à ralentir le ruissellement et piéger les sédiments emportés par celui-ci. Les boutures de manioc doivent être plantées à travers un paillis par exemple des résidus de culture, des herbes ou des tailles de légumineuses arborées), et des cultures intercalaires couvrir le sol entre les rangs de manioc.

Des études effectuées en Colombie et dans divers pays d'Asie ont identifié des pratiques dont l'efficacité contre l'érosion est maximale: planter des haies de vétiver, de *Tephrosia candida* ou de *Paspalum atratum* en suivant les courbes de niveau; planter le manioc sur des billons suivant ces mêmes courbes; et planter *Leucaena leucocephala* ou *Gliricidia sepium* le long des courbes de niveau dans des systèmes de culture en bandes (figure 27). Toutes ces mesures voient leurs effets intensifiés par l'application d'engrais minéral sur le manioc, qui accélère la mise en place d'un couvert protecteur du sol par la plante.

La plupart des pratiques anti-érosives présentent des avantages et des inconvénients, et il est nécessaire d'arbitrer pour prendre les bonnes décisions. Il est important d'impliquer directement les agriculteurs dans l'évaluation et le choix des pratiques les mieux adaptées à leur sol et à leur climat, leur système socio-économique et leurs traditions.

Figure 27 Effets des pratiques de conservation du sol sur le rendement du manioc et la perte érosive de sol sec, Viet Nam (%)



Source: Tableau annexe 5.8



Chapitre 6

Ravageurs et maladies

Protéger le manioc avec un pesticide est bien souvent inefficace et n'est presque jamais économique. Une série de mesures non chimiques peuvent aider les agriculteurs à réduire les pertes tout en protégeant l'écosystème agricole.

Un écosystème agricole sain constitue la première ligne de défense contre les ravageurs et maladies des cultures. En raison des déséquilibres causés à l'écosystème naturel des cultures par les insecticides, fongicides et herbicides de synthèse, l'approche «Produire plus avec moins» essaie d'en réduire l'utilisation au minimum. Au lieu de cela, elle préconise la lutte intégrée (IPM), une stratégie de protection des cultures qui vise la stimulation des processus biologiques et de la biodiversité liés à la culture considérée, et qui en sous-tendent la production¹.

Les déperditions dues aux insectes sont maintenues à un niveau tolérable par l'utilisation de variétés résistantes, la conservation et la stimulation d'agents de lutte biologique, et une gestion des teneurs en nutriments de la plante visant à freiner la reproduction des insectes. La lutte contre les maladies repose sur l'utilisation de matériel végétal sain, la rotation des cultures pour éliminer les organismes pathogènes, et l'élimination des plantes-hôtes contaminées. Une gestion efficace des plantes adventices suppose des désherbages manuels effectués en temps et heure, et le recours à des paillis de surface pour entraver leur croissance.

En cas de nécessité, des pesticides sélectifs et à bas niveau de risque pourront être utilisés pour une lutte anti-ravageurs ciblée, selon un calendrier et un dosage soigneusement déterminés. Tout pesticide présentant une toxicité potentielle pour les humains et l'environnement, les produits employés doivent être enregistrés et approuvés au niveau local, et comporter des instructions claires quant à leur mode d'emploi et aux précautions à observer.

Comme toutes les grandes cultures, le manioc est vulnérable aux ravageurs et aux maladies, qui peuvent provoquer de lourdes pertes de rendement. Leur impact se fait le plus sentir en Afrique. Jusqu'à une période récente, l'Asie n'avait que peu de problèmes de ravageurs et de maladies, mais il se pourrait que cela soit en train de changer, au fur et à mesure que la culture s'intensifie, se propage sur de plus importantes superficies, et est plantée tout au long de l'année en vue de sa transformation industrielle.

Quand des mesures de lutte contre les ravageurs ou les maladies deviennent nécessaires, une stratégie de lutte non chimique doit être envisagée avant tout recours aux produits de synthèse. Le manioc étant une culture de longue saison, avec une période prolongée d'exposition aux ravageurs et aux maladies, le recours aux pesticides est en général inefficace et pratiquement jamais économique. C'est pourquoi les insecticides, par exemple, ne doivent être utilisés qu'en applications localisées et à court terme, sur les «points chauds» d'apparition initiale du ravageur, et seulement durant les stades initiaux du développement de celui-ci.

Une série de mesures non chimiques peuvent aider les agriculteurs à réduire les pertes dues aux ravageurs et aux maladies tout en protégeant l'écosystème agricole²⁻⁷. Pour commencer, le matériel végétal doit

provenir de variétés tolérantes ou résistantes aux principaux ravageurs et pathogènes du manioc, et avoir été prélevé sur des plants-mères exempts de symptômes de maladie et de signes d'attaques par des ravageurs. À titre de précaution supplémentaire, il est possible de faire tremper les boutures de manioc dans de l'eau chaude pour tuer les ravageurs ou pathogènes qui pourraient être présents. Dans les cas extrêmes, il pourra être nécessaire de tremper les boutures dans une solution de fongicide et d'insecticide. Cependant, les agriculteurs qui le font devront avoir reçu une formation à l'utilisation correcte des pesticides et, dans le choix des produits, devront suivre les préconisations des spécialistes locaux de la protection phytosanitaire. Des pratiques écosystémiques, comme le paillage, la plantation de haies et les cultures intercalaires, peuvent constituer un abri pour les ennemis naturels des insectes ravageurs. Veiller à une teneur élevée du sol en matière organique fait prospérer des populations d'organismes régulateurs des ravageurs au début du cycle de culture.

Au cours de ce cycle, l'application de volumes adéquats de fumure organique ou minérale pourra renforcer la tolérance ou la résistance de la plante. Il ne faut pas appliquer d'insecticide sur les feuilles du manioc durant sa croissance, au risque de tuer des agents naturels de lutte biologique qui contribuent à tenir en respect certains ravageurs et pathogènes importants. Par exemple, les insecticides tuent les ennemis naturels des acariens verts du manioc – les acariens phytoséides – avant de tuer les acariens verts eux-mêmes. L'élimination des prédateurs naturels entraîne l'accroissement de la population des ravageurs, les agriculteurs pouvant alors réagir par encore davantage de pesticide, perpétuant et aggravant le cercle vicieux des dégâts des ravageurs. Les biopesticides, tels que l'extrait d'huile de neem, sont recommandés pour lutter contre les aleurodes, les cochenilles, et le criquet puant. Les populations d'aleurodes et de cochenilles peuvent également être réduites à l'aide de pièges collants et en pulvérisant de l'eau savonneuse sur les plantes.

Lutte contre les principales maladies du manioc

Bien que l'Amérique latine et les Caraïbes, région d'origine du manioc, abritent le plus grand nombre de ses maladies, beaucoup d'entre elles ont atteint l'Afrique sub-saharienne et l'Asie. Certaines, nées séparément en Afrique et en Asie, ne sont pas encore arrivées aux Amériques.

La bactériose vasculaire du manioc est une des plus répandues et des plus graves. Causée par une protéobactérie, *Xanthomonas axonopodis* pv. *manihotis*, elle est transmise essentiellement par du matériel végétal ou des outils agricoles contaminés. Elle peut aussi se transmettre d'une

plante à l'autre par les éclaboussures de pluie, et par les déplacements de personnes, de machines et d'animaux entre champs contaminés et champs sains. La bactérie s'attaque d'abord aux feuilles, qui brunissent par grandes taches avant de mourir, puis aux tissus vasculaires des pétioles et des tiges ligneuses.

L'impact de la bactériose vasculaire sur les rendements dépend de facteurs tels que le site, la variété, le climat, la date de plantation et la qualité du matériel végétal. En 1974, la maladie a causé des pertes de 50 pour cent dans de grandes plantations brésiliennes. La bactériose vasculaire peut également compromettre la sécurité alimentaire en réduisant la production de feuilles de manioc, source importante de protéines végétales en Afrique.

Bien que potentiellement dévastatrice, la bactériose vasculaire peut être combattue avec efficacité au moyen de pratiques «Produire plus avec moins». On pourra citer:

- ▶ L'utilisation de variétés avec une bonne tolérance (de nombreuses variétés tolérantes et à haut rendement sont aujourd'hui disponibles)
- ▶ L'utilisation de matériel végétal sain prélevé sur des plants exempts de maladie, ou des plants obtenus par culture de méristèmes, ou enracinement de bourgeons ou de rejets
- ▶ Le traitement des boutures, avant de les planter, par trempage dans l'eau chaude à 50°C pendant environ 50 minutes. Dans les cas les plus graves, et sur le conseil de spécialistes locaux de protection phytosanitaires, on pourra tremper les boutures dans une solution de fongicide cuprique
- ▶ Planter en fin de saison des pluies
- ▶ Après avoir utilisé des outils dans une parcelle contaminée, les stériliser à l'eau chaude ou dans une solution diluée de désinfectant tel que l'hypochlorite de sodium
- ▶ Veiller à une fumure adéquate des plantes, surtout pour le potassium
- ▶ Arracher et brûler tous les plants atteints ainsi que les résidus de récolte contaminés
- ▶ Pratiquer des cultures intercalaires pour réduire la dissémination de plant à plant par éclaboussures de pluie (des cultures à croissance rapide comme le maïs réduisent également la dissémination par le vent)
- ▶ Pour prévenir la transmission par le sol à la culture suivante, pratiquer des rotations avec d'autres cultures, ou laisser le champ en jachère au moins six mois entre deux cultures de manioc.

Les maladies virales se transmettent en général par utilisation de matériel végétal contaminé. De plus, les aleurodes – notamment l'espèce *Bemisia tabaci* – sont des vecteurs de virus à l'origine de la mosaïque du manioc (CMD) et de la striure brune du manioc (CBSD).



Déformations des feuilles, manque de chlorophylle, tachetures et dépérissement sont les symptômes de la mosaïque du manioc.

La mosaïque du manioc est endémique en Afrique sub-saharienne. Les symptômes habituels sont la déformation des feuilles, la chlorose, les taches et l'aspect de mosaïque. Les plantes se rabougrissent et leur état général décline, avec une perte de rendement d'autant plus sévère que les symptômes le sont. Au milieu des années 90, une forme de CMD particulièrement agressive a entraîné des chutes de rendement de 80 à 100 pour cent en divers endroits du Kenya et de l'Ouganda. La CMD est également la maladie du manioc la plus sérieuse en Inde et au Sri Lanka, où elle peut provoquer des pertes de rendement allant jusqu'à 90 pour cent sur des variétés traditionnelles⁸.

La striure brune du manioc provoque une nécrose liégeuse des racines tubéreuses qui les rend impropres à la consommation. Cette maladie a provoqué la destruction complète de plusieurs récoltes dans certaines zones des Grands Lacs africains. En 2011, la FAO a émis une mise en garde sur l'absence totale de résistance à la CBSD parmi les variétés utilisées dans cette région. Même les plantes cultivées à partir de matériel végétal sain sont vulnérables à la transmission virale, par les aleurodes de l'espèce *B. tabaci*, à partir de parcelles voisines contaminées. En raison de la discrétion des symptômes apparents de la CBSD sur les feuilles et les tiges de manioc, les agriculteurs peuvent ne pas être conscients de la contamination de leur culture jusqu'à la récolte des racines tubéreuses. Cette discrétion des symptômes sur les parties aériennes facilite l'utilisation de matériel végétal contaminé.

Deux recommandations essentielles pour la lutte contre la CMD comme la CBSD sont une application rigoureuse des procédures de quarantaine à l'occasion des échanges internationaux de germplasm de manioc, et certaines pratiques culturales, notamment l'utilisation de cultivars tolérants ou résistants et de matériel végétal exempt de virus.

Un effort considérable a porté sur la production et la distribution de matériel végétal exempt de virus dans la région des Grands Lacs. En janvier 2012, quatre variétés de manioc à haut rendement, sélectionnées par utilisation de marqueurs moléculaires, et résistantes à la CMD et tolérantes à la CBSD, ont été mises sur le marché en République unie de Tanzanie.

À l'issue d'une décennie de recherches intensives à l'Institut de recherche sur les plantes à tubercules du Kerala, la résistance aux virus de la mosaïque de l'Inde et du Sri Lanka a été isolée dans une variété du Nigeria et une espèce sauvage, *Manihot caerulescens*. Ces deux souches parentales ont été utilisées par les chercheurs, par croisement avec des variétés locales à haut rendement, pour la production de plusieurs lignées prometteuses, résistantes à la CMD, l'une d'entre elles rencontrant un vif succès dans les ceintures de culture industrielle de manioc du Tamil Nadu⁹.

Les pourritures des racines se manifestent essentiellement dans les sols mal drainés au cours de périodes de précipitations très abondantes, et sont courantes en Afrique, en Asie et en Amérique latine. Elles sont causées par toutes sortes de pathogènes bactériens et fongiques, et entraînent la

chute des feuilles, le dépérissement apical des tiges et des racines, et la détérioration des racines tubéreuses, soit au cours de la croissance de la plante, soit durant l'entreposage post-récolte. Les outils agricoles et les résidus de plantes laissés sur les champs après la récolte sont fréquemment contaminés par des champignons pathogènes et sont à l'origine de spores qui vont contaminer les nouveaux plants.

Au cours d'essais dans la région de l'Amazone en Colombie, les petits agriculteurs sont venus à bout de la pourriture des racines du manioc grâce à des pratiques «Produire plus avec moins» simples. Ils ne plantaient que des boutures en provenance de plants-mères sains, utilisaient un mélange de cendres et de feuilles sèches comme amendement et fumure du sol lors de la plantation, et cultivaient en intercalaire le manioc et les pois chiches³. Parmi d'autres pratiques culturales de lutte contre la pourriture des racines, on citera:

- ▶ Faute de matériel végétal exempt de maladie, immerger les boutures dans de l'eau chaude pendant environ 50 minutes
- ▶ Planter sur des sols modérément profonds, à texture légère, avec un bon drainage interne
- ▶ Améliorer le drainage en réduisant le labour et en paillant
- ▶ Cultiver le manioc en rotation avec des céréales ou des plantes herbacées
- ▶ Arracher et brûler toute plante malade

Un moyen efficace de lutte contre la pourriture des racines est l'immersion des boutures dans une suspension de *Trichoderma viride*, un champignon du sol à croissance rapide qui parasite le mycélium d'autres champignons du sol^{3, 10}. Au cours d'expérimentations au Nigéria, deux groupes de boutures de manioc entreposés ont été inoculés avec quatre champignons pathogènes. Un groupe a également reçu une inoculation d'un filtrat de culture de *T. viride*. Sur une durée de trois semaines, la prévalence de la pourriture dans le groupe témoin variait entre 20 et 44 pour cent; pour le groupe inoculé avec l'agent de lutte biologique, le nombre et la diversité des champignons cibles ont été réduits de façon spectaculaire, la prévalence de la pourriture allant de zéro à 3 pour cent au bout des trois semaines. L'inoculation avec *T. viride* a supprimé la nécessité de traitements répétés avec un fongicide de synthèse¹¹.

Lutte contre les principaux insectes ravageurs

Les arthropodes ravageurs du manioc comptent environ 200 espèces répertoriées. Parmi celles-ci, certaines sont spécifiques du manioc, d'autres s'attaquent également à d'autres cultures. La plus grande diversité d'insectes ravageurs du manioc se trouve en Amérique latine, où ils ont

évolué en parallèle avec la plante. Cependant, cela ne signifie pas nécessairement que les problèmes causés par ces ravageurs sont plus sérieux en Amérique latine – beaucoup de ces insectes nuisibles sont tenus en respect par des prédateurs et des parasitoïdes qui ont eux-mêmes suivi une évolution parallèle au cours des siècles^{4, 5}.



Bemisia tabaci transmet de sérieuses maladies virales aux plants de manioc.

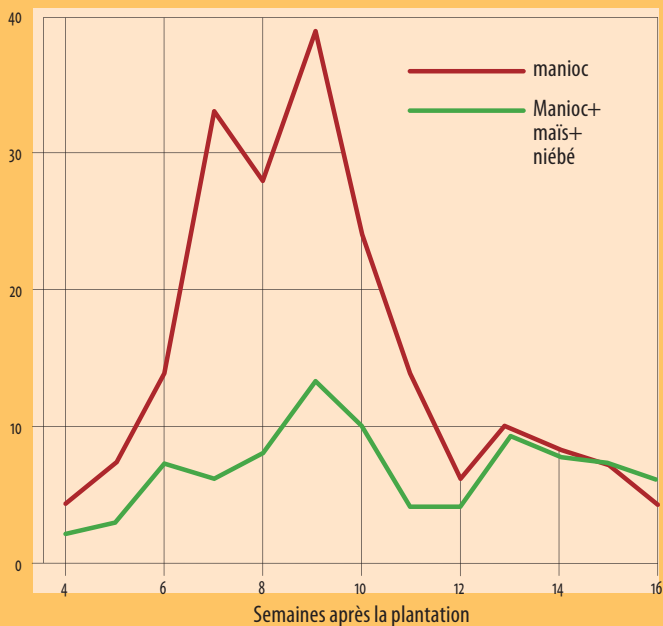
Les *aleurodes* s'alimentent directement sur les jeunes feuilles de manioc et transportent également des virus, ce qui en fait sans doute l'insecte ravageur le plus redoutable dans chaque région de production du manioc. En Amérique latine, 11 espèces d'aleurodes ont été répertoriées sur le manioc, dont *Aleurotrachelus socialis*, *A. aepim* et *Trialeurodes variabilis*, qui sont à l'origine de la plus grande partie des dégâts. L'aleurode *Bemisia tabaci*, vecteur de la mosaïque du manioc et de la striure brune du manioc, est présent dans la plus grande partie de l'Afrique sub-saharienne et désormais également en Inde. Il est également présent en Amérique latine, où il ne se nourrit pas sur le manioc. Une autre espèce, *Aleurodicus disperses*, ou aleurode spiralant, est présente en Inde, en RPD Lao, et en Thaïlande, ainsi qu'en Afrique, et peut causer des dégâts et chutes de rendements sérieux.

Bien que de nombreux agriculteurs luttent contre les infestations d'aleurodes au moyens d'insecticides, ces pulvérisations restent en général sans effet – par exemple l'aleurode *A. socialis* voit sa population

doublée en moins de 5 jours. En revanche, ne pas pulvériser d'insecticide permet aux ennemis naturels des aleurodes, qui comprennent de nombreuses espèces de parasitoïdes, de prédateurs et d'entomopathogènes, de mener la lutte biologique.

Une expérimentation sur deux ans au Cameroun a montré un lien entre la culture intercalaire de manioc avec du maïs et des pois chiches et une chute de 50 pour cent des populations d'aleurodes adultes, ainsi qu'une réduction de 20 pour cent de la prévalence de la mosaïque du manioc (figure 28)¹². Des recherches menées en Colombie suggèrent que la culture en intercalaire avec le pois chiche inhibe la croissance des feuilles de manioc, les rendant moins attractives pour les aleurodes. Le rendement n'a pas été affecté par cette moindre croissance – en fait, le rendement n'est tombé que de 13 pour cent dans le système manioc-pois chiche, contre une perte allant jusqu'à 65 pour cent en monoculture¹³.

Figure 28 Nombre moyen d'Aleurodes du manioc sur les feuilles de manioc, Cameroun



Source: Adapté de Fondong, V.N., Thresh, J.M. et Zok, S. 2002. Spatial and temporal spread of cassava mosaic virus disease in cassava grown alone and when intercropped with maize and/or cowpea. *J. Phytopathology*, 150: 365-374.

Parmi d'autres mesures de lutte recommandées on citera l'imposition d'une «saison de fermeture» au cours de laquelle le manioc ne doit pas être présent dans les champs, de façon à interrompre le cycle vital de l'aleurode (cependant, pour certaines espèces comme *B. tabaci*, éclectiques dans le choix de leurs hôtes, l'efficacité est sans doute limitée). Des essais récents menés en Colombie indiquent qu'en associant plusieurs variétés de manioc dans un même champ, la charge en parasites herbivores peut s'en trouver réduite, et le rendement augmenté, dans des zones sujettes à de sévères attaques de *T. variabilis*¹⁴.

Les cochenilles s'alimentent sur les tiges, les pétioles et les feuilles de manioc, y injectant une toxine qui provoque l'enroulement des feuilles, une croissance ralentie des rejets et finalement le dépérissement des feuilles. La perte de rendement sur un plant infesté peut atteindre 60 pour cent pour les racines tubéreuses et 100 pour cent pour les feuilles. Sur la quinzaine d'espèces qui s'attaquent au manioc, deux espèces – *Phenacoccus herrini* et *P. manihoti* – causent des dégâts considérables en Amérique latine.

Au début des années 70, l'introduction accidentelle de *P. manihoti* en Afrique sub-saharienne, où elle n'a pas d'ennemis naturels, a été suivie d'une colonisation rapide des zones productrices de manioc de la région. La population de cochenilles a pu être mise en échec par l'introduction de divers prédateurs naturels originaires d'Amérique du Sud. Le prédateur le plus efficace a été une guêpe minuscule, *Anagyrus lopezi*: sa femelle pond dans la cochenille et les larves, en se développant, tuent leur hôte.

P. manihoti a récemment été introduite en Thaïlande par inadvertance, se répandant dans tout le pays en moins d'un an. En mai 2009, au pic de sa présence en Thaïlande, elle affectait 230 000 ha dans les régions de production de manioc. L'invasion a dévasté la récolte de manioc de 2010, la faisant chuter à 22,7 millions de tonnes, contre 30 millions de tonnes l'année précédente.

