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 image, 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.

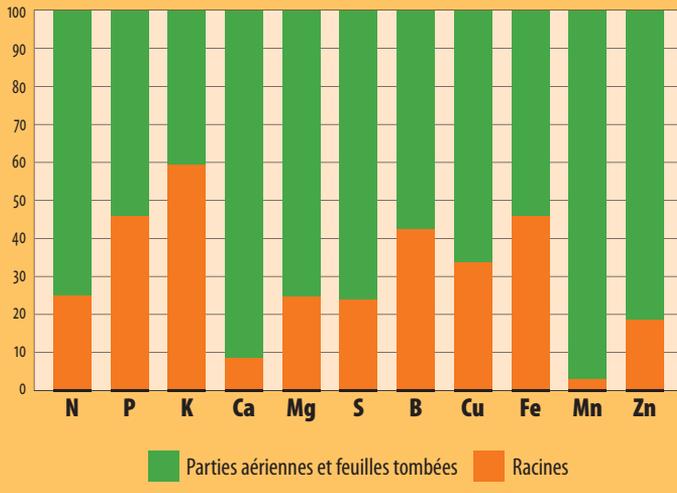
L'impact de la fumure minérale sur l'environnement est une question de gestion: quantité épandue par rapport à la quantité que la récolte va exporter, et méthodes/calendriers d'application. En d'autres termes, c'est l'efficacité de l'utilisation des engrais, et en particulier de l'azote et du phosphore (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.

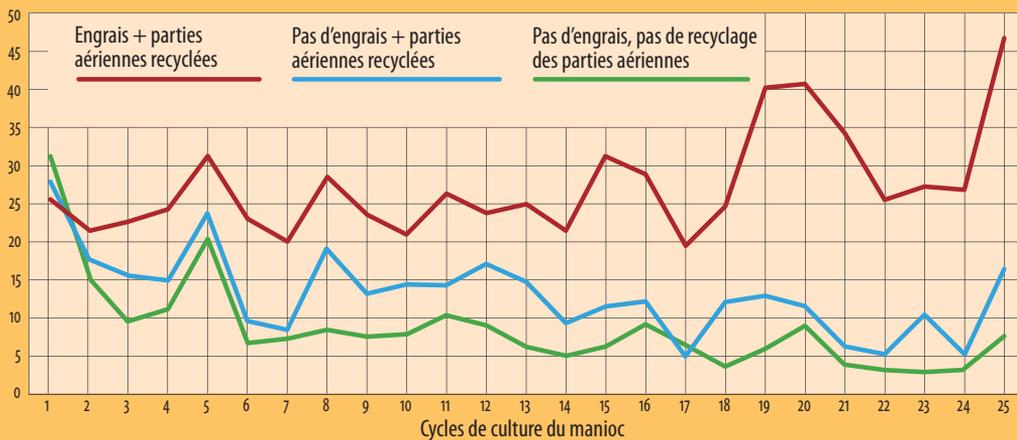
Quand le rendement est élevé et que les résidus de récolte ne sont pas enfouis, de grandes quantités de potassium et d'azote sont prélevées à chaque récolte. Pour préserver et les rendements et la fertilité du sol, le

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.)

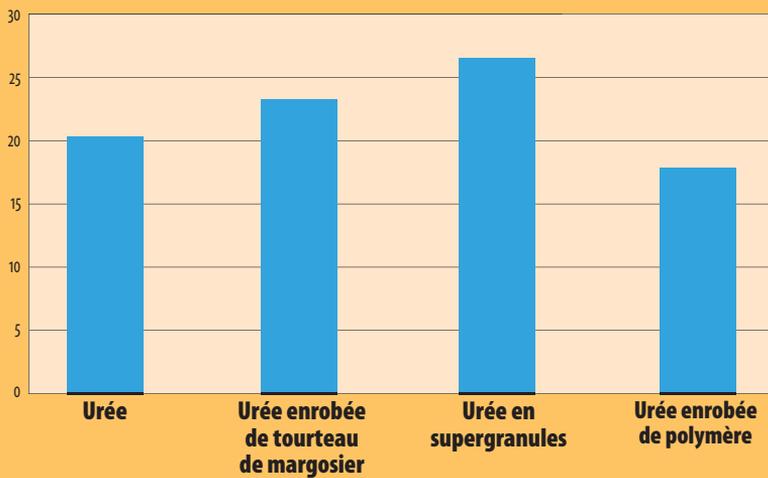
Au départ, le manioc doit recevoir une fumure contenant des quantités égales de N, de pentoxyde de phosphore (P_2O_5) et d'oxyde de potassium (K_2O), soit 500 à 800 kg/ha d'un engrais composé 15-15-15 ou 16-16-16. Cependant, si le manioc est cultivé en continu sur la même terre durant de nombreuses années, 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.

