



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.

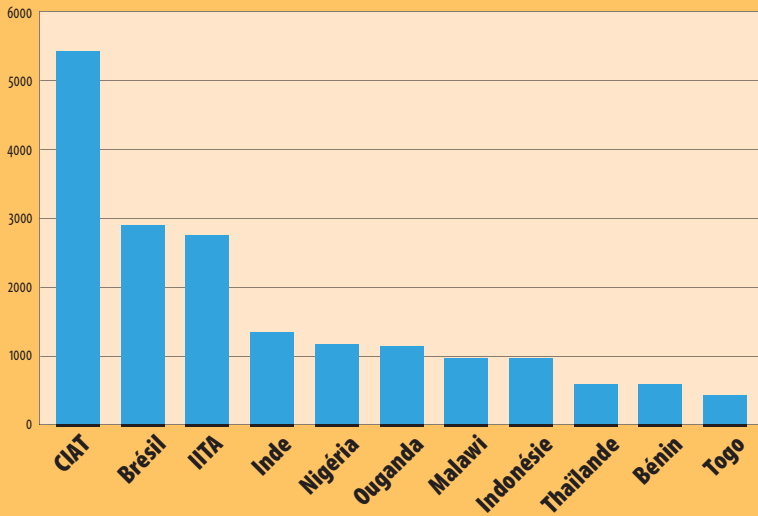
La conservation du pool génique du manioc

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 germplasm 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 germplasm 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

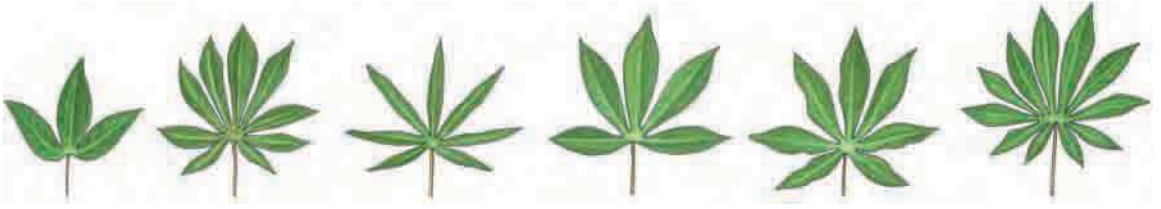
l'intensification durable dans le cadre de systèmes à faible utilisation d'intrants. Cependant, les espèces sauvages de *Manihot* ont fait l'objet de collectes, de déterminations et d'évaluations insuffisantes, et de nombreuses populations sont menacées au sein de leur habitat d'origine⁶. Au Brésil, 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 nigériennes. 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 manioc 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.

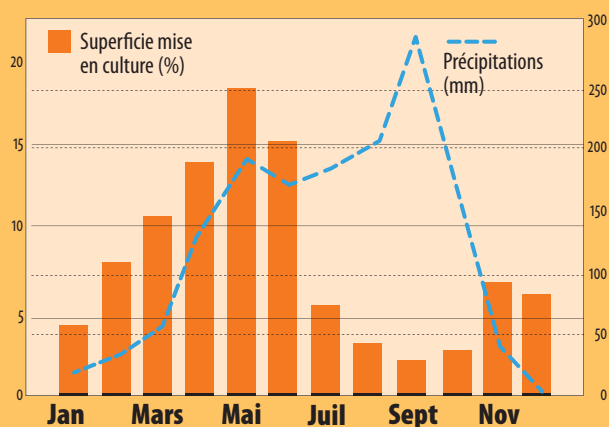
Culture pluviale

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.

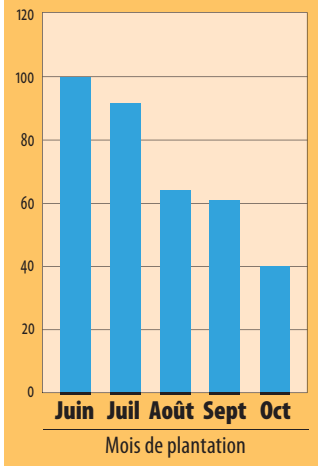
Là où il existe deux saisons des pluies relativement brèves, on peut planter le manioc au début ou au milieu de l'une ou l'autre des saisons des pluies, la récolte intervenant de 10 à 14 mois plus tard, de préférence durant la saison sèche, la teneur en amidon étant alors maximale. Dans l'État du Kerala, 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.