La réaction des autorités et des agriculteurs thaïlandais à l'invasion de cochenilles de 2009 présente un excellent exemple de l'efficacité de la lutte biologique contre les ravageurs. Pour prévenir une nouvelle invasion, les paysans ont reçu instruction de ne pas planter de manioc en fin de saison des pluies ou au début de la saison sèche, et de faire tremper les boutures dans une solution insecticide avant de les planter. Ils ont également été prévenus de ne pas pulvériser d'insecticides sur les plantes elles-mêmes – l'expérience ayant montré que cela provoquait le retour du ravageur.

Pour contrer les infestations, divers prédateurs et parasites locaux ont été répertoriés, mais les chercheurs sont arrivés à la conclusion qu'ils n'étaient pas capables de réduire significativement la population de cochenilles. Ils ont suggéré le recours à *Anagyrus lopezi*, la guêpe qui avait réussi à stopper la cochenille en Afrique dans les années 70. En septembre 2009, 500 adultes de *A. lopezi* ont été livrés par porteur spécial à Bangkok, à partir du Centre de lutte biologique IITA du Bénin.



Les cochenilles ont dévasté des champs de manioc en Afrique sub-saharienne et en Thaïlande.



Un ennemi naturel de la cochenille du manioc – Anagyrus lopezi, une guêpe minuscule.

Figure 29 Superficie infestée par la cochenille du manioc, Thaïlande, 2009-2012 ('000 ha)



Source: Rojanaridpiched, C., Thongnak, N., Jeerapong, L. et Winotai, A. 2012. *Rapid response to the accidental introduction of the mealybug, Phenacoccus manihoti, in Thailand*. Note d'information préparée pour la FAO. (mimeo)

Après des tests de quarantaine en laboratoire et des essais de terrain, le Gouvernement thaïlandais a entrepris la multiplication à grande échelle et la distribution de la guêpe. En mai 2012, près de 3 millions de paires de *A. lopezi* avaient été relâchées à travers la zone de production infestée. La campagne de lutte biologique a été un succès complet – la zone infestée a été réduite à 170 000 ha en 2010, 64 000 ha en 2011 et seulement 3 300 ha en 2012 (figure 29)¹⁵.

Les recommandations actuelles pour la lutte contre les cochenilles du manioc sont:

- ▶ Ne pas pulvériser d'insecticide pour préserver les populations d'ennemis naturels
- ▶ Si nécessaire, traiter le matériel végétal avec une solution d'un insecticide enregistré et recommandé au niveau local
- ▶ Contrôler les plantations de manioc toutes les 2 à 4 semaines pour détecter les points focaux d'infestation
- ▶ Couper et brûler les parties infestées des plantes
- ▶ Éviter tout mouvement de matériel végétal entre différentes régions
- ▶ Réduire au maximum les mouvements de matériel végétal à partir de champs infestés en direction de champs indemnes.

Les acarïens du manioc sont un ravageur important dans toutes les zones de production. Les effets de l'acarïen vert du manioc, *Mononychellus tanajoa*, sont les plus marqués en Amérique latine et en Afrique sub-tropicale, surtout en basses terres à saison sèche prolongée. Il s'alimente

sur la face inférieure des jeunes feuilles, qui deviennent blanc-jaune, se déforment et restent de petite taille. L'acarien vert du manioc peut entraîner des pertes de rendement allant jusqu'à 80 pour cent. Un autre acarien vert, *M. mcgregori*, a récemment été signalé au Cambodge, en Chine et au Viet Nam. S'il n'est sans doute pas aussi agressif que *M. tanajoa*, il pourrait causer des dommages sérieux en l'absence d'ennemis naturels.

L'introduction en Afrique d'acariens verts, sur du manioc importé d'Amérique latine dans les années 70, a été catastrophique pour la production africaine de manioc. Pour en venir à bout, les entomologistes de l'IITA et du CIAT ont commencé par repérer sa zone d'origine en Amérique du Sud et par identifier son ennemi naturel, un autre acarien, d'origine brésilienne. L'acarien du Brésil arrivait à survivre en Afrique, mais sa diffusion était très lente.

La solution a été de faire appel à un autre acarien prédateur, *Tetranychus aripo*, qui s'est répandu rapidement dans les champs des agriculteurs africains et dont l'appétit pour les acariens verts n'est pas dévorant – ce qui est un avantage: en laissant survivre assez d'acariens verts, l'acarien prédateur est assuré de ne pas disparaître faute de proies. En même temps qu'il s'occupait à réduire les dégâts causés par les acariens verts à travers l'Afrique, *T. aripo* a apporté une contribution substantielle à la science de la lutte biologique et à la compréhension du mode de fonctionnement des acariens au sein de systèmes alimentaires complexes¹⁶.

De nombreuses espèces d'acariens rouges ont été observées sur le manioc dans les trois grandes régions de production. Ce sont les ravageurs les plus répandus en saison sèche en Asie, où les espèces les plus communes sont *Tetranychus urticae* et *T. kanzawai*. La perte de rendement peut aller de 18 à presque 50 pour cent. Les acariens rouges s'alimentent essentiellement à la face inférieure des feuilles, mais s'attaquent aux vieilles feuilles de la base de la plante, y produisant beaucoup de toiles. Il reste urgent de déterminer par la recherche quels sont les plus efficaces des ennemis naturels des acariens rouges.

Les recommandations actuelles pour la lutte contre les acariens du manioc sont:

- ▶ Planter des variétés résistantes ou tolérantes si disponibles
- ▶ Dans les zones où l'acarien est endémique, traiter les boutures avec un insecticide recommandé et approuvé à l'échelon local
- ▶ Favoriser une bonne implantation du plant en plantant en début de saison des pluies
- ▶ Appliquer une fumure adéquate et équilibrée pour obtenir des plants vigoureux
- ▶ Pulvérisation foliaire d'eau sous pression pour réduire les populations d'acariens
- ▶ Stricte application des règlements de quarantaine

D'autres ravageurs importants, limités à l'Amérique du Sud, sont le sphinx du manioc, les punaises foreuses, les fourmis coupeuses de



D'autres ennemis naturels des insectes ravageurs (à protéger): coléoptères de la famille des Coccinellidae et chrysope africaine.

feuilles, les mouches des pousses et les mouches des fruits. Toutes les précautions doivent être prises pour prévenir l'introduction accidentelle de ces insectes latino-américains en Afrique ou en Asie, où ils n'ont pas d'ennemis naturels et pourraient donc exercer des ravages. Une menace récemment identifiée en Asie – signalée au Cambodge, en RDP Lao, aux Philippines, en Thaïlande et au Viet Nam – est la maladie du balai de sorcière, attribuée à un phytoplasme.

Certains ravageurs et pathogènes du manioc ont également été introduits accidentellement avec des espèces végétales étroitement apparentées au manioc, comme *Jatropha curcas*, utilisé comme «haie vive» en Asie et récemment devenu une source appréciée de biocarburant. Des précautions appropriées doivent être prises pour le transport international de matériel végétal d'espèces apparentées au manioc, et il convient de ne pas créer de grandes plantations de *Jatropha* dans les régions productrices de manioc.

Gestion des plantes adventices

Par rapport à de nombreuses autres cultures, le manioc a une croissance initiale lente. Ce fait, combiné à l'intervalle spacieux entre les boutures plantées, facilite l'émergence des plantes adventices et leur concurrence pour la lumière du soleil, l'eau et les nutriments.

Au cours des quatre mois suivant sa plantation, il est très facile pour le manioc de se faire rattraper par la concurrence des graminées et des adventices à feuilles larges, dont de nombreuses légumineuses. En Afrique de l'Est, la pression exercée sur la production par les plantes adventices est souvent plus sérieuse que celle des insectes ravageurs ou des maladies, et peut réduire les rendements de près de 50 pour cent¹⁷. Au Nigéria, le temps consacré au désherbage par les agriculteurs dépasse celui consacré à tout autre aspect de la production de manioc¹⁸.

Une fois refermé le couvert procuré par le manioc, son ombre suffit à éliminer la plupart des plantes adventices, et à garder le champ presque libre d'adventices^{19, 20}. Six à huit mois après plantation, au moment où le manioc se met à perdre des feuilles en quantité (surtout en saison sèche), les plantes adventices peuvent revenir, mais en général sans impact sérieux sur le rendement. Une végétation adventice excessive en fin de culture peut compliquer le travail de récolte, mais peut également protéger le sol de l'érosion si les pluies sont abondantes après la récolte.

Les pratiques culturales de «Produire plus avec moins» peuvent se révéler efficaces contre les plantes adventices. Si la lutte basée sur le mode de culture peut ne pas être 100 pour cent efficace, elle aide certainement à limiter la concurrence exercée par les plantes adventices, et donc à réduire la nécessité d'un désherbage mécanique ou chimique²¹. La lutte culturale commence par le choix de matériel végétal de bonne qualité, à partir de

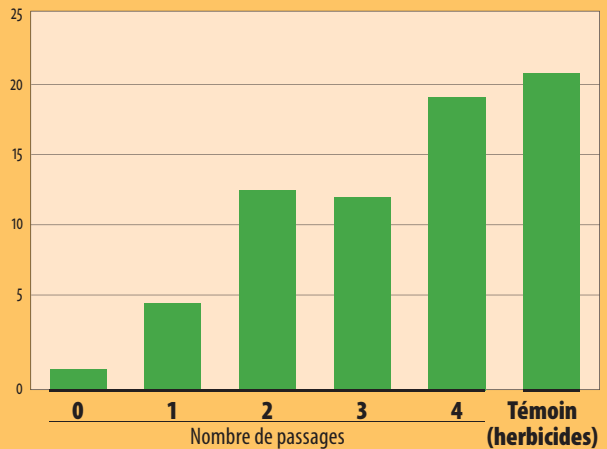
variétés présentant une croissance initiale vigoureuse, et une résistance ou une tolérance aux principaux ravageurs et pathogènes. Planter en rangs serrés et appliquer un engrais adéquat en quantités suffisantes, en bandelettes courtes à proximité des boutures plantées, peut stimuler la croissance initiale et la fermeture du couvert végétal. Une plantation en saison sèche sous goutte à goutte peut également encourager la croissance du manioc mais non celle des plantes adventices.

Pour prévenir l'apparition des plantes adventices, le sol doit être recouvert d'une couche épaisse de paillis, comme de la paille de riz ou des résidus de maïs. Une autre recommandation de «Produire plus avec moins» est de produire le manioc en intercalaire avec des plantes à croissance rapide, telles que melons, courges, citrouilles, haricots communs, arachides, soja, pois d'Angole et pois chiches. Toutes ces cultures étant à cycle court, elles peuvent être récoltées à 3 ou 4 mois, au moment où le couvert végétal du manioc se referme et où son ombre chasse les adventices. Si les intercalaires peuvent réduire le rendement du manioc, elles réduisent de façon sensible la croissance des plantes adventices, et représentent, par rapport à la pulvérisation d'herbicides, une alternative qui respecte l'environnement – et coûte moins cher. Une étude réalisée au Nigéria, portant sur les légumineuses de couverture dans un système mixte manioc-maïs, a montré une amélioration notable du rendement avec une culture de pois mascate pour lutter contre les plantes adventices¹⁸.

De nombreux petits producteurs de manioc ont recours à des mesures de lutte mécanique. Le plus souvent, les plantes adventices sont enlevées à la houe, en commençant environ 15 jours après la plantation, ou après l'émergence si les boutures de manioc ont été positionnées à l'horizontale. Des recherches menées en Colombie (figure 30) ont montré qu'avec un désherbage manuel au jour 15, 30, 60 et 120 après plantation, on arrive à un rendement de 18 tonnes/ha, soit seulement 8 pour cent en moins par rapport au rendement obtenu avec une lutte anti-adventices par herbicides. En l'absence de toute lutte contre les plantes adventices, le rendement chutait à seulement 1,4 tonnes/ha.

Il est également possible d'enfouir les plantes adventices poussant entre les rangées de manioc en y passant un cultivateur tracté par des bœufs ou des buffles, ou, si disponible, un tracteur muni de lames de cultivateur. Faute de machines agricoles et de traction animale, les agriculteurs thaïlandais utilisent un cultivateur tiré à la main, dit «charrue du pauvre». Au Viet Nam, les agriculteurs utilisent un dispositif constitué d'une roue avant de bicyclette avec son guidon, et d'une lame de cultivateur fixée en

Figure 30 Effets du désherbage manuel sur le rendement en racines fraîches 280 jours après plantation, Colombie (t/ha)



Source: Tableau annexe 6.1

arrière de la roue. Cette opération est en général suivie d'un désherbage manuel à la houe entre les plants de chaque rang.

Sur les exploitations plus importantes, ou quand la main-d'œuvre est trop rare ou trop chère, la lutte contre les adventices repose souvent sur les herbicides. De nombreux herbicides sont hautement toxiques, et, comme ils sont solubles dans l'eau et non biodégradables, ils peuvent être lessivés et polluer le sol et les eaux de surface. Il est nécessaire que les agriculteurs choisissent avec soin les herbicides à utiliser, en respectant les recommandations des spécialistes locaux de la protection phytosanitaire.

Les herbicides de pré-levée ne tuent pas les plantes adventices déjà en place. Au lieu de cela, ils empêchent les semences du sol de lever ou, au moins, ralentissent leur croissance. Les herbicides de pré-levée sont soit incorporés dans le sol avant la plantation, soit appliqués sur la surface du sol avec un pulvérisateur dorsal aussitôt après avoir planté. Les herbicides de pré-levée sélectifs par rapport au manioc peuvent être appliqués sur les boutures plantées verticalement sans incidence sur la production de rejets ou le rendement.

L'application d'herbicides de pré-levée peut maintenir un champ de manioc presque complètement exempt de plantes adventices jusqu'à 6 à 8 semaines après la plantation. Les agriculteurs peuvent utiliser un mélange de deux herbicides – un ciblant les plantes adventices à feuilles étroites, et l'autre les plantes adventices à feuilles larges. Il est recommandé de limiter le dosage sur un sol à texture légère, tandis qu'un sol lourd, tel qu'un sol argilo-limoneux, peut demander un dosage plus abondant. Il convient d'être prudent sur du manioc cultivé en association, les herbicides de pré-levée généralement utilisés pour le manioc étant susceptibles de nuire à la culture intercalaire.

Environ deux mois après la plantation, il est nécessaire de traiter à nouveau les plantes adventices pour limiter leur concurrence avec le manioc. Cela se fait d'habitude à la houe ou avec un cultivateur à traction animale ou motorisée, en fonction de la hauteur atteinte par les plants de manioc et de la densité du couvert végétal. Quand la plupart des plantes adventices sont des graminées herbacées, il est également possible d'appliquer un herbicide de post-levée sélectif, qui va les cibler sans incidence sur le manioc. Les herbicides de post-levée peuvent être utilisés jusqu'à 4-5 mois après plantation, au moment où commence la chute des feuilles inférieures. Ils ne doivent être appliqués que durant des journées sans vent, et avec une buse à déflecteur, afin d'éviter le contact des tiges ou des feuilles de manioc avec le produit.



Chapitre 7

Récolte, opérations après récolte et valeur ajoutée

Aliment pour le ménage, fourrage pour le bétail et matière première pour une large gamme de produits à valeur ajoutée, de la farine grossière aux gels d'amidon issus de technologies avancées, le manioc est vraiment une culture polyvalente.

Une des grandes qualités du manioc est de ne pas avoir de saison de récolte spécifique. Les racines tubéreuses peuvent être récoltées n'importe quand, de six mois à deux ans après la plantation. En période de pénurie alimentaire, on peut les récolter au fur et à mesure des besoins, souvent une plante – ou même une racine tubéreuse – à la fois. La récolte pour consommation humaine a en général lieu à 4-10 mois environ; pour les utilisations industrielles, attendre un peu plus permet normalement un rendement racine et amidon plus élevé. Après la récolte, les racines tubéreuses peuvent être consommées directement dans le ménage du paysan, données au bétail ou vendues comme matière première pour toute une gamme de produits à valeur ajoutée, de la farine grossière aux gels d'amidon issus de technologies avancées.

La racine tubéreuse n'est pas la seule partie utilisable de la plante. En Afrique, les jeunes feuilles cuites servent de légumes. Dans beaucoup de pays, le haut vert de la tige, feuilles et pétioles compris, est donné aux vaches et aux buffles, tandis que les feuilles vertes servent à nourrir les poules et les porcs. En Chine, en Thaïlande et au Viet Nam, les feuilles vertes servent à élever des vers à soie. Les souches servent de bois de chauffage, et les tiges ligneuses sont broyées pour fournir un substrat de culture pour champignons.



Récolte des racines tubéreuses et des parties aériennes

La récolte des racines tubéreuses se fait généralement en coupant la tige environ 20 cm au-dessus du sol, puis en déracinant complètement la plante en tirant sur la souche. Si le sol est trop dur ou les racines trop profondes, il peut être nécessaire de creuser autour des racines tubéreuses avec une houe, une bêche ou une pioche, pour enlever le sol en veillant à ne pas blesser les racines tubéreuses.

Pour récolter leur manioc, les agriculteurs thaï ont mis au point un outil de métal fixé à une perche et faisant levier. Il est bien adapté aux sols meubles ou à texture légère. Dans les sols plus lourds, qui en saison sèche peuvent devenir très durs, une lame de récolte tirée par un tracteur est parfois utilisée. Elle passe dans le sol juste sous les racines tubéreuses et le mouvement du tracteur pousse les grappes de racines tubéreuses à la surface. Les racines tubéreuses sont alors séparées de la souche et mis dans des paniers ou des sacs pour enlèvement.

La récolte de champs importants est fréquemment confiée à des intermédiaires qui emploient des équipes d'ouvriers et ont des camions pour le transport des racines tubéreuses au marché ou à l'usine. Au Viet Nam, le transport se fait souvent dans des paniers pendus aux deux extrémités

Transport de la récolte à la ferme. Les agriculteurs du monde entier ont produit plus de 280 millions de tonnes de racines tubéreuses fraîches en 2012.

d'une perche portée sur l'épaule; en RDP Lao, les agriculteurs utilisent des hottes en bambou. En Chine, la récolte est en général transportée dans des remorques tirées par des tracteurs à deux roues, tandis qu'en Thaïlande les agriculteurs utilisent souvent des camionnettes agricoles.

Une fois les racines tubéreuses récoltées, les parties aériennes sont souvent laissées sur le sol pour sécher, et ensuite enfouies pour aider à entretenir la fertilité du sol (voir chapitre 5, *Nutrition des cultures*). Cependant, les agriculteurs peuvent multiplier le volume total de feuillage disponible pour l'alimentation animale en coupant les parties aériennes tous les 3 mois ou tous les 2 mois et demi au cours du cycle de croissance de la plante. Après chaque coupe, le restant de la tige va refaire des rejets et une nouvelle récolte de feuilles sera disponible dans les 2 ou 3 mois. Pour une production maximale de feuillage, l'espacement des boutures doit être réduit à environ 60 x 60 cm.

Les jeunes feuilles ainsi collectées à intervalles réguliers au cours du cycle de croissance du manioc tendent à être plus riches en protéines et moins fibreuses que celles récoltées en même temps que les racines tubéreuses, à l'âge de 11 à 12 mois en principe. Ces feuilles plus jeunes sont mieux appréciées et constituent un fourrage de meilleure qualité. De même, la farine de feuilles faite uniquement à base de feuilles est plus riche en protéines et moins fibreuse que celle qui incorpore également des pétioles et des tiges vertes.

Au cours d'une expérimentation menée en Thaïlande, le rendement total en feuilles sèches était de 710 kg/ha si les feuilles étaient récoltées uniquement lors de la récolte des racines tubéreuses, à 11,5 mois après plantation (tableau annexe 7.1). Mais ce rendement passait à 2,6 tonnes si les feuilles étaient coupées à cinq reprises dans le même temps. Le rendement total en protéines foliaires augmentait également, de 170 kg/ha pour une seule coupe de feuilles à 650 kg/ha, comparable à une bonne récolte de soja^{1, 2}. Cependant, plus la fréquence des coupes de feuilles augmentait, plus le rendement racine final déclinait, passant d'environ 40 tonnes/ha pour une unique récolte de feuilles à moins de 25 tonnes pour cinq récoltes de feuilles². L'intérêt économique de ce système dépend du coût de la main-d'œuvre et des prix relatifs des racines tubéreuses fraîches et des feuilles séchées.

De plus, prélever 4 ou 5 fois en une année les parties aériennes de la plante revient à exporter de grandes quantités de nutriments – notamment de l'azote – à partir du champ, et la pratique ne saurait être durable sans l'application de volumes importants d'engrais minéraux pour préserver la fertilité du sol.

Utilisations et valeur ajoutée après récolte

Consommation alimentaire directe

Les jeunes feuilles de manioc sont régulièrement cueillies et préparées pour la consommation humaine dans divers pays africains, notamment le Cameroun, la République démocratique du Congo, le Libéria et la République unie de Tanzanie. Les feuilles tendres contiennent environ 25 pour cent de protéines en poids sec, et sont une source appréciable de fer, de calcium, et de vitamines A et C³. La teneur en acides aminés essentiels de la protéine de feuilles de manioc est comparable à celle de la protéine d'œuf de poule. La valeur marchande des feuilles de manioc, là



où elles sont consommées, est souvent supérieure à celle des racines tubéreuses, de sorte que leur vente contribue de façon substantielle au revenu des ménages ruraux⁴.

La préparation des feuilles de manioc commence par la séparation des pétioles durs, puis le broyage au mortier des feuilles et des jeunes pétioles, et la cuisson à ébullition de la pâte ainsi obtenue durant 30 à 60 minutes. Ce procédé élimine les substances cyanogénétiques et rend les feuilles consommables sans risque. Cependant, l'ébullition prolongée se traduit également par une déperdition considérable en vitamine C⁵.