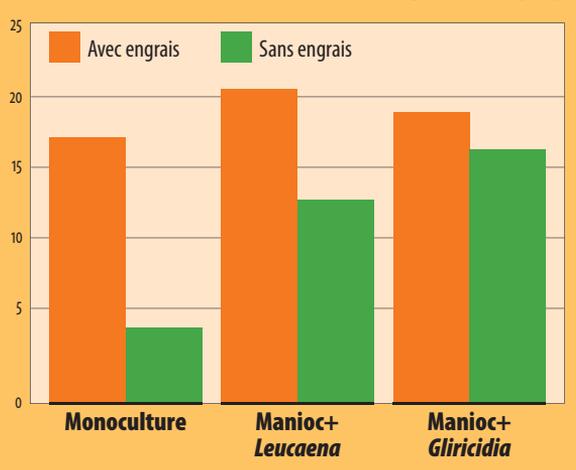
De nombreuses espèces ont été testées comme engrais vert, en Thaïlande et en Colombie, par rapport à leur effet sur le manioc²¹. Les engrais verts utilisés en Colombie comprennent des adventices locales, le pois chiche, l'arachide, le pois mascate (*Mucuna pruriens*), le pois sabre (*Canavalia ensiformis*), 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)

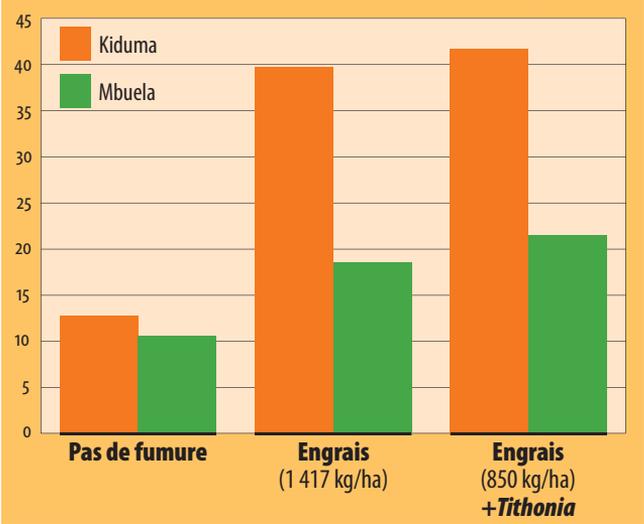
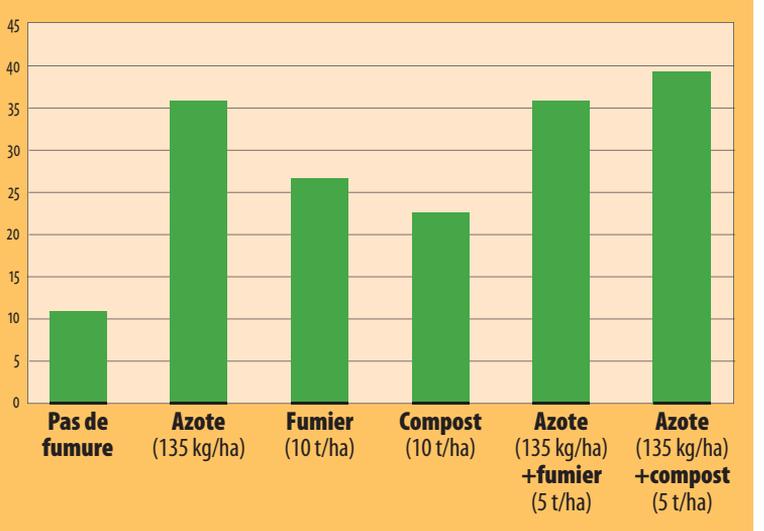


Figure 26 Effets de la fumure organique et minérale sur le rendement frais de manioc, Indonésie (t/ha)



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.