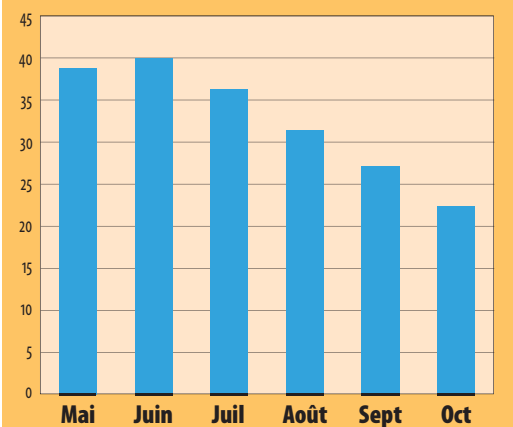
Cependant, des recherches ultérieures sur le même site thaïlandais, utilisant quatre variétés Rayong améliorées, ont lié le rendement maximum à une date de plantation entre août et novembre; planter plus tôt, en avril-mai, ou plus tard, en décembre-mars, donnait des rendements beaucoup plus faibles.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

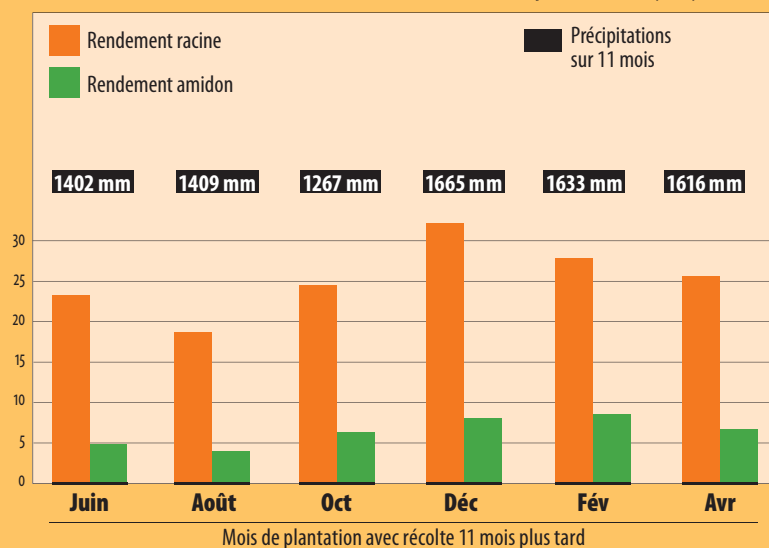
Source: Tableau annexe 4.2

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.

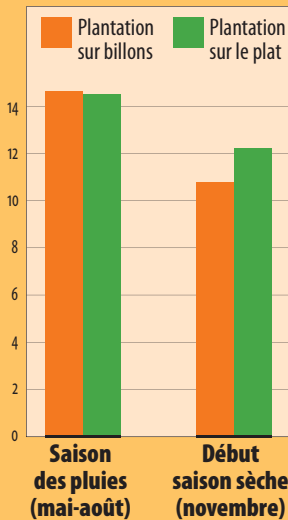
En culture pluviale, les méthodes de plantation doivent être adaptées aux conditions d'humidité du sol. Quand le sol est mal drainé et trop humide suite à des pluies torrentielles, il vaut mieux planter les boutures sur des billons ou des buttes, qui maintiendront les racines au-dessus de l'eau stagnante. 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)



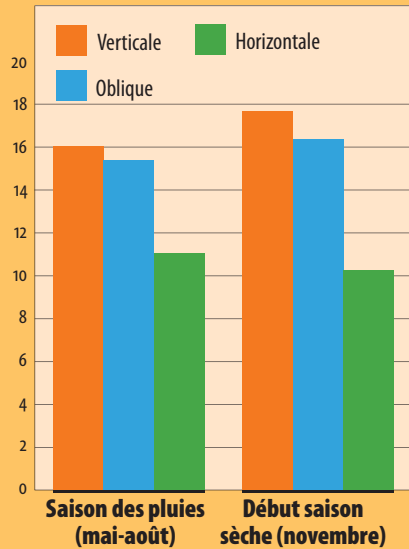
Source: Tableau annexe 4.3

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.

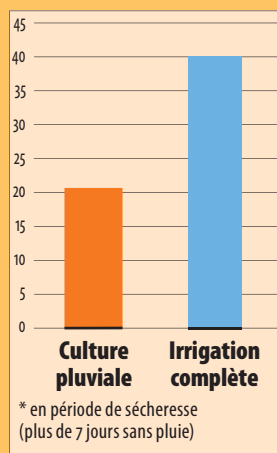
Culture irriguée

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.