Les racines de manioc sont hautement périssables et doivent être préparées dans les quelques jours suivant la récolte. Dans beaucoup d'endroits du Brésil, les racines fraîches sont râpées, puis pressées pour éliminer le liquide où se concentre l'essentiel de cyanure contenu dans la racine. La pâte semi-humide est alors chauffée pour produire la *farinha*, une farine grossière qui sera étalée sur de nombreuses préparations culinaires brésiliennes. En Afrique, la pâte obtenue par râpage est d'abord fermentée avant d'être rôtie sur une plaque chaude pour produire une sorte de semoule appelée *gari*, ou bien elle est séchée au soleil et moulue, la farine obtenue étant mêlée à de l'eau pour obtenir une pâte consistante appelée *foufou*.

Au Bénin et en Côte d'Ivoire, on utilise la cuisson vapeur pour arriver à un autre produit semblable à de la semoule, appelé *attiéké*. En République démocratique du Congo, la pulpe de manioc, après pilonnage, est enveloppée dans des feuilles de bananier et cuite plusieurs heures à la vapeur,

En Afrique centrale, les jeunes feuilles tendres du manioc sont régulièrement cueillies et préparées, formant un légume riche en protéines.

donnant des pains ou des bâtons appelés *chickwangué* ou *kwanga*, qui sont servis avec des soupes, des ragoûts ou des sauces.

En Indonésie, les racines tubéreuses sont épluchées, coupées en tranches dans la longueur, et séchées au soleil. Les morceaux séchés, appelés *gaplek*, sont alors entreposés ou vendus au marché. Pour être consommé, le *gaplek* est pilonné et réduit en farine, qui est délayée dans une petite quantité d'eau pour produire de petits granules de la taille d'un grain de riz. Ceux-ci, appelés *tiwul*, sont cuits à la vapeur, soit séparément soit en même temps que du riz, et servent de «riz de secours» quand il n'y a pas assez de riz pour nourrir la famille. Un autre aliment de grignotage populaire en Indonésie est appelé le *krepek*. Il est préparé en lavant des racines tubéreuses épluchées et en les coupant en tranches fines avec une trancheuse à main ou électrique. Les chips sont passées à l'eau froide, égouttées puis frites à l'huile bouillante pendant quelques minutes. Après cuisson, elles sont enrobées d'un mélange d'épices plus ou moins pimentées et vendues en petits sachets plastique par des marchands ambulants ou sur les marchés locaux.

La *farine de manioc de haute qualité* (HQCF) est de la farine de manioc qui n'a pas subi de fermentation et peut être utilisée en remplacement de la farine de blé et autres sources d'amidon en boulangerie et en confiserie. La production de HQCF à partir des racines tubéreuses se fait par épluchage, lavage, râpage, pressage, désagrégation, tamisage, séchage, mouture, blutage, conditionnement et entreposage.

Malgré l'émergence de marchés pour la farine de manioc de haute qualité en Afrique sub-saharienne, le défi consiste à faire la liaison avec les très nombreux petits agriculteurs dont la production est très variable en qualité. Là où existe une filière manioc relativement bien implantée, par exemple au Nigéria et au Ghana, la mise en œuvre de séchoirs artificiels avec un débit de 1 à 3 tonnes/jour de HQCF pourrait aider à positionner des capacités de transformation intermédiaire à proximité de la production de racines fraîches. Ces transformateurs pourraient également servir de semi-grossistes, fournir des services de collecte et de transport, et assurer une qualité acceptable aux produits destinés aux marchés de consommation finale⁶.

L'*amidon natif* est extrait des racines tubéreuses dans certains pays, essentiellement en Asie, pour incorporation dans des produits alimentaires. S'il a été extrait dans les règles de l'art, l'amidon de manioc est d'un blanc pur, avec une faible teneur en lipides et en protéines et dépourvu de goût de céréale, ce qui est souhaitable pour nombre de produits alimentaires⁷. L'extraction de l'amidon peut se faire à n'importe quelle échelle – depuis l'unité de production artisanale dans une cour jusqu'à l'usine à grande échelle, entièrement mécanisée. Il existe encore au Cambodge, en Inde, en Indonésie et en Viet Nam de nombreuses unités artisanales d'extraction d'amidon. Dans ce type de transformation, les racines tubéreuses de manioc sont épluchées à la main, lavées, râpées et mélangées à de l'eau. L'eau chargée en amidon est filtrée dans un tamis textile pour éliminer

les fibres, puis mise à reposer dans des réservoirs ou à circuler dans des canalisations pour laisser déposer l'amidon en suspension. Une fois l'eau de surface éliminée par siphonage, l'amidon humide est récupéré, broyé et étalé sur des tapis de bambou ou des sols de ciment pour sécher au soleil. Dans ces systèmes artisanaux, la productivité par ouvrier varie de 50 à 60 kg/j d'amidon, tandis que la transformation semi-mécanisée peut aller jusqu'à 10 tonnes/j⁸.

Dans certaines régions de la Colombie, l'amidon humide reste à fermenter durant quelques jours avant d'être séché au soleil. Il en résulte l'amidon acide, ingrédient principal de préparations boulangères appelées *pan de bono*. Dans l'État indien du Tamil Nadu, l'amidon humide est collecté, broyé puis secoué sur une toile de chanvre pour former de petites boulettes d'amidon, qui sont tamisées puis cuites quelques minutes à la vapeur, donnant des perles de tapioca. En Indonésie, un mélange d'amidon de manioc avec de la pâte de crevettes, un colorant alimentaire et de l'eau subit une extrusion avant d'être débité à la main en tranches fines. Après une cuisson vapeur sur des tamis en bambou pendant 15 minutes, et un séchage au soleil sur le sol d'une cour intérieure pendant une demi-journée, on obtient des chips dures appelées *krupuk*. Passé à la friture, le *krupuk* gonfle pour donner des pétales de crevettes croquants et tendres, un amuse-gueule apprécié qui figure à presque tous les repas.

L'extraction de l'amidon donne toutes sortes de sous-produits utiles. Les épiluchures des racines tubéreuses peuvent être recyclées comme engrais et comme fourrage. Les fibres éliminées, après séchage, sont vendues à l'industrie minière comme agent de floculation, tandis que l'amidon à faible densité non récupéré par sédimentation sert d'aliment pour porcs⁸.

Utilisations industrielles

Dans certains pays comme la Thaïlande et la Chine, une bonne partie de l'amidon natif de manioc subit des transformations supplémentaires pour donner toute une série d'amidons modifiés, qui sont incorporés dans des produits alimentaires ou servent de matière première pour la production d'édulcorants, de fructose, d'alcool et de monoglutamate de sodium. Au même titre que la farine de manioc de haute qualité, l'amidon modifié est également utilisé dans la fabrication de contreplaqué, de papier et de produits textiles.

En Chine et en Thaïlande, des usines entièrement mécanisées procèdent au lavage, à la coupe et au râpage des racines tubéreuses de manioc, après quoi la pulpe est mélangée plusieurs fois à de l'eau pour en extraire les granules d'amidon. Le «lait d'amidon» – l'eau contenant les granules en suspension – est alors séparé de la pulpe, puis les granules eux-mêmes séparés de l'eau par sédimentation ou centrifugation. À cette étape, l'amidon doit être débarrassé de son humidité par séchage solaire ou artificiel, avant d'être moulu, bluté et conditionné en sacs de 50 kg ou

de 1 tonne. Une usine d'extraction d'amidon moderne et complètement mécanisée peut atteindre un débit journalier de 300 tonnes⁸.

Par ailleurs, le manioc est de plus en plus utilisé pour la production d'alcool carburant ou éthanol. Les racines, fraîches ou sous forme de cossettes séchées, sont nettoyées, lavées, broyées et mélangées à de l'eau, chauffées avec des enzymes liquéfiantes, puis refroidies avec encore d'autres enzymes qui hydrolysent l'amidon en glucides. Ceux-ci, fermentés avec des levures, produisent de l'éthanol, qui est concentré par distillation, puis déshydraté sur tamis moléculaire afin d'obtenir un éthanol anhydre à 99,5 pour cent. Celui-ci peut être mélangé à de l'essence pour obtenir de l'«essence-alcool», titrant 10 pour cent, 20 pour cent ou même 85 pour cent d'éthanol. Des usines d'essence-alcool à base de manioc sont actuellement en opération, ou en construction, au Cambodge, en Chine, en Colombie, en Thaïlande et au Viet Nam. La conversion en éthanol est appelée à devenir une des principales utilisations des racines fraîches et des cossettes séchées de manioc, notamment en Chine⁹.

L'utilisation industrielle du manioc pourrait se développer de manière spectaculaire suite à deux mutations récentes de la plante⁷. Le premier mutant, obtenu artificiellement, a des granules d'amidon de très petites dimensions, dont l'hydrolyse est plus rapide que celle des amidons des principales autres sources – d'où une réduction du coût de production d'éthanol ou d'édulcorants. Le second, résultant d'une mutation spontanée, produit un amidon «cireux» dépourvu d'amylose, qui présente d'importants avantages pour l'industrie des produits alimentaires surgelés. Les gels à base de cet amidon ont une excellente rétention d'eau à la décongélation, qualité très appréciée dans l'industrie alimentaire.

Alimentation animale

Tant les racines tubéreuses que les feuilles des plants de manioc peuvent être utilisés pour nourrir les animaux de la ferme, ou comme matières premières pour la production industrielle d'aliments du bétail. Cependant, en raison de leur teneur en cyanure, les racines tubéreuses et feuillages frais ne peuvent être donnés aux animaux qu'en quantités très limitées. Les racines fraîches sont débités en copeaux ou en tranches, tandis que les feuilles sont hachées menu. Avant d'être distribués aux animaux, les fourrages de manioc sont étalés par terre durant une nuit pour laisser l'évaporation éliminer une partie du cyanure. Les copeaux de racines et le hachis de feuilles peuvent également être séchés au soleil, puis, arrivés à une teneur en eau de 12 à 14 pour cent, entreposés pour utilisation ultérieure. Ou bien encore, les morceaux de racines et de feuilles peuvent être entassés bien serré dans des sacs plastiques ou des récipients étanches à l'air, pour produire un ensilage par fermentation (*voir p. 96*) Tant le séchage solaire que l'ensilage éliminent l'essentiel du cyanure, de sorte que ces produits peuvent être consommés sans danger par les porcs, le bétail, les buffles et les poules.

Les cossettes de manioc séchées sont produites après un lavage, ou tout au moins un nettoyage sommaire, des racines dans un tambour rotatif qui enlève la terre et une partie de la peau. Les racines sont ensuite débitées en cossettes et étalées sur un sol en ciment pour sécher au soleil, avec un râtelage régulier pour les retourner et assurer un séchage uniforme. Normalement le séchage au soleil des cossettes jusqu'à une teneur en eau de 12 à 14 pour cent peut prendre jusqu'à quatre jours.

Au Viet Nam, la préparation des racines avant séchage au soleil dans des cours ou le long des routes consiste souvent en un épluchage et un tranchage manuel sommaires. En Thaïlande, de nombreux agriculteurs transportent leur manioc vers des sécheries, où les racines sont d'abord déversées dans la trémie d'une déchiqueteuse à moteur diesel. Les cossettes sont ensuite étalées sur de vastes aires de ciment pour sécher au soleil, régulièrement retournées par un véhicule muni d'un grand râteau. Après deux ou trois jours de séchage, les cossettes sont entassées par une niveleuse et chargées en vrac sur des camions. Une partie subit une transformation supplémentaire en pellets, essentiellement pour l'exportation.

Malgré la complexité supplémentaire que représente la nécessité de déchiqueter et de sécher rapidement les racines tubéreuses, la collaboration entre les petits producteurs asiatiques et leurs partenaires commerciaux pour alimenter en cossettes de manioc l'industrie des aliments du bétail, tournée vers l'exportation, a démontré qu'à condition de disposer d'infrastructures adéquates, le produit des petites exploitations peut être séché localement et arriver sur les filières commerciales avec un taux de déperdition relativement faible¹⁰.

Les cossettes sont en général vendues telles quelles, ou moulues en poudre pour mélangeage avec d'autres ingrédients – tels que tourteau de soja, soja non dégraissé, farine de poisson ou autres sources de protéines – et fabrication d'un aliment du bétail nutritif, auquel seront en général ajoutés de la méthionine, des vitamines et des éléments minéraux. Avec un régime alimentaire équilibré en termes d'apports énergétiques et protéiques, les performances des porcs sont très semblables à celles obtenues avec une alimentation à base de maïs ou de brisures de riz. La farine de manioc est très digeste et naturellement contaminée par des lactobactéries et des levures, améliorant la flore microbienne du système digestif des animaux. À faible dose, le cyanure d'hydrogène présent dans le manioc augmente l'efficacité d'une enzyme, la lactoperoxydase, un antibiotique naturel qui détruit les mycotoxines dans le corps et le lait de l'animal. Les animaux élevés au manioc sont généralement en bonne santé, résistent bien aux maladies, et ont un faible taux de mortalité. Ils ont besoin de peu ou pas du tout d'antibiotiques dans leur alimentation¹¹.

La farine de feuille de manioc séchée (également appelée «foin de manioc») s'obtient en général par la coupe des parties aériennes à des intervalles de 2,5 mois à 3 mois au cours du cycle de croissance du manioc. Une farine de feuilles de bonne qualité se compose essentiellement de

feuilles et de très peu de jeunes tiges, récoltées sur des plantes ou des rejets de moins de trois mois. Après récolte, le feuillage est haché et étalé sur une aire en ciment pour séchage au soleil. La teneur en eau doit baisser de 70 pour cent environ à 12-14 pour cent pour permettre la mouture et l'entreposage du feuillage.

En raison de sa forte teneur en fibres, la farine de feuilles de manioc est surtout destinée aux ruminants. Des recherches ont montré qu'une supplémentation de 1 à 2 kg/j/animal de foin de manioc augmente la production des vaches laitières et fait monter la teneur du lait en thiocyanate, avec la possibilité d'effets positifs sur la qualité du lait et son aptitude à se conserver. Par ailleurs, la forte teneur en tanins de la farine de feuilles limite la prolifération de nématodes gastro-intestinaux, suggérant une activité anti-helminthique de ce produit¹². Pour les non-ruminants, il vaut mieux limiter l'apport en farine de feuilles de manioc à 6-8 pour cent de l'aliment total pour les porcs en croissance et à moins de 6 pour cent pour les poulets de chair. Pour les poulets, l'intérêt de la farine de feuilles de manioc réside dans son action comme pigment naturel – sa teneur élevée en pigments xanthophylliens (500-600 mg/kg) améliore la pigmentation de la peau des poulets de chair ainsi que celle des jaunes d'œuf¹³.

L'ensilage de feuilles est produit en mélangeant les feuilles hachées avec 0,5 pour cent de sel et 5 à 10 pour cent de farine de racine de manioc ou de son de riz, avant de placer le tout dans de grands sacs plastique ou des récipients étanches à l'air. Les sacs sont scellés après un tassement des feuilles pour en expulser tout l'air. Dans ce milieu anaérobique, les feuilles se mettent à fermenter, d'où une chute rapide du pH, ainsi que de la teneur en cyanure. Au bout d'environ 90 jours de fermentation, l'ensilage est prêt pour alimenter les animaux, en général des porcs et des bovins. L'ensilage peut se garder sans détérioration dans des sacs rigoureusement étanches pendant au moins cinq mois. L'ensilage de feuilles a une teneur d'environ 21 pour cent de protéines brutes et 12 pour cent de fibres brutes. Sa teneur en cyanure d'hydrogène n'est plus que de 200 ppm, contre plus de 700 ppm avant fermentation. Au cours d'expérimentations menées au Viet Nam, l'adjonction de 15 pour cent d'ensilage de feuilles de manioc à la ration de porcs a amélioré leur prise de poids quotidienne, tout en réduisant de 25 pour cent le coût de leur alimentation¹⁴.



Chapitre 8

La marche à suivre

Les pouvoirs publics doivent encourager la participation des petits exploitants à un programme de développement durable du manioc et soutenir les approches de recherche et de vulgarisation qui «laissent les agriculteurs décider».

Le présent guide dresse un panorama de pratiques «Produire plus avec moins» reposant sur des bases scientifiques, qui contribueront à l'intensification durable de la production du manioc. Elles constituent la base de systèmes de production agricole compétitifs et rentables, qui stimulent la productivité par unité de facteurs de production, tout en protégeant et en alimentant l'agroécosystème.

Cependant, l'impact de ces recommandations sera quasiment nul si elles ne sont pas intégrées aux programmes de développement agricole à grande échelle et si elles ne sont pas adoptées par la plupart des agriculteurs. Pour que cela se produise, les politiques publiques devront encourager l'ensemble des parties prenantes, et en particulier les petits producteurs, à s'impliquer dans une dynamique de développement durable du manioc. Le succès de l'adoption de l'approche «Produire plus avec moins» dépendra également de la compréhension que pourront avoir les agriculteurs des fonctionnalités des agroécosystèmes, et de leur capacité à faire les bons choix technologiques. Pour cela, il sera nécessaire de renforcer de façon substantielle les services de vulgarisation, et d'introduire des approches innovantes en matière de transfert de connaissances et de technologies⁴.

Politiques d'intensification durable

Les petits agriculteurs pratiquent l'agriculture et l'élevage essentiellement pour nourrir leur famille et retirer de leurs ventes un revenu suffisant pour couvrir des dépenses comme l'éducation ou les soins médicaux. Leur horizon prévisionnel est souvent restreint, limité à la satisfaction de besoins immédiats, plutôt qu'à assurer la durabilité à long terme de l'entreprise qu'est leur exploitation. Il est nécessaire que les agriculteurs prennent conscience des dommages infligés à la base de ressources naturelles de l'agriculture par certaines de leurs pratiques actuelles, compromettant de ce fait leur productivité, leur revenu, leurs moyens d'existence, et leur sécurité alimentaire des années à venir.

À l'échelon local, les impacts négatifs d'une production agricole non durable incluent l'érosion, la compaction et l'appauvrissement en nutriments des sols, la disparition des habitats naturels et des ennemis naturels des parasites et pathogènes, et les risques sanitaires encourus par les agriculteurs du fait d'une utilisation excessive des pesticides. Les impacts d'autres pratiques agricoles se font sentir à l'extérieur de l'exploitation et, s'ils ne touchent pas directement les agriculteurs, n'en restent pas moins sérieusement préoccupants pour l'ensemble du corps social. Ce qu'on appelle des «externalités négatives» vont de la pollution des cours d'eau par les nitrates et des inondations des zones aval, à une nourriture assaisonnée aux résidus de pesticides et aux émissions de gaz à effet de serre responsables du changement climatique.

Comme la plupart des gens, les agriculteurs sont naturellement réticents à consacrer du temps et de l'argent à résoudre des problèmes qui ne les touchent pas directement. Le défi auquel sont donc confrontés les pays producteurs de manioc est la mise en place de politiques et d'un environnement institutionnel propres à faciliter une intensification durable de la production du manioc, tout en développant les opportunités commerciales ouvertes aux petits producteurs de manioc.

La première tâche des décideurs est une analyse de la situation actuelle du sous-secteur du manioc. Dans la plupart des pays, la production de manioc reste une activité à forte intensité de main-d'œuvre, essentiellement tournée vers la subsistance, avec une faible intensité technologique, des déperditions importantes à la production et en post-récolte, et largement isolée des marchés.

Transformer ce sous-secteur de façon à assurer la sécurité alimentaire, la génération de revenu et la diversification économique suppose l'identification des filières les plus rentables et des préférences du marché, l'adoption de stratégies de réduction des fluctuations de prix côté demande, et l'existence, côté offre, d'options susceptibles d'améliorer la qualité, le volume et la fiabilité de la production. Améliorer l'accès aux marchés et la compétitivité supposera une coordination tant verticale qu'horizontale, une recherche stratégique orientée par le marché, et des mécanismes de stimulation de l'innovation et de diffusion des connaissances, y compris du savoir-faire pratique des agriculteurs. Avec l'accent mis par les décideurs sur des niveaux de plus en plus élevés de valeur ajoutée, il sera nécessaire de consentir un effort important à l'intégration des petits producteurs à la filière commerciale du manioc.

S'il ne saurait y avoir un jeu de recommandations en «prêt-à-porter», il est possible d'énoncer les attributs essentiels que doivent avoir les politiques et les institutions visant à une intensification durable de l'activité des petits producteurs de manioc.

Promotion des approches et pratiques culturelles «Produire plus avec moins». Les planteurs de manioc doivent être incités à abandonner progressivement la pratique de l'écobuage ou débroussaillage par le feu, et à cultiver des superficies plus réduites de terres planes et fertiles à proximité de leurs habitations, des transports et des marchés. Produire en continu sur une même superficie va contribuer à réduire le défrichement des forêts, la combustion annuelle de matières végétales (à l'origine d'importantes émissions de dioxyde de carbone dans l'atmosphère), et la pénibilité du transport de lourdes charges de racines tubéreuses de manioc sur de longues distances. Les terrains en pente pourront être rendus à la forêt, ou consacrés à des cultures pérennes, arbres fruitiers, hévéa ou caféier.

Cependant, pour être durables, les systèmes intensifs de production de manioc ont besoin d'utiliser du matériel végétal de bonne qualité et de recourir à des approches écosystémiques de la gestion de la fertilité du

sol et de la lutte contre les insectes ravageurs, les maladies et les plantes adventices. Dans de nombreux pays, des pratiques essentielles de «Produire plus avec moins» comme le labour réduit ou zéro, les cultures de couverture et le paillage, et les cultures mixtes, ont déjà été intégrées à des systèmes de production de manioc à faible intensité d'intrants. Le rôle joué par les services de vulgarisation et de conseil – tant émanant du secteur public et du secteur privé que d'ONG – dans l'amélioration de ces pratiques, en assurant un accès aux connaissances extérieures pertinentes et en les connectant aux trésors de connaissances détenus par les petits agriculteurs eux-mêmes, sera essentiel. Des approches participatives de la vulgarisation seront nécessaires pour aider les agriculteurs à tester et à adapter les nouvelles technologies. Les nouveaux moyens de communication comme la radio, la téléphonie mobile ou l'internet pourront contribuer à réduire les coûts d'interface de la vulgarisation.