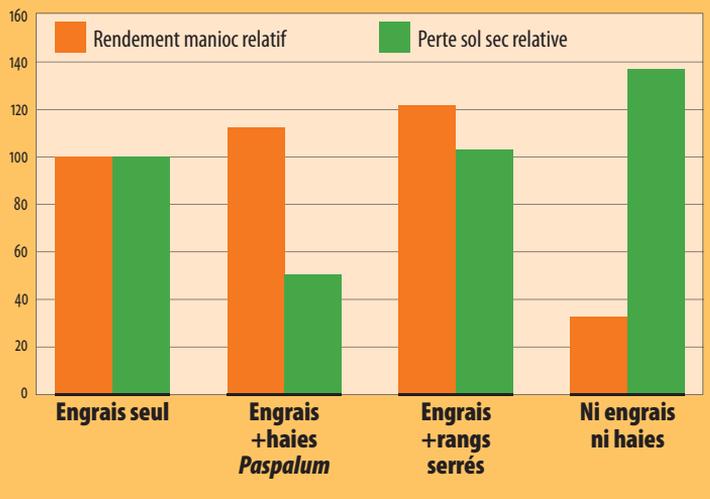
Les pratiques de «Produire plus avec moins» peuvent réduire dans une proportion significative le ruissellement et l’érosion, tout en contribuant à de bons rendements en manioc. Une option est le zéro labour (voir chapitre 2, *Systèmes de production agricole*), qui défend le sol contre l’érosion, ralentit 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 tachetures 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.

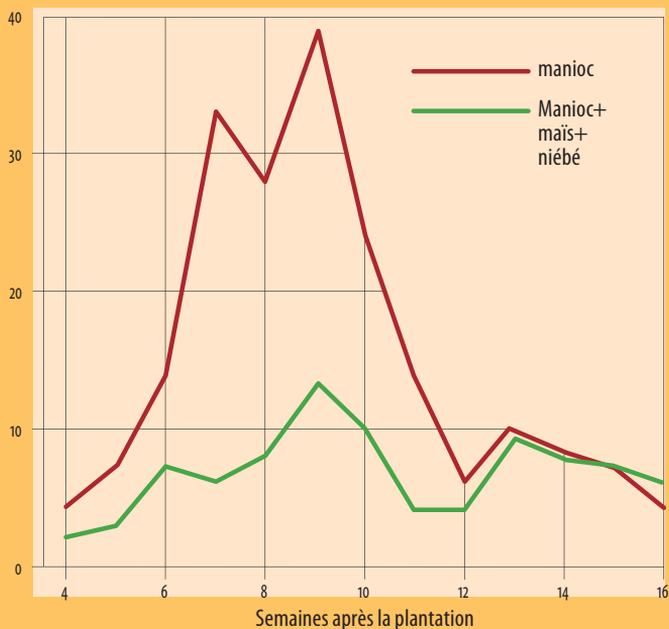
Les aleurodes s'alimentent directement sur les jeunes feuilles de manioc et transportent également des virus, ce qui en fait sans doute l'insecte ravageur le plus redoutable dans chaque région de production du manioc. En Amérique latine, 11 espèces d'aleurodes ont été répertoriées sur le manioc, dont *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 acariens du manioc sont un ravageur important dans toutes les zones de production. Les effets de l'acarien 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

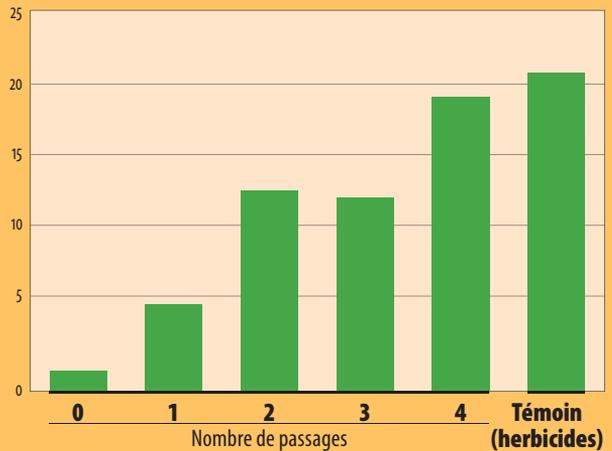
variétés présentant une croissance initiale vigoureuse, et une résistance ou une tolérance aux principaux ravageurs et pathogènes. Planter en rangs serrés et appliquer un engrais adéquat en quantités suffisantes, en bandelettes courtes à proximité des boutures plantées, peut stimuler la croissance initiale 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.