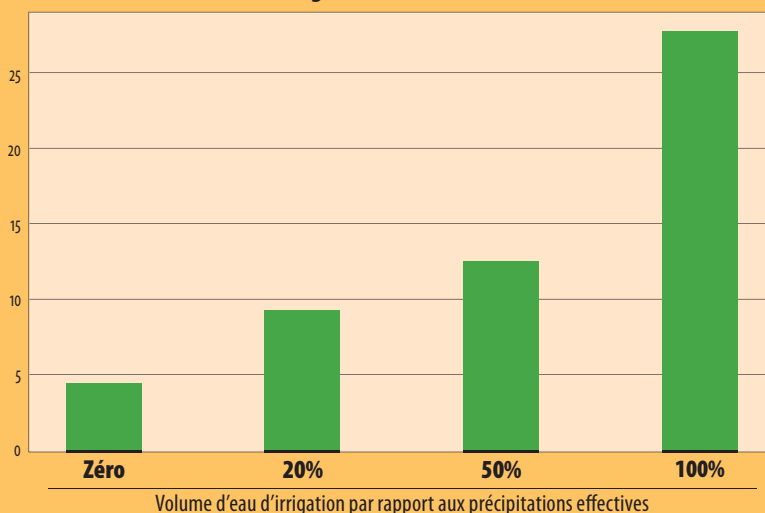
En termes d'efficacité de l'utilisation de l'eau, la méthode la plus effective est le goutte à goutte, qui, en apportant l'eau par petites quantités à intervalles rapprochés, l'économise tout en maintenant l'humidité du sol à un niveau très favorable à la croissance de la plante (outre qu'elle

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

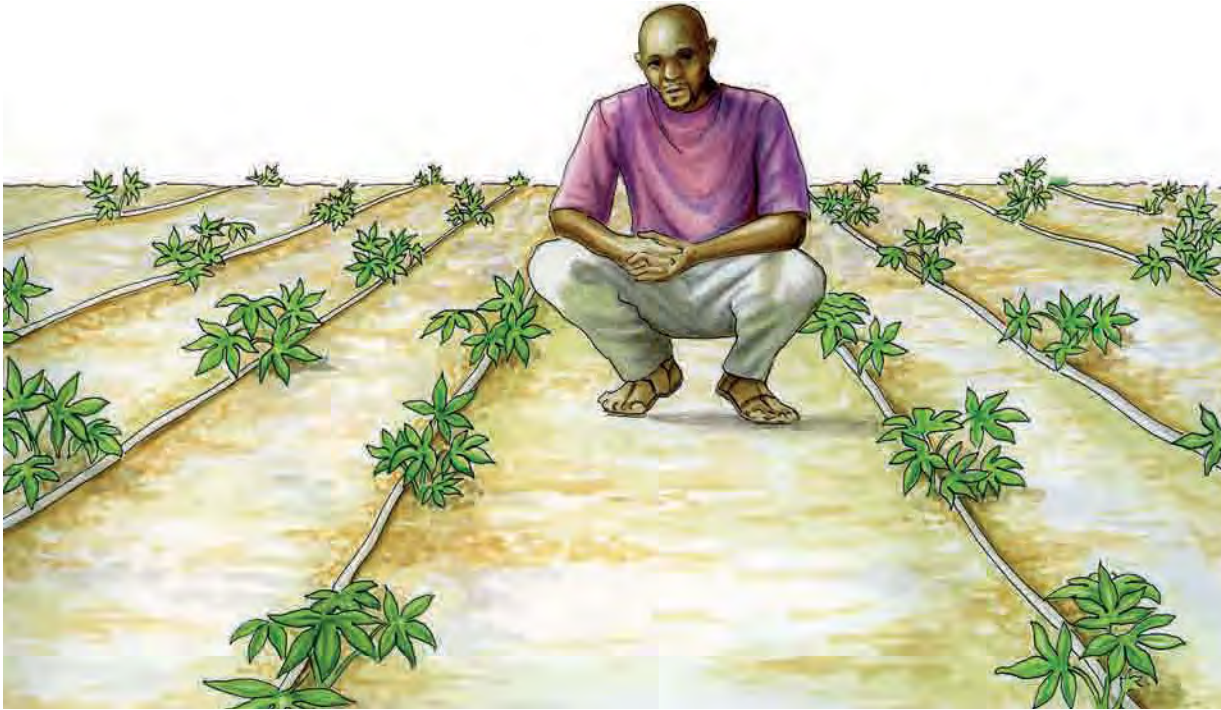


Source: Tableau annexe 4.5

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.