Les producteurs de manioc pourront également avoir besoin d'incitations – par exemple, être payés pour les services environnementaux rendus – pour passer à de nouvelles pratiques culturales et à la gestion de services écosystémiques allant au-delà de la production alimentaire, tels que la conservation des sols et la protection de la biodiversité. L'adoption de la lutte intégrée peut être facilitée par l'abandon des «subventions perverses» sur les pesticides synthétiques, la réglementation de leur vente, et la mise en place d'incitations à la production locale de biopesticides et d'insectariums pour l'élevage des prédateurs naturels des ravageurs.

Faciliter les progrès de la filière d'approvisionnement en intrants. Le revenu disponible de nombreux ménages de petits agriculteurs est trop faible pour leur permettre la transition d'un système à faible niveau d'intrants et de production à un système de production de manioc intensif. Il est donc nécessaire de prendre des mesures pour mettre le matériel végétal amélioré, les engrais minéraux et autres intrants à la portée des petits agriculteurs. Les gouvernements doivent encourager l'investissement privé dans la production d'intrants, et mettre en place des lignes de crédit permettant aux fournisseurs privés d'organiser des systèmes d'achat groupé assurant que les intrants seront disponibles à temps pour la plantation du manioc. Si nécessaire, la qualité des intrants doit être régulièrement contrôlée pour prévenir la vente de contrefaçons. Afin d'éviter une utilisation inappropriée, un gaspillage ou un impact environnemental négatif des engrais minéraux, leur distribution doit être accompagnée par une action de formation et des services de vulgarisation.

Les institutions qui promeuvent la participation – groupements agriculteurs, organisations communautaires et ONG de développement – peuvent aussi contribuer à réduire les coûts de transaction liés à l'accès aux intrants du commerce, tandis que des systèmes de bons («subventions ciblées») pourraient être introduits pour permettre aux petits paysans de se procurer de l'engrais et du matériel végétal à un prix inférieur à celui du marché. Si les petits agriculteurs sont favorables aux subventions,

celles-ci peuvent créer une dépendance; dans le long terme, une source de financement plus durable devra être recherchée du côté des crédits rotatifs collectifs. Une fois que les producteurs de manioc auront constaté par eux-mêmes l'amélioration de leur rendement et de leur revenu grâce à l'utilisation d'engrais et de variétés améliorées, ils seront désireux d'en acheter davantage – et disposeront des moyens financiers nécessaires. Il en résultera une stimulation de la concurrence, qui pèse à la baisse sur les prix des intrants et les rend meilleur marché.

S'attaquer aux problèmes de ravageurs et de maladies avec des variétés résistantes et de strictes règles de quarantaine. Au fur et à mesure qu'elle s'intensifie, la production en continu risque d'entraîner une recrudescence des ravageurs et des maladies, qui constituent déjà une des contraintes les plus sérieuses à l'accroissement de la productivité. Plutôt que de se reposer sur les pesticides chimiques, les programmes d'intensification de la production du manioc doivent promouvoir la lutte intégrée, qui fait appel aux cultivars résistants, aux agents de lutte biologique, aux biopesticides et à la gestion des habitats pour défendre les cultures, préserver la biodiversité, et protéger l'environnement et la santé des populations. Le germplasma et les variétés mis en place doivent toujours être résistants aux populations de pathogènes prédominantes dans chaque pays, agro-écozone et système de production agricole spécifique. Faute d'un système semencier organisé, du matériel végétal de qualité doit être mis à disposition des producteurs au moyen de systèmes communautaires de multiplication et de distribution.

Avec l'intensification des mouvements et échanges transfrontières de germplasma de manioc, il sera nécessaire de mettre en œuvre des mesures phytosanitaires améliorées pour veiller à ce que le matériel végétal soit exempt de ravageurs et de maladies. Des méthodes sensibles et fiables de détection et de diagnostic, visant à bloquer la circulation des organismes pathogènes, sont essentielles pour améliorer la sécurité fournie par la quarantaine et pour mettre les réglementations phytosanitaires de chaque pays au niveau des conventions et protocoles gouvernant le commerce international. Les transferts de germplasma de manioc doivent être soigneusement préparés, en consultation avec les autorités administrant la quarantaine, et se faire en quantités telles qu'elles permettent les tests nécessaires. Les seules formes sous lesquelles le germplasma de manioc peut être autorisé à voyager sont les graines, le matériel végétal produit *in vitro* et testé sans pathogènes, et les boutures obtenues en milieu fermé à partir de matériel végétal régénéré *in vitro* testé sans pathogènes².

Soutenir la recherche et le développement technologique portant sur le manioc. La recherche agronomique appliquée peut faciliter l'évolution des systèmes de production du manioc en contribuant à mettre au point des variétés résistantes aux maladies et aux ravageurs et présentant des caractères souhaitables d'un point de vue commercial, des technologies d'irrigation économes en eau, et un machinisme agricole adapté, surtout

pour la préparation du sol, la plantation et la récolte. Les politiques mises en œuvre doivent promouvoir les partenariats public-privé pour le développement technologique, et les connecter aux filières commerciales de façon à faciliter l'application en vraie grandeur des innovations réussies. C'est ainsi qu'en Thaïlande, l'Institut de développement du tapioca, qui a été créé sur financement public mais fonctionne comme un organisme indépendant à but non lucratif, travaille avec le CIAT et l'Université de Kasetsart à la sélection de variétés de manioc à amidon «cireux» convenant aux conditions de culture du pays. Le Consortium latino-américain et caraïbe de soutien à la recherche et au développement sur le manioc (*Consortio Latino Americano y del Caribe de Apoyo a la Investigación y Desarrollo de la Yuca*, CLAYUCA) est un réseau régional, regroupant des entités publiques et privées, qui planifie et coordonne la recherche dans le sous-secteur du manioc. Le CLAYUCA agit en facilitateur d'alliances public/privé, pour susciter l'intensification durable de la production de manioc et améliorer l'accès au matériel génétique de qualité élite. Parmi ses résultats récents, on citera une technologie à petite échelle et faible coût, facile à utiliser et à gérer par des petits agriculteurs, pour la production locale d'éthanol à partir du manioc.

Améliorer les infrastructures rurales. De bonnes infrastructures rurales sont essentielles pour un fonctionnement sans heurts de la filière manioc, surtout si on prend en compte la nécessité de traiter les racines tubéreuses dans les 48 heures suivant la récolte. Dans de nombreux pays, le mauvais état du réseau routier rural non seulement limite l'accès des agriculteurs aux intrants du commerce et aux services financiers – il restreint aussi sévèrement leur accès au marché. Le manque d'infrastructures d'entreposage et de transformation entraîne de lourdes déperditions post-récolte, compromet le développement de la commercialisation et décourage l'ensemble des parties prenantes de la filière de produire et de vendre des produits différenciés en qualité, avec des caractéristiques répondant aux attentes du marché.

L'investissement dans le réseau routier rural et dans des installations d'entreposage et de transformation au niveau des zones de production aidera les petits producteurs et transformateurs de manioc à s'intégrer aux marchés porteurs pour des produits intermédiaires à base de manioc, avec une durée de vie plus longue. Cet investissement contribuera également à stabiliser les prix, à réduire les déperditions post-récolte et à faire baisser les coûts de transaction. Des installations de traitement à l'échelon communautaire, disposant d'équipement et de technologies appropriés, pourraient produire de la farine de manioc de haute qualité, du gruau et des cossettes pour les activités industrielles installées en milieu urbain et rural, permettant aux producteurs de manioc de conserver une part plus importante de la valeur ajoutée. Il est nécessaire d'élaborer des modèles pour des activités de collecte et de tri qualité à l'échelon communautaire, permettant d'assurer un approvisionnement fiable de marchés urbains

potentiellement importants. Le séchage mécanique utilisant des carburants fossiles s'étant fréquemment révélé non rentable dans les zones rurales isolées, il convient d'envisager une alimentation en énergie associant énergie solaire, carburants fossiles et biomasse.

Développer les filières et les marchés dans une optique de croissance de la demande et d'amélioration des revenus des producteurs. Au départ, ces marchés seront les marchés locaux de vente de racines tubéreuses et feuilles fraîches, ou la petite production de farine fermentée ou d'amidon de faible qualité. Au fur et à mesure que les marchés se développent et que la demande s'accroît, les agriculteurs sont incités à produire davantage et donc à intensifier le mode de production. Une offre plus abondante de matière première donne aux transformateurs une bonne raison pour augmenter leur capacité et se moderniser, d'où une stimulation accrue de la production, dans un cercle vertueux de développement rural. Des exemples de développement réussi des marchés sont la croissance rapide, en Thaïlande, de la production de cossettes de manioc séchées, et, plus récemment, d'alcool carburant pour la consommation nationale et l'exportation.

Les gouvernements doivent encourager l'investissement privé dans les usines de transformation de manioc, et susciter des associations rassemblant producteurs agricoles et transformateurs, telles que L'Association thaï pour l'amidon de tapioca et la Corporation nigérienne de développement du commerce et des marchés du manioc. Les parties prenantes de l'industrie du manioc pourront avoir besoin d'assistance pour la création d'associations transversales ou spécifiques d'une activité, susceptibles d'aider des entreprises de taille différente à travailler ensemble. Une association professionnelle active est à même de susciter la coopération entre les participants de la filière, de promouvoir des critères de qualité normalisés, de diffuser des informations de marché, et de pratiquer le plaidoyer auprès des gouvernements en faveur du développement du sous-secteur du manioc. Des regroupements industriels – associant des groupes ou entreprises privés du sous-secteur manioc qui raisonnent en termes de marché – peuvent se constituer autour d'association de ce type pour déterminer les mesures et activités nécessaires à l'amélioration de la productivité et de l'efficacité d'ensemble de la filière.

Les planificateurs doivent faire un lien entre le soutien au sous-secteur manioc et la politique de développement ciblant les activités industrielles connexes. Par exemple, le développement du manioc comme source d'aliment du bétail doit exploiter les complémentarités avec les entreprises d'élevage bovin et avicole; l'accroissement de la production de farine de manioc de haute qualité n'ira pas sans un renforcement des liens avec le secteur de la boulangerie.

Réduire l'exposition des agriculteurs à la volatilité des prix. Pour ceux qui dépendent principalement, pour leurs moyens d'existence, de

l'agriculture, la volatilité des prix de leur produit se traduit par un revenu erratique et des risques accrus. La garantie d'un prix raisonnable pour leur produit incitera les agriculteurs à investir dans la production. Une première approche est celle des subventions, comme le système national d'«engagement» du Gouvernement thaïlandais, qui a budgété quelque 1,43 milliards de dollars EU en 2012 pour l'achat de racines aux producteurs de manioc³. Parmi les approches plus durables figure la culture sous contrat, qui permet de réduire les coûts de transaction de l'approvisionnement en intrants et de la commercialisation du produit grâce à l'agrégation de petites superficies agricoles. Les grands transformateurs non seulement paient aux agriculteurs un prix convenu à l'avance, mais encore leur fournissent des services techniques, en échange de l'engagement des producteurs de leur livrer la totalité ou une grande partie de leur récolte. C'est ainsi qu'aux Philippines, un des principaux industriels de l'agro-alimentaire propose des contrats d'approvisionnement aux coopératives agricoles capables de regrouper un minimum de 20 ha pour les consacrer à la production de manioc. Il leur fournit une assistance technique au démarrage, un prix planché garanti, et un accord de commercialisation portant sur la qualité, les volumes et un calendrier de livraison⁴.

Les gouvernements de pays en voie de développement doivent promouvoir un meilleur accès à l'assurance récolte, qui, si elle n'élimine pas le risque, modère néanmoins les pertes provoquées par les intempéries et autres causes similaires, améliorant la capacité des agriculteurs de supporter les risques et les encourageant à investir dans la production. Bien que très répandue dans les économies développées, l'assurance récolte est très peu pratiquée dans les pays en voie de développement et cela vaut encore plus pour les cultures de petits agriculteurs, telles que le manioc.

Laisser les agriculteurs décider

Il sera nécessaire de convaincre les agriculteurs que les pratiques de «Produire plus avec moins» sont un progrès par rapport à celles qu'ils observent aujourd'hui, et – ce qui est très important – qu'elles présentent des avantages économiques à court terme. Les pratiques préconisées ne sont pas toutes équivalentes en termes d'utilité, ou universellement applicables. L'intérêt d'un agriculteur ne va qu'aux pratiques qui s'intègrent bien à son système de production agricole et à sa façon de cultiver. Ce n'est pas parce qu'une pratique aura bien réussi lors d'essais en station d'expérimentation qu'elle aura des résultats même approchants dans le contexte agricole local.

La plupart des pratiques présentent des avantages et des inconvénients, et il est donc nécessaire d'arbitrer entre elles. Cet arbitrage sera effectué au mieux par les agriculteurs eux-mêmes, plutôt que par des chercheurs ou des vulgarisateurs. C'est pourquoi il importe que les producteurs de manioc soient associés à tous les stades de la recherche agronomique et de la mise

au point de technologies, et habilités à tester et valider dans leurs propres champs les pratiques supposées améliorer la durabilité de la production du manioc. Le simple fait de passer d'un paradigme d'«enseignement» à un paradigme d'«apprentissage» a produit deux techniques, la recherche participative avec les agriculteurs (*farmer participatory research*, FPR) et les champs-écoles d'agriculteurs (*farmer field schools*, FFS) qui se sont révélées extrêmement efficaces pour intégrer la gestion durable des ressources naturelles dans les systèmes de production des petits agriculteurs.

La recherche participative avec les agriculteurs remonte aux années 90, où elle a constitué une réponse à l'incapacité de la recherche agronomique menée d'en haut d'apporter des améliorations significatives à la situation des agriculteurs à faible revenu dans des environnements à risque. La différence entre la FPR et l'approche plus classique du «transfert de technologie» est que les agents de vulgarisation ne soutiennent ni ne préconisent une pratique ou une technologie spécifique. Au lieu de cela, ils fournissent un menu d'options différentes que les agriculteurs peuvent tester dans leurs propres champs, par des essais simples, avec l'aide des chercheurs ou des agents de vulgarisation⁵.

Le CIAT a beaucoup recouru à la recherche participative avec fermiers en Asie pour la mise au point et le transfert de technologies de production de manioc. Son programme de FPR a impliqué des agriculteurs de 99 villages en Chine, en Thaïlande et au Viet Nam, leur faisant effectuer plus de 1 150 essais, portant en général sur la fumure, la lutte anti-érosion, l'espacement des plants, l'engrais vert et l'utilisation des racines tubéreuses et des feuilles de manioc comme fourrage.

Avec la FPR, les membres d'un groupement de producteurs, ou les agriculteurs d'un village ou d'un district donnés, commencent par poser un diagnostic des principaux problèmes qu'ils rencontrent dans la production du manioc, puis, avec l'assistance de chercheurs et d'agents vulgarisateurs, ils envisagent des solutions possibles. Sur la base de ce diagnostic, ils décident des questions spécifiques à explorer dans leurs essais. Chaque fois que c'est possible, les agriculteurs rendent visite à des stations expérimentales ou à d'autres villages pour observer des essais similaires, ou se concertent avec des agriculteurs qui ont déjà adopté les pratiques soumises à l'essai.

Ils choisissent alors 3 à 5 traitements différents, en même temps qu'une pratique traditionnelle, qui vont être testés dans leurs propres champs au moyen d'essais FPR simples, sans répétition. Si tous les agriculteurs de la zone considérée utilisent le même jeu de traitements dans un type donné d'essai, chacun de ces essais peut être considéré comme une répétition, et une moyenne des résultats de ces répétitions peut être calculée. Les résultats obtenus sont alors plus fiables.

L'étape suivante consiste pour les agriculteurs à définir et à mener les essais, avec l'assistance de chercheurs ou d'agents vulgarisateurs. Les essais sont mis en œuvre directement par les agriculteurs, même si le personnel

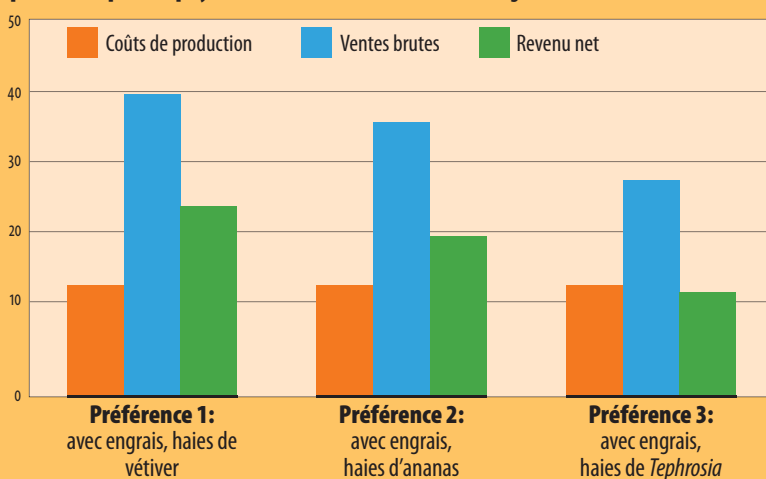
technique peut de temps à autre les visiter pour en discuter l'avancement et aider à résoudre les problèmes. Pour finir, au moment de la récolte, tous les paysans de la zone, et si possible des zones avoisinantes, sont invités à une journée au champ pour observer les essais et débattre de leurs résultats. Au cours de cette journée, le personnel technique présente les résultats moyens de chaque type d'essais, ainsi que les coûts de production, le revenu brut et le revenu net pour chaque traitement. Sur la base de ces informations, les agriculteurs peuvent choisir les variétés ou les pratiques qu'ils considèrent comme les mieux adaptées à leur propre cas.

L'approche FPR a rencontré un grand succès. Une étude d'impact indépendante, en 2003, a montré qu'en Thaïlande, tous les agriculteurs qui avaient pris part directement aux essais avaient adopté des variétés améliorées, 98 pour cent avaient adopté la fumure minérale, et 80 pour cent avaient adopté des pratiques de conservation du sol pour lutter contre l'érosion. Les taux d'adoption au Viet Nam étaient respectivement de 82 pour cent, 80 pour cent et 71 pour cent⁶. Dans une province du Viet Nam, les technologies et pratiques agronomiques améliorées ont fait monter le rendement moyen à l'hectare de 8,5 tonnes en 1994, date de début des essais, à 36 tonnes en 2003. Les essais menés au Viet Nam, et en Asie en général, ont démontré une nette préférence des agriculteurs pour les traitements qui combinent un rendement durable et un revenu net maximal (figure 31).

Les champs-écoles d'agriculteurs encouragent un processus d'apprentissage axé sur le groupe, et ont été élaborées au départ par la FAO, à la fin des années 80, pour promouvoir la lutte intégrée dans les rizières asiatiques. Dans le cadre d'un champ-école, les agriculteurs sont en mesure d'approfondir leurs connaissances des systèmes agro-systémiques, et de tester puis de valider les pratiques qui permettent de lutter contre les ravageurs et les maladies tout en améliorant la durabilité des rendements.

L'application des FFS au manioc a commencé en Afrique à la fin des années 90. L'apparition de nouvelles souches des virus à l'origine de la mosaïque du manioc et, plus récemment, de la striure brune du manioc, a servi d'angle d'attaque pour promouvoir la lutte intégrée et la production respectueuse de l'environnement. Les champs-écoles d'agriculteurs

Figure 31 Options de gestion du manioc avec culture intercalaire arachide préférées par les paysans au Viet Nam (millions de dong)



Source: Tableau annexe 8.1

fonctionnent en liaison avec les programmes qui distribuent des variétés de manioc tolérantes aux maladies, et les testent dans des parcelles de multiplication. Cette approche d'apprentissage par la pratique donne aux agriculteurs la possibilité de mettre au point des stratégies pour affronter plus efficacement les problèmes de maladie, tout en améliorant leurs pratiques de culture du manioc.

En République démocratique du Congo, un projet FAO a formé des facilitateurs pour apporter leur assistance à 30 champs-écoles d'agriculteurs de la province de Kinshasa, où les rendements de manioc étaient en déclin sous les effets des attaques de ravageurs, des maladies et de la baisse de la teneur des sols en nutriments. Les champs-écoles d'agriculteurs, en prodiguant aux agriculteurs une formation à l'utilisation de matériel végétal sain, au paillage et aux cultures intercalaires, les ont aidés à faire progresser leurs rendements dans des proportions allant jusqu'à 250 pour cent⁷.

Au Gabon, la pression des ravageurs et maladies, le manque de variétés améliorées, et l'utilisation de méthodes culturales inefficaces maintenaient les rendements à moins de 8 tonnes/ha. Les champs-écoles d'agriculteurs ont permis à 750 producteurs d'améliorer leur savoir-faire en matière de sélection de matériel végétal sain. Nombre d'entre eux ont adopté des variétés à plus haut rendement et résistantes à la mosaïque du manioc, ainsi que des pratiques améliorées, telles qu'éviter de cultiver sur sols humides et planter les boutures de manioc sur des terrains en pente en suivant les courbes de niveau, de façon à limiter les effets de la pourriture des racines. Ils y ont également appris l'importance d'un désherbage régulier, de l'élimination des plants malades, de la plantation en rangées et de l'optimisation des densités de plantation.

Une évaluation menée en 2012 a conclu que, grâce principalement au recours à des variétés à haut rendement, à la lutte intégrée et à des pratiques culturales axées sur la conservation des ressources naturelles, les agriculteurs avaient triplé leur rendement en manioc. Dans une des provinces, les rendements ont atteint 30 tonnes/ha⁸.

Tableaux annexes

Chapitre 1: Le manioc, une culture du XXI^e siècle

Tableau 1.1 Superficie plantée en manioc (millions d'ha)

	1980	1990	2000	2011
Afrique sub-saharienne	7,05	8,59	11,01	13,05
Asie	3,89	3,85	3,40	3,91
Amérique latine/Caraiïbes	2,65	2,75	2,54	2,67

Source: FAO. 2013. Base de données statistiques FAOSTAT (<http://faostat.fao.org>).

Tableau 1.2 Production de manioc (millions de tonnes)

	1980	1990	2000	2011
Afrique sub-saharienne	48,34	70,26	95,34	140,97
Asie	45,94	49,79	49,46	76,68
Amérique latine/Caraiïbes	29,70	32,21	31,30	34,36

Source: FAO. 2013. Base de données statistiques FAOSTAT (<http://faostat.fao.org>).

Tableau 1.3 Rendements moyens du manioc (tonnes/ha)

	1980	1990	2000	2011
Afrique sub-saharienne	6,85	8,18	8,66	10,80
Asie	11,82	12,92	14,53	19,60
Amérique latine/Caraiïbes	11,23	11,72	12,34	12,88

Source: FAO. 2013. Base de données statistiques FAOSTAT (<http://faostat.fao.org>).

Chapitre 2: Systèmes de production agricole

Tableau 2.1 Effets du mode de préparation du terrain sur le rendement de deux variétés de manioc à Mondomito, Cauca, Colombie en 1981/82

Mode de préparation du sol	Rendement du manioc (t/ha)	
	CMC 92	MCol 113
Pas de préparation	10,8	10,4
Préparation manuelle des trous de plantation	17,9	12,3
Préparation avec charrue tractée par bœufs	16	11,6
Charrue tractée par bœufs puis billonnage	15	10
Préparation avec rototiller monté sur tracteur	15,7	14,1
Rototiller puis billonnage	16,8	10,9
Bandes de 1 m préparées à la houe, alternant avec bandes de 1 m sans préparation	12,2	9,7
Bandes de 1 m préparées au rototiller, alternant avec bandes de 1 m sans préparation	13,5	9,5
PPDS 5%	4	1,8

Source: Howeler, R.H., Ezumah, H.C. et Midmore, D.J. 1993. Tillage systems for root and tuber crops in the tropics. *Soil Tillage Res.*, 27: 211-240.

Tableau 2.2 Effets du mode de labour et du taux d'application d'azote en première année sur le rendement du manioc, Khon Kaen, Thaïlande, 2000/01 (tonnes/ha)

Taux d'application engrais*	Mode de labour	
	Labour conventionnel	Pas de labour
0-50-50	42,7	55,13
50-50-50	44,94	56,06
100-50-50	53,69	67
Average	47,13	59,38

Source: Adapté de Jongruaysup, S., Treloges, V. et Chuenrung, C. 2003. Minimum tillage for cassava production in Khon Kaen Province, Thailand. *Songklanakarín J. Sci. Technol.*, 25(2): 191-197.

* N-P₂O₅-K₂O exprimé en kg/ha

Tableau 2.3 Réaction moyenne de la biomasse des parties aériennes, du rendement et du taux de matière sèche des racines (8 ans), base poids sec, au paillage, à la fumure et au labour sur sol limon sableux, nord de la Colombie

Traitement*	Fumure			Sans fumure		
	Rendement racines (t/ha)	Biomasse parties aériennes (t/ha)	Taux MS racines (%)	Rendement racines (t/ha)	Biomasse parties aériennes	Taux MS racines (%)
LC	5,51	3,18	30,2	2,19	1,43	30,1
LC+paillage	5,92	3,98	30,9	4,66	2,93	30,6
PL	4,42	2,77	29,5	1,93	1,43	29,2
PL+paillage	6,11	3,85	31	4,66	2,95	30,4
Moyenne	5,49	3,45	30,4	3,36	2,19	30,1

Source: Adapté de Cadavid, L.F., El-Sharkawy, M.A., Acosta, A. et Sánchez, T. 1998. Long-term effects of mulch, fertilization and tillage on cassava grown in sandy soils in northern Colombia. *Field Crops Res.*, 57: 45-56.

* LC = labour conventionnel; PL = pas de labour

Tableau 2.4 Effets du paillage sur le rendement en racines sèches du manioc de fin de saison, République démocratique du Congo (t/ha)

Cultivar	1981-82		1982-83		1983-84	
	Paillage*	Sans paillage	Paillage*	Sans paillage	Paillage*	Sans paillage
Mpelolongi	4,7	4	6,2	4,7	6,1	3,4
30085/28	5,3	4,4	6,7	5	6,8	4,7
2864	4,8	4,2	7,1	5,2	6,8	4,5
30122/2	3,7	3,6	4,5	3,9	4,7	3,1
30555/3	3,7	3,2	5,2	3,7	4,9	3,2
30010/10	3,4	3,7	4	3,1	4,4	2,8
Moyennes	4,3	3,8	5,6	4,3	5,6	3,6

Source: Adapté de Lutaladio, N., Wahua, T. et Hahn, S. 1992. Effects of mulch on soil properties and on the performance of late season cassava (*Manihot esculenta* Crantz) on an acid ultisol in southwestern Zaire. *Tropicicultura*, 10(1): 20-26.

* Paille de riz à 5 t/ha

Tableau 2.5 Moyenne des résultats de trois essais participatifs de cultures intercalaires menés par des paysans des villages de Suoi Rao et Son Binh, district de Chau Duc, Ba Ria-Vung Tau, Viet Nam, en 2001/2002

Traitement	Rendement manioc (t/ha)	Teneur en amidon (%)	Rendement intercalaire (t/ha)	Ventes brutes			Préférence des paysans (%)
				Coûts de production	Revenu net	(millions dong/ha)	
M + arachide intercalaire	30,74	27,66	1,483	25,81	10,07	15,73	48
M + haricot mungo intercalaire	29,81	26,66	0,57	20,38	8,64	11,74	42
M + soja intercalaire	34,54	27,5	0	19,00	8,62	10,38	6
M + maïs intercalaire	21,00	24,30	3,64	15,56	8,59	6,90	35
Monoculture manioc	31,88	27,93	-	17,53	7,12	10,42	29

Source: Adapté de Nguyen, H.H., Tran, T.D., Nguyen, T.S., Tran, C.K., Tuan, V.V. et Tong, Q.A. 2008. The FPR cassava project and its impact in South Viet Nam. Dans R.H. Howeler, éd. *Integrated cassava-based cropping systems in Asia. Working with farmers to enhance adoption of more sustainable production practices*. Actes de l'atelier de travail sur le projet manioc de la Fondation Nippon en Thaïlande, Viet Nam et Chine, tenu à Thai Nguyen, Viet Nam. Oct. 27-31, 2003. pp. 140-156.

Tableau 2.6 Effets de diverses pratiques culturales sur les pertes de sol érosives et sur le rendement du manioc et de l'arachide intercalaire, ainsi que sur les ventes brutes et le revenu net, dans un essai de lutte anti-érosion mené par six paysans du village de Kieu Tung, district de Thanh Ba, province de Phu Tho, Viet Nam, en 1997 (année 3)

Traitement*	Pertes de sol sec (t/ha)	Rendement (t/ha)	
		Manioc	Arachide
Monoculture M avec fumure, pas de haies	106,1	19,17	-
M+A, pas de fumure, pas de haies	103,9	13,08	0,7
M+A, fumure, pas de haies	64,8	19,23	0,97
M+A, fumure, haies de <i>Tephrosia</i>	40,1	14,67	0,85
M+A, fumure, haies d'ananas	32,2	19,39	0,97
M+A, fumure, haies de vétiver	32	23,71	0,85
Monoculture M avec fumure, haies de <i>Tephrosia</i>	32,5	23,33	-

Source: Adapté de Howeler, R.H. 2001. The use of farmer participatory research (FPR) in the Nippon Foundation Project: Improving the sustainability of cassava-based cropping systems in Asia. Dans R.H. Howeler et S.L. Tan, éd. *Cassava's potential in Asia in the 21st Century: Present situation and future research and development needs*. Actes du 6^{ème} atelier de travail regional, tenu à Ho Chi Minh city, Viet Nam. Fév. 21-25, 2000. pp. 461-489.

* M = manioc; A = arachide; engrais = 60 kg N + 40 P₂O₅ + 120 K₂O/ha; toutes les parcelles ont reçu 10 t/ha de fumier de porc

Tableau 2.7 Données économiques d'une culture séquentielle manioc et niébé-légume, Tamil Nadu, Inde

Source: Adapté de Tamil Nadu Agricultural University (TNAU), 2002. *Report to Quinquennial Review Team – Tuber crops (1997-98 to 2001-02)*. Coimbatore Centre, AICRP on tuber crops (other than potato), Dept. of Vegetable Crops, Horticultural College and Research Institute, TNAU Coimbatore. pp. 34-35.

Traitement*	Rendement du manioc (t/ha)	Coûts de production ('000 Rs/ha)	Ventes brutes ('000 Rs/ha)	Revenu net ('000 Rs/ha)
Pas de fumure	26,9	16,04	56,24	40,19
Fumure à 50%	41,2	19,60	80,90	61,30
Fumure complète*	40,9	24,94	80,73	55,79

* Fumure complète = 26 kg/ha P + 25 tonnes/ha fumier de ferme

Chapitre 3: Variétés et matériel végétal

Tableau 3.1 Principales collections de germplasm de manioc

Emplacement	Nombre d'accessions	Type d'accession* (%)				
		ES	RL	ME	CA	AT
CIAT	5436	1	87	11	0	1
Brazil	2889	0	0	0	0	100
IITA	2756	0	28	47	0	25
India	1327	0	0	0	0	100
Nigeria	1174	0	0	0	0	100
Uganda	1136	0	4	89	7	0
Malawi	978	0	22	72	6	0
Indonesia	954	0	0	0	100	0
Thailand	609	0	0	100	0	0
Benin	600	0	100	0	0	0
Togo	435	0	100	0	0	0
Other	14 148	6	26	3	14	51

Source: Adapté de FAO, 2010. *Le deuxième rapport sur l'État des ressources phytogénétiques pour l'alimentation et l'agriculture dans le monde*. Rome.

* ES = espèce sauvage; RL = races locales/cultivars anciens; ME = matériel expérimental/souches génétiques; CA = cultivars avancés; AT = autres (type inconnu ou associant plusieurs types)

Tableau 3.2 Effets de la fumure NPK des plants-mères servant à la multiplication du manioc sur le rendement tige et tubercule des cultures résultantes

Fumure des plants-mères (kg/ha)*	Taux réussite bouturage (%)	Rendements tubercule frais et tige (t/ha)			
		Sans engrais		Avec engrais**	
		Tubercules	Tiges	Tubercules	Tiges
N P K					
0 0 0	85	13,5	2,02	19,1	4,49
0 100 100	97	17,5	2,63	25,6	3,64
100 0 100	98	14,9	2,98	23,5	4,38
100 100 0	77	15,8	2,25	24,7	4,53
100 100 100	97	24,2	3,10	30,2	6,22

Source: Adapté de Lopez, J. et El-Sharkawy, M.A. 1995. Increasing crop productivity in cassava by fertilizing production of planting material. *Field Crops Res.*, 44: 151-157.

* Taux exprimés en kg/ha de N, P et K

** Application de 50 kg N, 43 kg P et 83 kg K par ha à la plantation

Chapitre 4: Gestion de l'eau

Tableau 4.1 Effets du retard de plantation sur le rendement du manioc de fin de saison, sud du Nigéria

Mois de plantation	Rendement racines (poids sec, t/ha)	Proportion par rapport au rendement pour plantation juin
Juin	10,81	100
Juillet	9,72	90
Août	6,91	64
Septembre	6,70	62
Octobre	4,48	41

Source: Adapté de l'Institut international d'agriculture tropicale (IITA). 1977. *Annual Report for 1977*. Ibadan, Nigéria.

Tableau 4.2 Effets du calendrier de plantation et de l'âge à la récolte sur le rendement (t/ha) en Thaïlande (1976-78)

	8 mois	10 mois	12 mois	14 mois	16 mois	18 mois	Moyenne
Mai	20,27	26,98	36,49	42,46	49,52	57,06	38,76
Juin	22,15	27,73	36,51	47,31	51,93	53,36	39,83
Juillet	19,82	29,07	35,07	40,74	44,05	48,51	36,21
Août	14,46	22,96	29,14	38,62	39,57	43,68	31,41
Sept	12,25	17,64	28,65	32,48	34,59	36,26	26,98
Oct	8,16	16,69	22,17	23,95	29,52	32,61	22,18

Source: Adapté de Sinthuprama, S. 1980. Cassava planting systems in Asia. Dans E.J. Weber, J.C. Toro et M. Graham, eds. *Cassava cultural practices. Proc. of a Workshop, held in Salvador, Bahia, Brazil, March 18-21, 1980*. pp. 50-53.

Tableau 4.3 Effets de différents calendriers de plantation, et des précipitations moyennes reçues, sur la croissance et le rendement du manioc, cultivar Rayong 90, cultivé sur trois cycles consécutifs au Centre de recherches agricoles de Rayong en Thaïlande de 1994 à 1998

Mois de plantation*	Précipitations totales** (mm)	Couvert*** (%)	Plants survivants (%)	Rendement tubercule (t/ha)	Teneur en amidon (%)	Rendement amidon (t/ha)
June	1402	77,3	97	23,32	21,27	4,96
August	1409	55,0	97	18,92	22,33	4,22
October	1267	55,0	91	24,56	25,73	6,32
December	1665	82,0	90	32,18	25,07	8,07
February	1633	89,2	88	27,92	30,35	8,47
April	1616	87,8	87	25,67	26,13	6,71

Source: Adapté de Howeler, R.H. 2001. The use of farmer participatory research (FPR) in the Nippon Foundation Project: Improving the sustainability of cassava-based cropping systems in Asia. Dans R.H. Howeler et S.L. Tan, eds. *Cassava's potential in Asia in the 21st Century: Present situation and future research and development needs*. Actes du 6^{ème} atelier de travail régional, tenu à Ho Chi Minh city, Viêt Nam. Fév. 21-25, 2000. pp. 461-489.

* La récolte a eu lieu à 11 mois

** Précipitations reçues au cours du cycle de 11 mois

*** Moyenne du couvert arboré sur tous les mois du cycle de croissance

Tableau 4.4 Effets du mode de plantation, du positionnement de la bouture, de sa longueur, et de la profondeur de plantation sur le rendement du manioc, après plantation en saisons sèche et saison des pluies au Centre de recherches agricoles de Rayong en Thaïlande

Traitement	Saison des pluies (mai-août)			Début saison sèche (nov.)		
	Nombre de plants survivants ('000/ha)*	Rendement tubercule (t/ha)	Teneur en amidon (%)	Nombre de plants survivants ('000/ha)*	Rendement tubercule (t/ha)	Teneur en amidon (%)
Mode de plantation Billons	14,57	14,98	16,64	10,69	14,69	18,63
Mode de plantation Sans billons	14,43	13,47	16,66	12,09	14,96	18,65
Position de la bouture Verticale	14,87	16,04	17,03	13,04	17,74	19,04
Position de la bouture Oblique	14,89	15,46	17,14	11,99	16,40	18,68
Position de la bouture Horizontale	13,74	11,08	15,85	9,31	10,32	18,17
Longueur boutures (20 cm)	14,55	14,52	16,67	10,58	14,53	18,51
Longueur boutures (25 cm)	14,41	13,54	16,69	13,02	15,41	18,87
Profondeur plantation (5-10 cm)	14,43	13,90	16,61	9,74	13,14	18,21
Profondeur plantation (15 cm)	14,56	14,43	16,73	12,71	16,17	18,97

Source: Adapté de Tongglum, A., Vichukit, V., Jantawat, S., Sittibusaya, C., Tiraporn, C., Sinthuprama, S. et Howeler, R.H. 1992. Recent progress in cassava agronomy research in Thailand. Dans R.H. Howeler, éd. *Cassava breeding, agronomy and utilization research in Asia*. Actes du 3ème atelier de travail regional, tenu à Malang, Indonésie. Oct. 22-27, 1990, pp. 199-223.

Moyenne des données sur trois ans, 1987-1989

* Sur un total de 15 625 boutures à l'hectare

Tableau 4.5 Effets de l'irrigation par submersion supplémentaire sur le rendement tubercule moyen du manioc, et sa teneur en amidon et HCN, pour du manioc planté au CTCRI, Trivandrum, Inde, 1982-1985

Niveau d'irrigation*	Rendement racine fraîche (t/ha)	Teneur en amidon (% poids sec)	Teneur en HCN (ppm poids sec)
IW/CPE = 0 (pluviale)	20,8	72,7	55
IW/CPE = 0,25	24,5	72,9	41
IW/CPE = 0,50	30,8	74,5	41
IW/CPE = 0,75	34,8	75,2	33
IW/CPE = 1,0	39,7	75	22
C.D. (0,05)	4,8		

Source: Adapté de Nayar, T.V.R., Mohankumar, B. et Pillai, N.G. 1985. Productivity of cassava under rainfed and irrigated conditions. *J. Root Crops*, 11(1-2): 37-44.

* en période de sécheresse (plus de 7 jours sans pluie); IW = eau d'irrigation en mm ; CPE = évaporation bac cumulative en mm

Tableau 4.6 Effets de l'irrigation par submersion et goutte à goutte sur le rendement tubercule du manioc dans le Tamil Nadu, Inde (t/ha)

Niveau d'irrigation*	1996/1907	1998	1999/2000
Par submersion 5 cm à 0,60 IW/CPE	48,5	59,8	45,8
Goutte à goutte, 100% de l'irrigation par surverse	57,6	67,3	51,2
Goutte à goutte, 75% de l'irrigation par surverse	53,9	64,6	50,4
Goutte à goutte, 50% de l'irrigation par surverse	51,6	62,2	46,2

Source: Adapté de Manickasundaram, P., Selvaraj, P.K., Krishnamoorthi, V.V. et Gnanamurthy, P. 2002. Drip irrigation and fertilization studies in tapioca. *Madras Agric. J.*, 89(7-9): 466-468.

* IW = eau d'irrigation en mm ; CPE = évaporation bac cumulative en mm

Tableau 4.7 Effets de différents volumes d'irrigation goutte à goutte de supplémentation sur le rendement de manioc cultivé sur deux ans à l'Université de technologie d'Akure, Nigéria

Volume d'irrigation goutte à goutte (en % de l'eau disponible du sol)	Rendement tubercule sec (t/ha)*		Eau apportée par irrigation par rapport à l'eau totale utilisée (%)	
	2006/07	2007/08	2006/07	2007/08
0	4,66	2,98	0	0
25	8,53	6,43	14,83	17,85
50	13,10	9,20	34,33	40,65
100	28,15	15,36	51,11	61,72

Source: Adapté de Odubanjo, O.O., Olufayo, A.A. et Oguntunde, P.G. 2011. Water use, growth, and yield of drip irrigated cassava in a humid tropical environment. *Soil Water Res.*, 6(1): 10-20.

* Pour un cycle de croissance sur 9 mois, durant lequel les précipitations totales étaient respectivement de 872 mm et 795 mm en 2006/2007 et 2007/2008

Chapitre 5: Nutrition des cultures

Tableau 5.1 Distribution des nutriments à 12 mois dans un manioc, cultivar M Ven 77, cultivé sans fumure à Carimagua, Colombie (kg/ha)

	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
Racines	30,3	7,5	54,9	5,4	6,5	3,3	0,08	0,02	0,38	0,02	0,1
Parties aériennes	69,1	7,4	33,6	37,4	16,2	8,2	0,07	0,03	0,45	0,33	0,26
Feuilles tombées	23,7	1,5	4	24,7	4	2,5	0,04	0,01	0	0,37	0,18

Source: Adapté de Howeler, R.H. 1985. Mineral nutrition and fertilization of cassava. Dans J.H. Cock et J.A. Reyes, eds. *Cassava: Research, production and utilization*. UNDP-CIAT Cassava Program. Cali, Colombie. pp. 249-320.

Tableau 5.2 Effets de quatre sources d'azote sur le rendement et les aspects qualitatifs de manioc, cultivar Sree Visakhram, cultivé au Collège d'agriculture, Trivandrum, Inde, 1989-1991

	Nombre de racines tubéreuses par plant	Rendement (t/ha)	Teneur en HCN (ppm poids frais)	Matière sèche totale (t/ha)
Urée	5,1	19,95	47,4	10,52
Urée enrobée de tourteau de margosier	5,8	22,59	46,8	12,13
Urée en supergranules	5,9	25,65	48,4	13,97
Urée enrobée de polymère	4,9	17,76	48,2	10,4

Source: Vinod, G.S. et Nair, V.M. 1992. Effect of slow release nitrogenous fertilizers on the growth and yield of cassava. *J. Root Crops* (Special issue), 17: 123-125.

Tableau 5.3 Effets de la plantation d'intercalaires, de l'engrais vert et de la culture en bandes, avec ou sans engrais, sur les rendements manioc et intercalaires, ainsi que sur les ventes brutes et le revenu net obtenus pour le manioc, cultivar KM 60, était cultivé pour la 16^{ème} année consécutive, au Centre de recherche agricole de Dongnai, Viet Nam en 2007/2008

Traitement*	Rendement tubercule (t/ha)		Teneur en amidon (%)		Ventes brutes (millions dong/ha)		Coûts de production (millions dong/ha)		Revenu net (millions dong/ha)	
	avec engrais	sans engrais	avec engrais	sans engrais	avec engrais	sans engrais	avec engrais	sans engrais	avec engrais	sans engrais
M monoculture	17,44	4,81	23,28	21,28	20,41	5,63	6,01	3,80	14,40	1,83
M+pois cajan EV	15,62	6,75	23,6	21,7	18,28	7,90	8,11	5,90	10,17	2,00
M+Mucuna EV	17,82	8,56	24,45	22,35	20,85	10,02	8,11	5,90	12,74	4,12
M+arachide IC	20,41	8,62	25,35	24,08	24,82	10,09	8,11	5,90	16,72	4,19
M+niébé IC	19,44	7,44	24,92	22,65	22,75	8,71	8,11	5,90	14,64	2,81
M+Crotalaria EV	18,75	8,5	24,95	21,72	21,94	9,95	8,11	5,90	13,83	4,05
M+Leucaena CB	20,68	13,39	25,52	24,4	24,20	15,67	7,71	5,50	16,49	10,17
M+Gliricidia CB	19,3	16,75	26,32	24,95	22,58	19,60	7,71	5,50	14,87	14,10
Moyenne	18,68	9,35	24,8	22,89	21,98	10,94	7,75	5,54	14,23	5,40

Source: Nguyen Huu Hy, communication personnelle.

* M = manioc; EV = engrais vert; IC = intercalaire; CB = culture en bandes

Tableau 5.4 Effets de l'application de différents volumes d'engrais chimique et de l'incorporation d'engrais vert des espèces *Tithonia diversifolia* et *Chromolaena odorata* sur le rendement du manioc (t/ha) sur deux cycles de culture et deux sites de la région du Bas-Congo en RD Congo

Engrais verts	Volume d'engrais* (kg/ha)	Récolte 1		Récolte 2	
		Kiduma	Mbuela	Kiduma	Mbuela
Aucun	0	12,7	10,5	10,1	5,4
Aucun	283	23,7	14,9	14,9	7,4
Aucun	850	31,4	19,6	17,6	9
Aucun	1 417	39,6	18,6	33,1	18
<i>Tithonia</i>	0	32,8	18,1	12,7	6,4
<i>Tithonia</i>	283	37,6	23,5	17,8	8,7
<i>Tithonia</i>	850	41,5	21,7	20,2	8,2
<i>Chromolaena</i>	0	19,9	18,2	12,2	7,3
<i>Chromolaena</i>	283	29,5	21,1	18,4	8,5
<i>Chromolaena</i>	850	35,2	23,4	18,6	9

Source: Adapté de Pypers, P., Sanginga, J.M., Kasereka, B., Walangululu, M. et Vanlauwe, B. 2011. Increased productivity through integrated soil fertility management in cassava-legume intercropping systems in the highlands of Sud-Kivu, DR Congo. *Field Crops Res.*, 120: 76-85.

* Fertilizer = 17-17-17 as N-P₂O₅-K₂O

Tableau 5.5 Effets de l'application de fumier de ferme (FF) et d'engrais chimiques sur le rendement manioc et la rentabilité économique à l'Université d'agriculture et de foresterie de Thai Nguyen, province de Thai Nguyen, Viet Nam, en 2001 (année 2)

Traitement	Rendement du manioc (t/ha)	Indice de récolte	('000 dong/ha)			
			Ventes brutes	Coûts d'engrais	Coûts de production	Revenu net
Ni engrais, ni FF	3,25	0,39	1.625	0	2.800	-1,175
FF 5 t/ha	7,79	0,49	3.895	500	3.300	595
FF 10 t/ha	10,02	0,52	5.010	1.000	3.800	1.210
FF 15 t/ha	13,11	0,52	6.555	1.500	4.300	2.255
80 N+80 K ₂ O/ha, sans FF	15,47	0,5	7.735	680	3.580	4.155
80 N+80 K ₂ O/ha + FF 5 t/ha	17,98	0,48	8.990	1.180	4.080	4.910
80 N+80 K ₂ O/ha + FF 10 t/ha	18,7	0,49	9.350	1.680	4.580	4.770
80 N+80 K ₂ O/ha + FF 15 t/ha	18,5	0,48	9.250	2.180	5.080	4.170

Source: Adapté de Nguyen The Dang, communication personnelle, 2002.

Tableau 5.6 Effets de différentes combinaisons de fumure sur le rendement tubercule frais de manioc, cultivar Faroka, et sur le rendement de maïs cultivé en intercalaire, ainsi que sur les ventes brutes et le revenu net observés sur la Station de Jatikerto à Malang, East Java, Indonésie, en 2005/206 (année 2)

Traitement au N-P ₂ O ₅ -K ₂ O (kg/ha)	Fumure organique (t/ha)	Rendement manioc (t/ha)	Rendement maïs (t/ha)	(mil. Rp/ha)			Revenu net	Préférence des paysans
				Ventes brutes	Coûts d'engrais	Coûts de production		
0-0-0	0	10,96	1,1	4,72	0	4,1	0,62	
135-0-0	0	35,6	1,93	13,52	0,45	7,01	6,51	2
135-50-0	0	36,8	2,07	14,05	0,69	7,37	6,68	3
135-50-100	0	37,47	2,1	14,3	1,27	8,02	6,28	4
0-0-0	10 fumier	26,53	1,66	10,32	2	7,65	2,67	
0-0-0	10 compost	22,67	1,63	9,05	1	6,27	2,78	
135-0-0	5 fumier	35,63	2,26	13,89	1,45	8,01	5,88	1
135-0-0	5 compost	39,33	1,97	14,75	0,95	7,88	6,87	5
135-50-0	5 compost	39,07	1,87	14,56	1,19	8,1	6,46	
135-0-0	5 boues de sucrerie	33,73	1,67	12,63	0,95	7,32	5,31	

Source: Adapté de Utomo, W.H., Marjuki, W., Hartoyo, K., Suharjo Retnaningtyas, E., Santoso, D. et Wijaya, A. 2010. Enhancing the adoption of improved cassava production and utilization systems in Indonesia (The ACIAR Cassava Project in Indonesia). Dans R.H. Howeler, éd. *A new future for cassava in Asia: Its use as food, feed and fuel to benefit the poor*. Actes du 8^{ème} atelier de travail regional, tenu à Vientiane, RDP Lao. Oct. 20-24, 2008. pp. 490-507.

Tableau 5.7 Valeur nutritionnelle d'une tonne de divers types de fumier humide et de compost par comparaison avec 50 kg d'engrais chimique 15-15-15

	MS (%)	N (kg)	P (kg)	K (kg)
1 t fumier de bovins	32	5,9	2,6	5,4
1 t fumier de porcs	40	8,2	5,5	5,5
1 t fumier de poulets	57	16,6	7,8	8,8
1 t fumier de moutons	35	10,5	2,2	9,4
1 t compost	71	6,9	3,3	6,1
50 kg d'engrais 15-15-15	100	7,5	3,3	6,2

Source: Howeler, R.H. 2001. Cassava agronomy research in Asia: Has it benefited cassava farmers? Dans R.H. Howeler et S.L. Tan, éd. *Cassava's potential in Asia in the 21st Century: Present situation and future research and development needs*. Actes du 6^{ème} atelier de travail regional, tenu à Ho Chi Minh city, Viêt Nam. Fév. 21-25, 2000. pp. 345-382.

Tableau 5.8 Effets de diverses pratiques de conservation du sol sur le rendement relatif moyen en manioc et la perte érosive de sol sec, d'après des expérimentations sur la lutte anti-érosion, des parcelles de démonstration participatives et des essais participatifs, Viet Nam, 1993 -2003

Pratique de conservation du sol	Rendement manioc relatif (%)		Perte sol sec relative (%)	
	Monoculture manioc	Manioc + arachide	Monoculture manioc	Manioc + arachide
Engrais ; pas de haies (témoin)	100	-	100	-
Engrais ; haies vétiver	113	115	48	51
Engrais; haies <i>Tephrosia candida</i>	110	105	49	64
Engrais; haies <i>Flemingia macrophylla</i>	103	109	51	62
Engrais; haies <i>Paspalum atratum</i>	112	-	50	-
Engrais; haies <i>Leucaena leucocephala</i>	110	-	69	-
Engrais; haies <i>Gliricidia sepium</i>	107	-	71	-
Engrais; haies ananas	100	103	48	44
Engrais; haies vétiver + <i>Tephrosia</i>	-	102	-	62
Engrais; billons sur lignes de niveau; pas de haie	106	-	70	-
Engrais; espacement resserré, pas de haie	122	-	103	-
Engrais; arachide intercalaire; pas de haie	106	100	81	100
Engrais; maïs intercalaire; pas de haie	69	-	21	-
Ni engrais, ni haie	32	92	137	202

Source: Adapté de Howeler, R.H. 2008. Results, achievements and impact of the Nippon Foundation Cassava Project. Dans R.H. Howeler, éd. *Integrated cassava-based cropping systems in Asia. Working with farmers to enhance adoption of more sustainable production practices*. Actes de l'atelier de travail sur le projet manioc de la Fondation Nippon en Thaïlande, Viêt Nam et Chine, tenu à Thai Nguyen, Viêt Nam. Oct. 27-31, 2003. pp. 140-156.

Chapitre 6: Ravageurs et maladies

Tableau 6.1 Effets du désherbage manuel à différents moments et fréquences sur le rendement tubercule frais de manioc, cultivar CMC 39, 280 jours après plantation, au CIAT, Cali, Colombie

Nombre de désherbages*	Fréquence de désherbage manuel (jours)					Rendement tubercule frais (t/ha)	Rapport au rendement maximum (%)***
	15	30	60	120	JR**		
4+	15	30	60	120	JR**	18,0	86
3+		30	60	120	JR	16,0	76
2+			60	120	JR	11,0	52
1+				120	JR	7,0	33
4	15	30	60	120		19,5	92
3	15	30	60			12,9	61
2	15	30				13,3	63
1	15					5,8	28
2		30	60			16,3	77
2	15	45				15,4	73
0	Désherbage chimique					21,1	100
0	Pas de désherbage					1,4	7

Source: Doll, J.D. et Piedrahita, C.W. 1978. *Methods of weed control*. Cali, Colombie, CIAT.

* + = désherbages supplémentaires

** JR = jusqu'à la récolte, au besoin

*** Pour cent par rapport au rendement de manioc désherbé aux herbicides

Chapitre 7: Récolte, opérations après récolte et valeur ajoutée

Tableau 7.1 Moyenne des effets du nombre et du calendrier des coupes de feuilles sur le rendement en feuilles sèches et en protéines, le rendement tubercule et la teneur en amidon de deux variétés de manioc, ainsi que sur les ventes brutes et le revenu net, obtenue dans une expérimentation au Centre TTDI de Huay Bong, Thaïlande

Nombre de coupes de feuilles*					Rendement feuille sèche totale (t/ha)	Teneur en protéines (%)	Total Rendement protéines foliaires totales (t/ha)	Rendement tubercule frais (t/ha)	Teneur en amidon du tubercule (%)	Ventes brutes			Coûts de production	Revenu net
										Feuilles	Tu-bercules	Total		
1	2	3	4	5										
				X	0,71	24,46	0,17	39,89	19,58	4,15	45,43	49,58	24,3	25,28
X				X	1,5	25,16	0,38	39,91	20,15	9,02	46,01	55,04	30,68	24,35
X	X			X	1,99	25,21	0,5	27,02	21,1	11,92	31,59	43,51	32,53	10,99
X	X	X		X	2,56	25,13	0,64	28,6	19,75	15,34	32,53	47,88	36,78	11,09
X	X	X	X	X	2,57	25,28	0,65	24,46	18,19	15,56	27,2	42,76	40,07	2,7
Average					1,87	25,05	0,47	31,97	19,75	11,2	36,55	47,75	32,87	14,88

* Les coupes de feuilles 1, 2, 3, 4 et 5 correspondent respectivement aux coupes effectuées aux mois après plantation 2, 5, 7, 9 et 11, avec la dernière coupe à la récolte des tubercules

Source: Adapté de Howeler, R.H. 2012. Cassava leaf production for animal feeding. Dans R.H. Howeler, éd. *The cassava handbook – A reference manual based on the Asian regional cassava training course, held in Thailand*. Cali, Colombie, CIAT. pp. 626-648.

Chapitre 8: La marche à suivre

Tableau 8.1 Effets de diverses pratiques culturales sur les pertes de sol érosives et sur le rendement du manioc et de l'arachide intercalaire, ainsi que sur les ventes brutes et le revenu net, dans un essai participatif de lutte anti-érosion mené par six paysans du village de Kieu Tung, district de Thanh Ba, province de Phu Tho, Viet Nam, en 1997 (année 3)

Traitement*	Ventes brutes	Coûts de production	Revenu net	Classement par les paysans
	(mil. dong/ha)			
Monoculture M avec fumure, pas de haies	9,58	3,72	5,86	6
M+A, pas d'engrais, pas de haies	10,04	5,13	4,91	5
M+A, engrais, pas de haies	14,47	5,95	8,52	-
M+A, engrais haies de <i>Tephrosia</i>	11,58	5,95	5,63	3
M+A, engrais, haies d'ananas	14,55	5,95	8,6	2
M+A, engrais, haies de vétiver	16,1	5,95	10,15	1
Monoculture M avec fumure, haies de <i>Tephrosia</i>	11,66	4,54	7,12	4

* M = manioc; A = arachide; engrais = 60 kg N + 40 P₂O₅ + 120 K₂O/ha; toutes les parcelles ont reçu 10 t/ha de fumier de porc

Source: Adapté de Howeler, R.H. 2001. The use of farmer participatory research (FPR) in the Nippon Foundation Project: Improving the sustainability of cassava-based cropping systems in Asia. Dans R.H. Howeler et S.L. Tan, éd. *Cassava's potential in Asia in the 21st Century: Present situation and future research and development needs*. Actes du 6^{ème} atelier de travail régional, tenu à Ho Chi Minh city, Viêt Nam. Fév. 21-25, 2000. pp. 461-489.

Références

Chapitre 1: Le manioc, une culture du XXI^e siècle

1. Allem, A.C. 2002. The origins and taxonomy of cassava. *Dans* R.J. Hillocks, J. M. Thresh et A.C. Bellotti, éd. *Cassava: Biology, production and utilization*. Wallingford, Royaume-Uni, CAB International. pp. 1-16.
2. Hershey, C.H. 1987. Cassava germplasm resources. *Dans* C.H. Hershey, éd. *Cassava Breeding: A Multidisciplinary Review*. Actes de l'atelier de travail, tenu aux Philippines. Mars 4-7, 1985. pp. 1-24.
3. Nassar, N.M.A. 1978. Conservation of the genetic resources of cassava (*Manihot esculenta* Crantz): determination of wild species location with emphasis on probable origin. *Econ. Bot.*, 32: 11-320.
4. Olsen, K.M. et Schaal, B.A. 1999. Evidence on the origin of cassava: phylogeography of *Manihot esculenta*. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.*, 96(10): 5586-5591.
5. FAO. 1997. *Human nutrition in the developing world*. Collection FAO: Alimentation et nutrition, 29. Rome.
6. FAO. 1997. *Feeding pigs in the tropics*. Étude FAO: Production et santé animales, 132. Rome.
7. Fukuba, H., Igarashi, O., Briones, C.M. et Mendoza, E.M.T. 1982. Determination and detoxification of cyanide in cassava and cassava products. *Philipp. J. Crop Sci.*, 7(3): 170-175.
8. Chavez, A.L., Bedoya, J.M., Sanchez, T., Iglesias, C., Ceballos, H. et Roca, W. 2000. Iron, carotene, and ascorbic acid in cassava roots and leaves. *Food Nutr. Bull.*, 21: 4.
9. Hershey, C., Álvarez, E., Aye, T.M., Becerra, L.A., Bellotti, A., Ceballos, H., Fahrney, K., Howeler, R., Lefroy, R., Ospina, B. et Parsa, S. 2012. Ecoefficient interventions to support cassava's multiple roles in improving the lives of smallholders. *Dans* CIAT. *Ecoefficiency: From vision to reality*. Cali, Colombie.
10. FAO. 2013. Base de données statistiques FAOSTAT (<http://faostat.fao.org>).
11. FAO. 2012. *Perspectives de l'alimentation. Analyse des marchés mondiaux – Novembre 2012*. Rome.
12. Sanni, L.O., Onadipe, O.O., Ilona, P., Mussagy, M.D., Abass, A. et Dixon, A.G.O. 2009. *Successes and challenges of cassava enterprises in West Africa: A case study of Nigeria, Benin, and Sierra Leone*. Ibadan, Nigéria, IITA.
13. UNCTAD. 2013. *INFOCOMM commodity profile: Cassava* (<http://www.unctad.info/en/infocomm/aacp-products/commodity-profile---cassava/>).
14. IFAD/FAO. 2004. *A cassava industrial revolution in Nigeria: The potential for a new industrial crop*. Stratégie mondiale de développement du manioc. Rome.
15. Haggblade, S. et Zulu, B. 2003. *The recent cassava surge in Zambia and Malawi*. Document présenté à la Conférence InWent, IFPRI, NEPAD, CTA "Successes in African Agriculture", Pretoria, décembre 1-3, 2003.
16. République du Rwanda. Ministère de l'Agriculture et de l'élevage. 2011. *Strategies for sustainable crop intensification: Shifting focus from producing enough to producing surplus*. Kigali.
17. Adaramola, Z. 2013. Nigeria: FG to export 3.3 million metric tons of cassava chips to China. *Daily Trust* (<http://allafrica.com/stories/201303181254.html>).
18. Hershey, C., Henry, G., Best, R., Kawano, K., Howeler, R. et Iglesias, C. 2001. Cassava in Asia: Expanding the competitive edge in diversified markets. *Dans* FAO et IFAD. *A review of cassava in Asia with country case studies on Thailand and Viet Nam*. Rome.
19. Gouvernement du Cambodge. Département de la promotion du commerce. 2012. *Cassava exports jump 94%* (<http://www.tpd.gov.kh/cambodiaproduct/>).
20. IFAD/FAO. 2000. *The world cassava economy. Facts, trends and outlook*. Rome.
21. IFAD/FAO. 2004. *A review of cassava in Latin America and the Caribbean with country case studies on Brazil and Colombia*. Actes du Forum de Validation sur la Stratégie mondiale de développement du manioc, Rome, 26-28 avril 2000. Vol. 4. Rome.
22. Chuzel, G. 2001. The cassava processing industry in Brazil: Traditional techniques, technological developments, innovations and new markets. *Afr. J. Food Nutritional Secur.*, 1(1): 46-59.
23. Universidade de São Paulo. 2012. *Cassava/CEPEA: Revenue of cassava starch industry drops 20% in 2011*. Piracicaba, Brésil.
24. Palmer, N. 2012. *GCP21: Southern Brazil – the next pest hotspot for cassava?* CIAT News (<http://www.ciatnews.cgiar.org/>).
25. FAO/IFAD. 2001. *The Global Cassava Development Strategy and Implementation Plan*. Actes du Forum de Validation sur la Stratégie mondiale de développement du manioc, Rome, 26-28 avril 2000. Vol. 1. Rome.
26. Abdulai, A., Diao, X. et Johnson, M. 2005. *Achieving regional growth dynamics in African agriculture*. DSDG Discussion paper No. 17. Washington, D.C., Institut international de recherche sur les politiques alimentaires.
27. FAO. 2011. *L'initiative contre la flambée des prix des denrées alimentaires de la FAO - Guide pour l'action à l'intention des pays confrontés à la flambée des prix des denrées alimentaires*. Rome.
28. Gouvernement du Nigéria. Ministère de l'information. 2012. *Federal Ministry of Agriculture launches substitution of maize with 10% cassava grits in poultry feed* (<http://fmi.gov.ng/>).
29. FarmConcern International. 2012. *Cassava revolution turning the tables on food and income insecurity in Africa* (<http://www.farmconcern.org/>).
30. Han, J. 2010. China completes cassava genome sequencing for energy use research. *Xinhuanet* (http://news.xinhuanet.com/english2010/china/2010-01/18/c_13140830.htm).

31. Ceballos, H., Sánchez, T., Morante, N., Fregene, M., Dufour, D., Smith, A.M., Denyer, K., Pérez, J.C., Calle, F. et Mestres, C. 2007. Discovery of an amylose-free starch mutant in cassava (*Manihot esculenta* Crantz). *J. Agric. Food Chem.*, 55(18): 7469-7476.
32. Sánchez, T., Dufour, D., Moreno, I.X. et Ceballos, H. 2010. Pasting and gel stability of waxy and normal starches from cassava, potato, maize, and rice under thermal, chemical and mechanical stress. *J. Agric. Food Chem.*, 58: 5093-5099.
33. Ceballos, H., Sánchez, T., Denyer, K., Tofiño, A.P., Rosero, E.A., Dufour, D., Smith, A., Morante, N., Pérez, J.C. et Fahy, B. 2008. Induction and identification of a small-granule, highamylose mutant in cassava (*Manihot esculenta* Crantz). *J. Agric. Food Chem.*, 56(16): 7215-7222.
34. Jarvis, A., Ramirez-Villegas, J., Herrera Campo, B.V. et Navarro-Racines, C. 2012. Is Cassava the answer to African climate change adaptation? *Trop. Plant Biol.*, 5(1): 9-29.
35. Fermont, A.M. 2009. *Cassava and soil fertility in intensifying smallholder farming systems of East Africa*. Wageningen, Pays Bays, Wageningen University. (thesis)
36. NEPAD/ Union africaine. 2004. *NEPAD targets cassava as Africa's top fighter against poverty*. NEPAD Newsletter, 36 (http://www.un.org/special-rep/ohrls/News_flash2004/NEPAD%20Newsletter%20English%2036.htm).
37. FAO. 2011. *Produire plus avec moins. Guide à l'intention des décideurs sur l'intensification durable de l'agriculture paysanne*. Rome.
38. Byrner, D.H., Bellotti, A.C. et Guerrero, J.M. 2008. The cassava mites. *Trop. Pest Manage.*, 29(4): 378-394.
39. Hauser, S. 2013. Natural resource management in cassava and yam production systems. *R4D Review – Best practice, Issue 9*. Ibadan, Nigéria, IITA.
40. Dunstan Spencer & Associates. 2005. Cassava in Africa: past, present and future. *Dans IFAD/FAO. Proceedings of the validation forum on the Global Cassava Development Strategy. Volume 2. A review of cassava in Africa with country case studies on Nigeria, Ghana, the United Republic of Tanzania, Uganda and Benin*. Rome.
41. Polthanee, A., Wanapat, S., Wanapat, M. et Wachirapokorn, C. 2001. *Cassava-Legumes intercropping: A potential food-feed system for dairy farmers*. Document élaboré pour l'atelier international «Current research and development on use of cassava as animal feed», tenu à Khon Kaen University, Thaïlande, 23-24 juillet 2001.
42. Odemhero, F.O. et Avwunudiogba, A. 1993. The effects of changing cassava management practices on soil loss: A Nigerian example. *Geogr. J.*, 159(1): 63-69.
43. Howeler, R.H. 2001. The use of farmer participatory research (FPR) in the Nippon Foundation Project: Improving the sustainability of cassavabased cropping systems in Asia. *Dans* R.H. Howeler et S.L. Tan, éd. *Cassava's potential in Asia in the 21st century: Present situation and future research and development needs*. Actes du 6ème atelier de travail régional, tenu à Ho Chi Minh city, Viêt Nam. Fév. 21-25, 2000. pp. 461-489.
44. FAO. 2010. *Rapport de la vingt-deuxième session du Comité de l'agriculture, Rome, 29 novembre – 3 décembre 2010*. Rome.
45. Pretty, J.N., Noble, A.D., Bossio, D., Dixon, J., Hine, R.E., de Vries, F. et Morison, J.I.L. 2006. Resourceconserving agriculture increases yields in developing countries. *Environ. Sci. Technol.*, 40: 1114-1119.
46. Badgley, C., Moghtader, J., Quintero, E., Zakem, E., Chappell, M., Aviles-Vazquez, K., Samulon, A. et Perfecto, I. 2007. Organic agriculture and the global food supply. *Renew. Agric. Food Syst.*, 22: 86-108.
47. Power, A.G. 2010. Ecosystem services and agriculture: Tradeoffs and synergies. *Phil. Trans. R. Soc. B.*, 365(1554): 2959- 2971.

Chapitre 2: Systèmes de production agricole

1. FAO. 2011. *Produire plus avec moins. Guide à l'intention des décideurs sur l'intensification durable de l'agriculture paysanne*. Rome.

2. Leihner, D. 2002. Agronomy and cropping systems. *Dans* R.J. Hillocks, J.M. Thresh et A.C. Bellotti, éd. *Cassava: Biology, production and utilization*. Wallingford, Royaume-Uni, CAB International.

3. Jongruaysup, S., Namwong, P., Tiensiroek, A., Laochaikarm, C., Joodkong, A., Katong, S., Watananonta, W. et Howeler, R.H. 2007. Minimum tillage for cassava in Thailand. *Dans* CIAT. *Cassava research and development in Asia: Exploring new opportunities for an ancient crop*, par R.H. Howeler, éd. Actes du 7ème atelier de travail régional, tenu à Bangkok, Thaïlande. Oct. 28-Nov. 1, 2002. Bangkok. pp. 251-263.

4. Derpsch, R., Friedrich, T., Kassam, A. et Hongwen, L. 2010. Current status of adoption of no-till farming in the world and some of its main benefits. *Int. J. Agric. Biol. Eng.*, 3(1): 1-25.

5. Nweke, F.I. 1996. *Cassava: A cash crop in Africa*. Collaborative study of cassava in Africa. COSCA document de travail No. 14. Ibadan, Nigéria, IITA.

6. IIRR et ACT. 2005. *Conservation agriculture. A manual for farmers and extension workers in Africa*. Nairobi, International Institute of Rural Reconstruction and African Conservation Tillage Network.

7. Doran, J.W. et Zeiss, M.R. 2000. Soil health and sustainability: Managing the biotic component of soil quality. *Applied Soil Ecology*, 15: 3-11.

8. Friedrich, T. et Kienzle, J. 2007. *Conservation agriculture: Impact on farmers' livelihoods, labour, mechanization and equipment*. Rome, FAO.

9. Uphoff, N., Ball, A.S., Fernandes, E., Herren, H., Husson, O., Laing, M., Palm, C., Pretty, J., Sanchez, P., Sanginga, N. et Thies, J., éd. 2006. *Biological approaches to sustainable soil systems*. Boca Raton, Floride, aux États-Unis, CRC Press, Taylor & Francis Group.

10. Friedrich, T., Kassam, A.H. et Shaxson, F. 2009. Conservation agriculture. *Dans: Agriculture for developing countries. Science and technology options assessment (STOA) project.* Parlement européen. Karlsruhe, Allemagne, European Technology Assessment Group.
11. Howeler, R.H., Ezumah, H.C. et Midmore, D.J. 1993. Tillage systems for root and tuber crops in the tropics. *Soil Tillage Res.*, 27: 211-240.
12. Derpsch, R. 2002. *Experiences of small farmers in Paraguay with zero tillage and cover crops.* Résumé présenté au congrès annuel international ASA-CSSA-SSSA, Indianapolis, États-Unis, 12-16 novembre 2002.
13. Aye, T.M. 2012. Cassava agronomy: Land preparation, time and method of planting and harvest, plant spacing and weed control. *Dans* R.H. Howeler, éd. *The cassava handbook – A reference manual based on the Asian regional cassava training course, held in Thailand.* Cali, Colombie, CIAT. pp. 588-612.
14. Tian, Y.N., Lee, J., Zhang, W.T. et Fang, B.P. 1995. Recent progress in cassava agronomy research in Thailand. *Dans* CIAT. *Cassava breeding, agronomy research and technology transfer in Asia*, par R.H. Howeler, éd. Actes du 4^{ème} atelier de travail régional, tenu à Trivandrum, Kerala, Inde, 2-6 Nov. 1993. Bangkok, CIAT. pp. 195-216.
15. Pequeno, M.G.O., Vidigal Filho, P.S., Tormena, C., Kvitscal, M.V. et Manzotti, M. 2007. Efeito do sistema de preparo do solo sobre características agrônomicas da mandioca (*Manihot esculenta* Crantz). *Revista Bras. Eng. Agríc. Ambiental*, 11(5): 476-481.
16. Takahashi, M. 2012. *Conservation tillage for cassava production Brazil.* Note d'information préparée pour la FAO. (mimeo)
17. Jongruaysup, S., Treloges, V. et Chuenrung, C. 2003. Minimum tillage for cassava production in Khon Kaen Province, Thailand. *Songklanakar in J. Sci. Technol.*, 25(2): 191-197.
18. Odjugo, P.A.O. 2008. The impact of tillage systems on soil microclimate, growth and yield of cassava (*Manihot utilissima*) in Midwestern Nigeria. *Afr. J. Agric. Res.*, 3(3): 225-233.
19. Ujuanbi, H.U. 2002. A comparative analysis in the growth and yield of cassava between zero and ridge tillage in Western Nigeria. *J. Environ. Knowledge*, 12(2): 20-28.
20. Hauser, S., Ndi, J.N. et Halugalle, N.R. 2000. Performance of maize/cassava intercrop in tilled and no-tilled *Senna spectabilis* alley cropping on an Ultisol in Southern Cameroon. *Agroforestry Syst.*, 49(2): 177-188.
21. Fasinmirin, J.T. et Reichert, J.M. 2011. Conservation tillage for cassava (*Manihot esculenta* Crantz) production in the tropics. *Soil Tillage Res.*, 113(1): 1-10.
22. Opara-Nadi, O.A. 1993. Conservation tillage for increased crop production. *Dans* FAO. *Soil tillage in Africa: Needs and challenges.* Bulletin pédologique de la FAO 69. Rome.
23. Hershey, C., Álvarez, E., Aye, T.M., Becerra, L.A., Bellotti, A., Ceballos, H., Fahrney, K., Howeler, R., Lefroy, R., Ospina, B. et Parsa, S. 2012. Ecoefficient interventions to support cassava's multiple roles in improving the lives of smallholders. *Dans* CIAT. *Ecoefficiency: From vision to reality.* Cali, Colombie.
24. IITA. 2000. *Starting a cassava farm*, par B. James, J. Yaninek, A. Tumanteh, N. Maroya, A. Dixon, R. Salawu et J. Kwarteng. Lagos, Nigéria.
25. Lutaladio, N., Wahua, T. et Hahn, S. 1992. Effects of mulch on soil properties and on the performance of late season cassava (*Manihot esculenta* Crantz) on an acid ultisol in southwestern Zaire. *Tropicicultura*, 10(1): 20-26.
26. Howeler, R.H. 2012. Soil fertility maintenance: Organic solutions. *Dans* R.H. Howeler, éd. *The cassava handbook. A reference manual based on the cassava training course held in Thailand.* Cali, Colombie. CIAT. pp. 469-496.
27. Mutsaers, H.J.W., Ezuma, H.C. et Osiru, D.S.O. 1993. Cassava-based intercropping: A review. *Field Crop Res.*, 34: 431-457.
28. Vanlauwe, B., Mutuo, P., Mahungu, N. et Pypers, P. 2012. Boosting the productivity of cassava-based systems in DR Congo. *Dans* IITA. *R4D Review* 9:30-34, par B. Vanlauwe et K. Lopez, éd. Ibadan, Nigéria.
29. Ghosh, S.P., Nair, G.M., Prabhakar, M., Pillai, N.G., Mohankumar, B., Kabeerathumma, S., Ramanujam, T., Pillai, K.S., Thankappan, M., Lakshmi, K.R. et Pal, T.K. 1987. *Cassava based multiple cropping systems.* Bulletin technique No. 6. Trivandrum, Inde, CTCRI.
30. Polthanee, A., Wanapat, S., Wanapat, M. et Wachirapakorn, C. 2001. *Cassava-legumes inter-cropping: A potential food-feed system for dairy farmers.* Document élaboré pour l'Atelier international sur «current research and development on use of cassava as animal feed», tenu à Khon Kaen University, Thaïlande, 23-24 juillet 2001. pp. 97-107.
31. Wongwiwachai, C., Paisancharoen, K. et Kokram, C. 2007. Soil fertility improvement through manures and cropping systems and the effect on cassava productivity in Thailand. *Dans* CIAT. *Cassava research and development in Asia: Exploring new opportunities for an ancient crop*, par R.H. Howeler, éd. Actes du 7^{ème} atelier régional, Bangkok, Thaïlande. Oct. 28-Nov. 1, 2002. Bangkok. pp. 224-233.
32. Howeler, R.H. 2012. Soil erosion control. *Dans* R.H. Howeler, éd. *The cassava handbook. A Reference manual based on the Asian cassava training course held in Thailand.* Cali, Colombie. CIAT. pp.524-555.
33. Sims, B.G., Ellis-Jones, J. et Twomlow, S.J. 2000. *The development of low cost soil and water conservation for smallholder farmers in the mid-Andean valleys of Bolivia.* Document élaboré pour le symposium du «International Farming Systems Association and 4th Latin American Farming Systems Research and Extension Symposium on globalization and local development: Challenges to small scale production». Santiago.
34. Gallacher, R.N. 1990. The search for low-input soil and water conservation techniques: Concepts and trends. *Dans* Deutsches Institut für tropische und subtropische Landwirtschaft. *Topics in applied resource management in the tropics: Experience with available conservation technologies.* Witzhausen, Allemagne. pp. 11-37.

35. Nayar, T.V.R., Suja, G., Susan John, K. et Ravi, V. 2007. Cassava agronomy in India – Low input management. *Dans* CIAT. *Cassava research and development in Asia: Exploring new opportunities for an ancient crop*, par R.H. Howeler, éd. Actes du 7^{ème} atelier régional, Bangkok, Thaïlande. Oct. 28-Nov. 1, 2002. Bangkok. pp. 183-203.

36. Böhringer, A. et Leihner, D.E. 1997. A comparison of alley cropping and block planting systems in subhumid Benin. *Agroforestry Syst.*, 35: 117-130.

37. Akondé, T.P., Leihner, D.E. et Steinmüller, N. 1996. Alley cropping on an ultisol in subhumid Benin. Part 1: Long-term effect on maize, cassava and tree productivity. *Agroforestry Syst.*, 34: 1-12.

38. Adjei-Nsiah, S. 2012. Evaluating sustainable cropping sequences with cassava and three grain legume crops: Effects on soil fertility and maize yields in the semi-deciduous forest zone of Ghana. *J. Soil Sci. Environ. Manage.*, 3(2): 49-55.

39. Tamil Nadu Agricultural University (TNAU). 2002. *Report to Quinquennial Review Team –Tuber crops (1997-98 to 2001-02)*. Coimbatore Centre, AICRP on tuber crops (other than potato). Dept. of Vegetable Crops, Horticultural College and Research Institute, TNAU Coimbatore. pp. 34-35.

40. Leihner, D.E. et Lopez, J. 1988. *Effects of different cassava cropping patterns on soil fertility, crop yields and farm income*. Actes du 7^{ème} symposium international du International Society for Tropical Root Crops, Gosier, Guadeloupe (FWI), 1-6 juillet 1985. Paris, Institut national de recherche agronomique (INRA). pp. 463-474.

Chapitre 3: Variétés et matériel végétal

1. FAO. 2011. *Produire plus avec moins. Guide à l'intention des décideurs sur l'intensification durable de l'agriculture paysanne*. Rome.

2. Jarvis, A., Ramirez-Villegas, J., Herrera Campo, B.V. et Navarro-Racines, C. 2012. Is cassava the answer to African climate change adaptation? *Trop. Plant Biol.*, 5(1): 9-29.

3. Whyte, J. 2012. *Cassava: Lessons from investments since 2000*. Document préparé pour la FAO. (mimeo)

4. FAO. 2010. *Le deuxième rapport sur l'État des ressources phylogénétiques pour l'alimentation et l'agriculture dans le monde*. Rome.

5. Fregene, M., Angel, F., Gomez, R., Rodriguez, F., Chavarriaga, P., Roca, W., Tohme, J. et Bonierbale, M. 1997. A molecular map of cassava (*Manihot esculenta* Crantz). *Theor. Appl. Genetics*, 95: 431-441.

6. Hershey, C., Álvarez, E., Aye, T.M., Becerra, L.A., Bellotti, A., Ceballos, H., Fahrney, K., Howeler, R., Lefroy, R., Ospina, B. et Parsa, S. 2012. Ecoefficient interventions to support cassava's multiple roles in improving the lives of smallholders. *Dans* CIAT. *Ecoefficiency: From vision to reality*. Cali, Colombia.

7. Sarakarn, S., Limsila, A., Watananont, W., Suparhan, D. et Suriyapan, P. 2000. Cassava breeding and varietal dissemination in Thailand – Major achievements during the past 25 years. *Dans* CIAT. *Cassava's potential in Asia in the 21st century: Present situation and future research and development needs*. Actes du 6^{ème} atelier de travail régional, tenu à Ho Chi Minh city, Viêt Nam. 21-25 fév. 2000, par R.H. Howeler et S.L. Tan, éd. pp. 161-166.

8. Kawano, K. 1980. Cassava. *Dans* W.R. Fehr et H.H. Hadley, éd. *Hybridization of crop plants*. Madison, Wisconsin, aux États-Unis, ASA et CSSA. pp. 225-233.

9. Kawano, K., Daza, P., Amaya, A., Rios, M. et Gonçalves, M.F. 1978. Evaluation of cassava germplasm for productivity. *Crop Sci.*, 18: 377-380.

10. Kawano, K. 2003. Thirty years of cassava breeding for productivity – Biological and social factors for success. *Crop Sci.*, 43: 1325-1335.

11. Hershey, C.H. 1987. Cassava germplasm resources. *Dans* C.H. Hershey, éd. *Cassava breeding: A multidisciplinary review*. Actes de l'atelier de travail, tenu aux Philippines. Mars 4-7, 1985. pp. 1-24.

12. Ceballos, H., Hershey, C.H. et Becerra-López-Lavalle, L.A. 2012. New approaches to cassava breeding. *Dans* J. Janick, éd. *Plant Breeding Reviews, Volume 36*. pp. 427-504. New Jersey, aux États-Unis, Wiley-Blackwell.

13. Ceballos, H., Sánchez, T., Morante, N., Fregene, M., Dufour, D., Smith, A.M., Denyer, K., Pérez, J.C., Calle, F. et Mestre, C. 2007. Discovery of an amylose-free starch mutant in cassava (*Manihot esculenta* Crantz). *J. Agric. Food Chem.*, 55(18): 7469-7476.

14. Sánchez, T., Dufour, D., Moreno, I.X. et Ceballos, H. 2010. Pasting and gel stability of waxy and normal starches from cassava, potato, maize, and rice under thermal, chemical and mechanical stress. *J. Agric. Food Chem.*, 58: 5093-5099.

15. Aiemnaka, P., Wongkaew, A., Chanthaworn, J., Nagashima, S.K., Boonma, S., Authapun, J., Jenweerawat, S., Kongsila, P., Kittipadukul, P., Nakasathien, S., Sreewongchai, T., Vichukit, V., Becerra-López-Lavalle, L.A., Ceballos, H., Rojanaridpiched, C. et Phumichai, C. 2012. Molecular characterization of a spontaneous waxy starch mutation in cassava (*Manihot esculenta* Crantz). *Crop Sci.*, 52: 2121-2130.

16. Ceballos, H., Sánchez, T., Denyer, K., Tofiño, A.P., Rosero, E.A., Dufour, D., Smith, A., Morante, N., Pérez, J.C. et Fahy, B. 2008. Induction and identification of a small-granule, highamylose mutant in cassava (*Manihot esculenta* Crantz). *J. Agric. Food Chem.*, 56(16): 7215-7222.

17. Liu, J., Zheng, Q., Ma, Q., Gadidasu, K.K. et Zhang, P. 2011. Cassava genetic transformation and its application in breeding. *J. Integr. Plant Biol.*, 53(7): 552-569.

18. Rojanaridpiched, C., Vichukit, V., Sarabol, E., et Changlek, P. 2007. Breeding and dissemination of new cassava varieties in Thailand. *Dans* R.H. Howeler, éd. *Cassava research and development in Asia: Exploring New Opportunities for an Ancient Crop. Proceedings of the 7th Regional Workshop, held in Bangkok, Thailand. Oct. 28-Nov. 1, 2002*. Cali, Colombie. CIAT. pp. 67-76.

19. FAO. 2010. *Quality declared planting material: standards and protocols for vegetatively planting material*. Rome.

20. Chakrabarti, S.K. 2012. *Solutions in sight to control the cassava mosaic disease in India*. Note d'information préparée pour la FAO. (mimeo)

21. CTA. 2012. *Cassava stem multiplication technology: A viable option for industry development?* par E.K. Chikwado. Umudike, Nigéria, National Root Crops Research Institute.

22. IITA. 2010. *Impact assessment evaluation of cassava enterprise development project (CEDP)*. Ibadan, Nigéria.

23. ASARECA et TUUSI. 2007. *Technology transfer mechanism: Threetier cassava multiplication approach complemented by and the seed voucher system*. Lessons learnt and scaling up (<http://www.asareca.org/tuusi/>).

24. IFAD. 2004. *Republic of Ghana root and tuber improvement programme interim evaluation*. Rapport No. 1533- GH. Rome.

25. Catholic Relief Services. 2012. *Seed system innovations in the Great Lakes cassava initiative*, par S. Walsh. Baltimore, aux États-Unis.

26. IITA. 2000. *Starting a cassava farm*. IPM field guide for extension agents, par B. James, J. Yaninek, A. Tumanteh, N. Maroya, A. Dixon, R. Salawu et J. Kwarteng, édés. Lagos, Nigéria.

27. Lopez, J. et El-Sharkawy, M.A. 1995. Increasing crop productivity in cassava by fertilizing production of planting material. *Field Crops Res.*, 44: 151-157.

Chapitre 4: Gestion de l'eau

1. PNUD. 2006. *Human Development Report 2006. Beyond scarcity: Power, poverty and the global water crisis*. New York, aux États-Unis.

2. IWMI. 2007. *Water for food, water for life. A comprehensive assessment of water management in agriculture*, par D. Molden, éd. Colombo, IMWI et Londres, Earthscan.

3. Hershey, C., Álvarez, E., Aye, T.M., Becerra, L.A., Bellotti, A., Ceballos, H., Fahrney, K., Howeler, R., Lefroy, R., Ospina, B. et Parsa, S. 2012. Ecoefficient interventions to support cassava's multiple roles in improving the lives of smallholders. *Dans* CIAT. *Ecoefficiency: From vision to reality*. Cali, Colombie.

4. El-Sharkawy, M.A. 1993. Droughttolerant cassava for Africa, Asia and Latin America. *Bioscience*, 43: 441-451.

5. Agili, S.M. et Pardales Jr., J.R. 1997. Influence of moisture and allelopathic regimes in the soil on the development of cassava and mycorrhizal infection of its roots during establishment period. *Philippine Journal of Crop Science*, 1997 22(2): 99-105.

6. Pardales Jr., J.R., et Esquibel, C.B. 1996. Effect of drought during the establishment period on the root system development of cassava. *Jpn. J. Crop Sci.*, 65(1): 93-97.

7. Pardales Jr., J.R., Yamauchi, A., Belmonte Jr, D.V. et Esquibel, C.B. 2001. *Dynamics of root development in root crops in relation to the prevailing moisture stress in the soil*. Actes du 6^{ème} symposium international du International Society of Root Research, Nagoya, Japon, novembre. pp. 72-73.

8. Howeler, R.H. 2001. Cassava agronomy research in Asia: Has it benefited cassava farmers? *Dans* R.H. Howeler et S.L. Tan, édés. *Cassava's potential in Asia in the 21st Century: Present situation and future research and development needs*. Actes du 6^{ème} atelier de travail regional, tenu à Ho Chi Minh city, Viêt Nam. Fév. 21-25, 2000. pp. 345-382.

9. Odubango, O.O., Olufayo, A.A. et Oguntunde, P.G. 2011. Water use, growth, and yield of drip irrigated cassava in a humid tropical environment. *Soil Water Res.*, 6(1): 10-20.

10. Sinthuprama, S. 1980. Cassava planting systems in Asia. *Dans* E.J. Weber, J.C. Toro et M. Graham, édés. *Cassava cultural practices*. Actes d'un atelier, tenu à Salvador, Bahia, Brésil. Mars 18-21, 1980. pp. 50-53.

11. Odjugo, P.A.O. 2008. The impact of tillage systems on soil microclimate, growth and yield of cassava (*Manihot utilissima*) in Midwestern Nigeria. *Afr. J. Agric. Res.*, 3(3): 225-233.

12. International Institute of Tropical Agriculture (IITA) et Program National Manioc (PRONAM). 1977. *Annual Report for 1977*. Ibadan, Nigéria, IITA.

13. Tongglum, A., Vichukit, V., Jantawat, S., Sittibusaya, C., Tiraporn, C., Sinthuprama, S. et Howeler, R.H. 1992. Recent progress in cassava agronomy research in Thailand. *Dans* R.H. Howeler, éd. *Cassava breeding, agronomy and utilization research in Asia*. Actes du 7^{ème} atelier de travail regional, tenu à Malang, Indonésie. Oct. 22-27, 1990. pp. 199-223.

14. Nayar, T.V.R., Mohankumar, B. et Pillai, N.G. 1985. Productivity of cassava under rainfed and irrigated conditions. *J. Root Crops*, 11(1-2): 37-44.

15. Manickasundaram, P., Selvaraj, P.K., Krishnamoorthi, V.V. et Gnanamurthy, P. 2002. Drip irrigation and fertilization studies in tapioca. *Madras Agric. J.*, 89(7-9): 466-468.

Chapitre 5: Nutrition des cultures

1. FAO. 2011. *Produire plus avec moins. Guide à l'intention des décideurs sur l'intensification durable de l'agriculture paysanne*. Rome.
2. Howeler, R.H. 2012. Importance of mycorrhiza for phosphorus absorption by cassava. Dans R.H. Howeler, éd. *The Cassava Handbook – A reference manual based on the Asian regional cassava training course, held in Thailand*. Cali, Colombie, CIAT. pp. 497-523.
3. Howeler, R.H., Sieverding, E. et Saif, S. 1987. Practical aspects of mycorrhizal technology in some tropical crops and pastures. *Plant & Soil*, 100(1-3): 249-283.
4. Howeler, R.H. 1985. Mineral nutrition and fertilization of cassava. Dans J.H. Cock et J.A. Reyes, éd. *Cassava: Research, production and utilization*. UNDP-CIAT Cassava Program. Cali, Colombie. pp. 249-320.
5. Howeler, R.H. 1991. Long-term effect of cassava cultivation on soil productivity. *Field Crops Res.*, 26: 1-18.
6. Howeler, R.H. 2002. Cassava mineral nutrition and fertilization. Dans R.J. Hillocks, M.J. Thresh et A.C. Bellotti, éd. *Cassava: Biology, production and utilization*. Wallingford, Royaume-Uni, CAB International. pp. 115-147.
7. Howeler, R.H. 1981. *Mineral nutrition and fertilization of cassava*. CIAT Series 09-EC-4. Cali, Colombie, CIAT.
8. Howeler, R.H. 2001. Cassava agronomy research in Asia: Has it benefited cassava farmers? Dans R.H. Howeler et S.L. Tan, éd. *Cassava's potential in Asia in the 21st Century: Present situation and future research and development needs*. Actes du 6^{ème} atelier de travail régional, tenu à Ho Chi Minh city, Viêt Nam. Fév. 21-25, 2000. pp. 345-382.
9. Howeler, R.H. 2012. Effect of cassava production on soil fertility and the longterm fertilizer requirements to maintain high yields. Dans R.H. Howeler, éd. *The cassava handbook – A reference manual based on the Asian regional cassava training course, held in Thailand*. Cali, Colombie, CIAT. pp. 411-428.
10. Putthacharoen, S., Howeler, R.H., Jantawat, S. et Vichukit, V. 1998. Nutrient uptake and soil erosion losses in cassava and six other crops in a Psamment in eastern Thailand. *Field Crops Res.*, 57(1): 113-126.
11. FAO. 1980. *Review of data on responses of tropical crops to fertilizers, 1961-1977*, par I.R. Richards. Rome.
12. Vanlauwe, B. 2012. *Integrated soil fertility management for increased productivity in cassava-based systems*. Note d'information préparée pour la FAO. (mimeo)
13. IFAD. 2012. *Global consultation on cassava as a potential bioenergy crop*, par E. Kueneman, V. Raswant, N. Lutaladio et R. Cooke. Accra.
14. Vinod, G.S. et Nair, V.M. 1992. Effect of slow release nitrogenous fertilizers on the growth and yield of cassava. *J. Root Crops* (Special issue), 17: 123-125.
15. Nayar, T.V.R., Suja, G., Susan John, K. et Ravi, V. 2007. Cassava agronomy in India – Low input management. Dans CIAT. *Cassava research and development in Asia: Exploring new opportunities for an ancient crop*, par R.H. Howeler, éd. Actes du 7^{ème} atelier de travail régional, tenu à Bangkok, Thaïlande. Oct. 28- Nov. 1, 2002. Bangkok. pp. 183-203.
16. Hauser, S. 2012. Natural resource management in cassava and yam production systems. Dans IITA. *R4D Review* 9:35-39. B. Vanlauwe et K. Lopez, éd. Ibadan, Nigéria.
17. Makinde, E.A., Saka, J.O. et Makinde, J.O. 2007. Economic evaluation of soil fertility management options on cassava-based cropping systems in the rain forest ecological zone of South Western Nigeria. *Afr. J. Agric. Res.*, 2: 7-13.
18. Pypers, P., Sanginga, J.M., Kasereka, B., Walangululu, M. et Vanlauwe, B. 2011. Increased productivity through integrated soil fertility management in cassava-legume intercropping systems in the highlands of Sud-Kivu, DR Congo. *Field Crops Res.*, 120: 76-85.
19. Hauser, S., Nolte, C. et Carsky, R.J. 2006. What role can planted fallows play in the humid and sub-humid zone of West and Central Africa? *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 76(2-3): 297-318.
20. Mutsaers, H.J.W., Ezuma, H.C. et Osiru, D.S.O. 1993. Cassava-based intercropping: A review. *Field Crop Res.*, 34: 431-457.
21. Howeler, R.H. 2012. Soil fertility maintenance: Organic solutions. Dans R.H. Howeler, éd. *The cassava handbook – A reference manual based on the Asian regional cassava training course, held in Thailand*. Cali, Colombie, CIAT. pp. 469-496.
22. Cadavid, L.F., El-Sharkawy, M.A., Acosta, A. et Sanchez, T. 1998. Longterm effects of mulch, fertilization and tillage on cassava grown in sandy soils of northern Colombia. *Field Crops Res.*, 57: 45-56.
23. FAO. 2001. *Conservation agriculture. Case studies in Latin America and Africa*. Rome.
24. Pypers, P., Bimponda, W., Lodi-Lama, J.P., Lele, B., Mulumba, R., Kachaka, C., Boeckx, P. et Vanlauwe, B. 2012. Combining mineral fertilizer and green manure for increased, profitable cassava production. *Agron. J.*, 104: 1-10.
25. Howeler, R. 2001. *Nutrient inputs and losses in cassava-based cropping systems – Examples from Viet Nam and Thailand*. International workshop on nutrient balances for sustainable agricultural production and natural resource management in Southeast Asia. Bangkok, Thaïlande, 20-22 fév. 2001. Colombo, IWMI.
26. Müller-Sämman, K.M. et Leihner, D.E. 1999. *Soil degradation and crop productivity research for conservation technology development in Andean hillside farming*. Rapport finale – GTZ Project. Stuttgart, Germany, Institute of Plant Production and Agroecology in the Tropics and Subtropics, University of Hohenheim.

Chapitre 6: Ravageurs et maladies

1. FAO. 2011. *Produire plus avec moins. Guide à l'intention des décideurs sur l'intensification durable de l'agriculture paysanne*. Rome.
2. Alvarez, E. 2010. Cassava diseases in Latin America, Africa and Asia. Dans R.H. Howeler, éd. *A new future for cassava in Asia: Its use as food, feed and fuel to benefit the poor*. Actes du 8ème atelier de travail régional, tenu à Vientiane, Lao RDP. Oct. 20-24, 2008. pp. 590-629.
3. Alvarez, E., Llano, G.A. et Mejia, J.F. 2012. Cassava diseases in Latin America, Africa and Asia. Dans R.H. Howeler, éd. *The cassava handbook – A reference manual based on the asian regional cassava training course, held in Thailand*. Cali, Colombie, CIAT. pp. 258-304.
4. Bellotti, A.C., Herrera, C.L., Hernandez, M.P., Arias, B., Guerrero, J.M. et Melo, E.L. 2010. Three major cassava pests in Latin America, Africa and Asia. Dans R.H. Howeler, éd. *A new future for cassava in Asia: Its use as food, feed and fuel to benefit the poor*. Actes du 8ème atelier de travail régional, tenu à Vientiane, Lao RDP. Oct. 20-24, 2008. pp. 544-577.
5. Bellotti, A.C., Herrera, C.L., Hernandez, M.P., Arias, B., Guerrero, J.M. et Melo, E.L. 2012. Cassava Pests in Latin America, Africa and Asia. Dans R.H. Howeler, éd. *The Cassava Handbook – A reference manual based on the asian regional cassava training course, held in Thailand*. Cali, Colombie, CIAT. pp. 199-257.
6. IITA. 2009. *Laboratory manual for the diagnosis of cassava virus diseases*, par P.L. Kumar et J.P. Legg, éd. Ibadan, Nigéria.
7. Legg, J.P., Jeremiah, S.C., Obiero, H.M., Maruthi, M.N., Ndyetabula, I., Okao-Okuja, G., Bouwmeester, H., Bigirimana, S., Tata-Hangy, W., Gashaka, G., Mkamillo, G., Alicai, T. et Kumar, P.L. 2011. Comparing the regional epidemiology of cassava mosaic and cassava brown streak virus pandemics in Africa. *Virus Res.*, 159(2): 161-170.
8. Chakrabarti, S.K. 2012. *Solutions in sight to control the cassava mosaic disease in India*. Note d'information préparée pour la FAO. (mimeo)
9. Araham, K., Edison, S., Sreekumari, M.T., Sheela, M.N., Unnikrishnan et Pillai, S.V. 2010. Recent progress in cassava breeding in India. Dans R.H. Howeler, éd. *A new future for cassava in Asia: its use as food, feed and fuel to benefit the poor*. Actes du 8ème atelier de travail régional, tenu à Vientiane, Lao RDP. Oct. 20-24, 2008. Cali, Colombie. CIAT. pp.233-240.
10. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). 2006. *Improved cassava for the developing world*. Annual Report 2006. Project IP-3. Cali, Colombia, CIAT. pp. 11-28.
11. Ubalua, A.O. et Oti, E. 2007. Antagonistic properties of *Trichoderma viride* on post-harvest cassava root rot pathogens. *Afr. J. Biotechnol.*, 6(21): 2447-2450.
12. Fondong, V.N., Thresh, J.M. et Zok, S. 2002. Spatial and temporal spread of cassava mosaic virus disease in cassava grown alone and when intercropped with maize and/or cowpea. *J. Phytopathology*, 150: 365-374.
13. Gold, S.G., Altieri, M.A. et Bellotti, A.C. 1990. Direct and residual effects of short duration intercrops on cassava whiteflies *Aleurotrachelus socialis* and *Trialeurodes variabilis* (Homoptera: Aleyrodidae) in Colombia. *Agric., Ecosyst. Environ.*, 32: 57-67.
14. Gold, C.S., Altieri, M.A. et Bellotti, A.C. 1989. Effects of cassava varietal mixtures on the whiteflies *Aleurotrachelus socialis* and *Trialeurodes variabilis* in Colombia. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 53(3): 195-202.
15. Rojanaridpiched, C., Thongnak, N., Jeerapong, L. et Winotai, A. 2012. *Rapid response to the accidental introduction of the mealybug, Phenacoccus manihoti, in Thailand*. Note d'information préparée pour la FAO. (mimeo)
16. IITA. 2004. *IITA Brief: Biological control*. Ibadan, Nigéria.
17. Leihner, D. 2002. Agronomy and cropping systems. Dans R.J. Hillocks, J.M. Thresh et A.C. Bellotti, éd. *Cassava, production and utilization*. Wallingford, Royaume-Uni, CAB International. pp. 91-113.
18. Olorunmaiye, P.M. 2010. Weed control potential of five legume cover crops in maize/cassava intercrop in a Southern Guinea savanna ecosystem of Nigeria. *Aust. J. Crop Sci.*, 4(5): 324-329.
19. Doll, J.D. et Piedrahita, C.W. 1978. *Methods of weed control*. Cali, Colombie, CIAT.
20. Doll, J.D., Piedrahita, C.W. et Leihner, D.E. 1982. Métodos de control de malezas en yuca (*Manihot esculenta* Crantz). Dans CIAT. *Yuca: Investigación, producción y utilización*. Referencia de los cursos de capacitación sobre yuca dictados por el CIAT, Cali, Colombia. New York, États-Unis, PNUD et Cali, Colombie, CIAT. pp. 241-249.
21. Leihner, D.E. 1980. Cultural control of weeds. Dans E.J. Weber, J.C. Toro et M. Graham, éd. *Cassava cultural practices*. Actes d'un atelier, tenu à Salvador, Bahia, Brésil. March 18-21, 1980. pp. 107-111.

Chapitre 7: Récolte, opérations après récolte et valeur ajoutée

1. Martwanna, C., Sarawat, P., Limsila, A., Tangsakul, S., Wongwiwatchai, C., Kebwai, S., Watananonta, W. et Howeler, R.H. 2009. Cassava leaf production research conducted in Rayong and Khon Kaen, Thailand. *Dans* R.H. Howeler, éd. *The use of cassava roots and leaves for on-farm animal feeding*. Actes d'un atelier régional, tenu à Hué, Viêt Nam, Jan. 17-19, 2005. pp. 66-88.
2. Howeler, R.H. 2012. Cassava leaf production for animal feeding. *Dans* R.H. Howeler, éd. *The cassava handbook – A reference manual based on the Asian regional cassava training course, held in Thailand*. Cali, Colombie, CIAT. pp. 626-648.
3. Latham, M.C. 1979. *Human nutrition in tropical Africa*. Rome, FAO.
4. Lutaladio, N.B. et Ezumah, H.C. 1981. Cassava leaf harvesting in Zaire. *Dans* E. Terry, K. Odoro et F. Caveness, éd. *Tropical root crops: Research strategies for the 1980s*. Ibadan, Nigéria, IITA. pp. 134-136.
5. Nweke, F. 2004. *New challenges in the cassava transformation in Nigeria and Ghana*. EPTD discussion paper No. 118. Washington, DC, IFPRI.
6. Westby, A. et Adebayo, K. 2012. *Production of high-quality cassava flour to link farmers to markets*. Note d'information préparée pour la FAO. (mimeo)
7. Ceballos, H., Sánchez, T. et Dufour, D. 2012. *Developing cassava varieties with unique starch characteristics*. Note d'information préparée pour la FAO. (mimeo)
8. FAO. 2007. *Guía técnica para producción y análisis de almidón de yuca*. Boletines de servicios agrícolas de la FAO Number 163. Rome.
9. Howeler, R.H. 2012. Recent trends in production and utilization of cassava in Asia. *Dans* R.H. Howeler, éd. *The cassava handbook – A reference manual based on the Asian regional cassava training course, held in Thailand*. Cali, Colombie, CIAT. pp. 1-22.
10. IFAD. 2012. *Global consultation on cassava as a potential bioenergy crop*, par E. Kueneman, V. Raswant, N. Lutaladio et R. Cooke. Accra.
11. Kanto, U., Tirawattanawanich, C., Juttupornpong, S., Promthong, S. et Moonthong, O. 2009. Advantages of cassava in animal health improvement. *Dans* R.H. Howeler, éd. *The use of cassava roots and leaves for on-farm animal feeding*. Actes d'un atelier régional, tenu à Hué, Viêt Nam, Jan. 17-19, 2005. pp. 187-203.
12. Wanapat, M., Chanthakhoun, V., Cherdthong, A. et Wanapat, S. 2010. Development of practical uses of cassava as feed for livestock. *Dans* R.H. Howeler, éd. *A new future for cassava in Asia: Its use as food, feed and fuel to benefit the poor*. Actes du 8ème atelier de travail régional, tenu à Vientiane, Lao RDP, Oct. 20-24, 2008. pp. 691-696.
13. Buitrago, J.A. 2012. Dry cassava root and foliage meal for poultry, swine and ruminants. *Dans* R.H. Howeler, éd. *The cassava handbook – A reference manual based on the Asian regional cassava training course, held in Thailand*. Cali, Colombie, CIAT. pp. 665-692.
14. Le Duc, N. et Nguyen, T.H.L. 2007. The use of cassava roots and leaves for feeding pigs in Vietnam. *Dans* R.H. Howeler, éd. *Cassava research and development in Asia. Exploring new opportunities for an ancient crop*. Actes du 7ème atelier de travail régional, tenu à Bangkok, Thaïlande. Oct. 28-Nov. 1, 2002. pp. 518-522.

Chapitre 8: La marche à suivre

1. FAO. 2011. *Produire plus avec moins. Guide à l'intention des décideurs sur l'intensification durable de l'agriculture paysanne*. Rome.
2. FAO/IBPGR. 1998. *Technical guidelines for the safe movement of cassava germplasm*, par E.A. Frison et E. Feliu, éd. Rome.
3. FAO. 2012. *Perspectives de l'alimentation. Analyse des marches mondiaux – Novembre 2012*. Rome.
4. San Miguel Pure Foods. 2009. *Nourishing and nurturing families worldwide – Cassava assembler*. (<http://sanmiguelpurefoods.com/?p=166>).
5. Braun, A.R. et Hocdé, H. 2000. Farmer participatory research in Latin America: Four cases. *Dans* W.W. Stur, P.M. Horne, J.B. Hacker et P.C. Kerridge, éd. *Working with farmers: The key to adoption of forage technologies*. Actes d'un atelier international, tenu à Cagayan de Ora, Mindanao, Les Philippines, 12-15 Oct. 1999. Canberra, ACIAR. pp. 32-53.
6. Howeler, R.H. 2008. Results, achievements and impact of the Nippon Foundation Cassava Project. *Dans* R.H. Howeler, éd. *Integrated cassava-based cropping systems in Asia. Working with farmers to enhance adoption of more sustainable production practices*. Actes de l'atelier de travail sur le projet manioc de la Fondation Nippon en Thaïlande, Viêt Nam et Chine, tenu à Thai Nguyen, Viêt Nam. Oct. 27-31, 2003. pp. 161-209.
7. FAO. 2005. *Programme de coopération technique. République démocratique du Congo. Appui au développement de l'approche champs écoles paysannes (CEP) - TCP/DRC/2907*. Rapport final de projet. Rome.
8. FAO. 2012. *Appui à la production et protection intégrée du manioc (projet TCP/GAB/3203(D))*. Rapport final de projet. Rome.

Abréviations

CGIAR Groupe consultatif pour la recherche agricole internationale

CIAT Centre international pour l'agriculture tropicale

CBSD Maladie de la striure brune du manioc

CMD Maladie de la mosaïque du manioc

CTCRI Institut central de recherche sur les tubercules, Inde

FAO Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture

FFS Champs-écoles pour agriculteurs

FIDA Fonds international de développement agricole

FPR Recherche participative avec les agriculteurs

ha hectare

IITA Institut international d'agriculture tropicale

IPM Gestion intégrée des ravageurs

ITPGRFA Traité international sur les ressources phylogénétiques pour l'alimentation et l'agriculture

K Potassium

K₂O Oxyde de potassium

N Azote

ONG Organisation non gouvernementale

P Phosphore

P₂O₅ Pentoxyde de phosphore

PIB Produit intérieur brut

t tonne

TUUSI Initiative africaine de soutien à l'innovation et à la dissémination technologiques



Ce guide est le premier d'une série consacrée à l'application pratique, sur des cultures de petits producteurs et des systèmes de production agricole spécifiques, du modèle «Produire plus avec moins» de la FAO. Sa publication intervient alors que la production du manioc s'intensifie à l'échelle mondiale, avec une transition des producteurs utilisant les systèmes traditionnels de culture

vers la monoculture, vers des génotypes à rendement élevé et vers un recours accru aux produits agrochimiques. L'intensification est porteuse de risques considérables, notamment des recrudescences de ravageurs et de maladies et l'épuisement des sols. Ce guide montre comment le modèle «Produire plus avec moins», qui se fonde sur une approche écosystémique, peut aider les pays en développement à éviter les risques inhérents à l'intensification non durable tout en réalisant le potentiel du manioc en termes de rendements plus élevés, de lutte contre la faim et la pauvreté rurale, et de contribution au développement économique national.

ISBN 978-92-5-207641-4



9 789252 076414

I3278F/1/10.13