

MICHEL GRIFFON
CIRAD-ECOPOL

BERNARD MALLET
CIRAD-Forêt

EN QUOI L'AGROFORESTERIE PEUT-ELLE CONTRIBUER À LA RÉVOLUTION DOUBLEMENT VERTE ?



L'un des objectifs de la Révolution Doublement Verte est de mieux gérer le renouvellement des ressources naturelles : ici, récolte de bois par un paysan malgache.

One of the main targets of the Doubly Green Revolution is to manage the renewal of natural resources more efficiently : on this photo, wood harvesting by a Malagasy farmer.

L'idée de promouvoir des systèmes de production agricoles très performants, qui ne portent pas atteinte à l'environnement, amène à s'intéresser au rôle joué par l'agroforesterie et, d'une manière plus générale, par les arbres dans la viabilité écologique et économique des écosystèmes cultivés.

La gestion durable des écosystèmes cultivés recouvre deux grands aspects :

□ **La reproduction des fonctionnalités de l'écosystème**, c'est-à-dire la maintenance de l'ensemble des relations entre éléments du système assurant la continuation durable de son fonctionnement, ce qui revient à entretenir le renouvellement des ressources naturelles qui entrent dans les cycles vitaux des écosystèmes (par exemple : cycle de l'eau, du carbone, des principaux nutriments,...) tout en pilotant cette gestion dans le sens d'une production maximale.

□ **La limitation des risques d'atteinte à l'environnement**, c'est-à-dire la réduction des éventuels effets externes négatifs résultant de l'activité productive, donc de la gestion des cycles de renouvellement des ressources (pollutions chimiques) ou de ses conditions d'exercice économique et institutionnel (par exemple, épuisement de ressources laissées en accès libre).

RÔLE DE L'ARBRE

L'étude des sociétés rurales et des systèmes agraires des régions inter-tropicales montre que, dans la majorité des cas, il a toujours existé des interactions fortes entre l'arbre et le paysan. Pour ce dernier, l'arbre est souvent partie intégrante, voire partie intégrée, du paysage rural au sein duquel il vit.

Naturels ou plus rarement plantés, indigènes ou introduits, l'arbre et l'arbuste assurent des fonctions multiples et diversifiées au bénéfice des populations rurales :

- fonctions environnementales (protection des sols, régulation des eaux, maintien de la diversité biologique...) et agroécologiques (maintien de la fertilité des sols, effets microclimatiques sur le milieu...);
- rôles de production (bois, fourrages, aliments et condiments, gommés, éléments de pharmacopée...) ou de structuration de l'espace rural et du paysage (délimitation foncière, organisation des espaces agrosylvopastoraux...);



L'arbre fait partie intégrante du paysage rural à Madagascar.
The tree is an integral part of the rural landscape, in Madagascar.

LA PROBLÉMATIQUE DE LA RÉVOLUTION DOUBLEMENT VERTE

Le concept de Révolution Doublement Verte et les premières expériences qui en ont découlé sont issus des limites et dangers que recèle la Révolution Verte. Cette dernière est née dans les années 70, en Inde, afin d'accroître massivement et rapidement la production alimentaire. L'inspiration principale du modèle technique qui la caractérise provient de la grande mutation agricole des Etats-Unis et de l'Europe de l'après-guerre. On peut en résumer le contenu de la manière suivante (GRIFFON, 1997) :

- Il y a spécialisation des cultures, établissement d'une monoculture (riz, blé, maïs), souvent même monovariétale, en utilisant des variétés à haut rendement.
- On artificialise le milieu et on assure la maîtrise la plus complète possible de l'environnement écologique des cultures et des animaux, souvent par la mécanisation et l'utilisation d'intrants de contrôle des ravageurs, adventices et maladies.
- On utilise intensivement des intrants nutritifs efficaces (nutriments des plantes, aliments composés des animaux).
- On met en place un cadre économique et institutionnel, favorable à la production, grâce à des politiques publiques assurant la sécurité des débouchés, la stabilité des prix relatifs et souvent en subventionnant les prix agricoles.

Avec le temps, que ce soit dans les régions de Révolution Verte ou ailleurs, la production intensive rencontre des problèmes graves en raison des effets externes que les techniques utilisées génèrent :

- Dans l'agriculture irriguée, il peut y avoir épuisement des nappes phréatiques, salinification des sols par un usage excessif d'eaux fossiles, et pollution des eaux par les produits phytosanitaires et les engrais.
- Dans les régions d'agriculture pluviale, les systèmes intensifs peuvent subir les attaques renouvelées du parasitisme tellurique, la concurrence des mauvaises herbes difficiles à contrôler, les pertes en engrais par lessivage ou évaporation, ce qui limite leur efficacité, accroît les coûts et contribue aux pollutions ; le travail du sol peut aussi entraîner de l'érosion en particulier dans les pentes.

A toutes ces difficultés s'ajoutent les effets causés par l'abandon des politiques de soutien à l'agriculture ; l'ajustement structurel, la libéralisation et l'ouverture économique renchérissent les prix des intrants, accroissent l'instabilité des prix et augmentent les risques liés au marché. L'ensemble débouche sur la réduction des marges, le reflux des dépenses en intrants et *in fine* le plafonnement – quelquefois la baisse – des rendements dans des régions entières comme, par exemple, dans la vallée du Gange (PINGALI, ROSEGRANT, 1994).

La Révolution Doublement Verte propose de résoudre à la fois les problèmes environnementaux (réduire les effets externes négatifs), mieux gérer le renouvellement des ressources naturelles utiles à la production, tout en maintenant et même en augmentant si possible les rendements. Cette démarche suppose de nouveaux systèmes de production basés sur des raisonnements nouveaux (GRIFFON, 1997).

Dans la Révolution Verte, on cherchait à transformer fondamentalement le milieu – conception éradicatrice de l'écosystème – pour y substituer un système de production maîtrisable par l'utilisation de techniques de contrôle et de forçage afin d'obtenir une haute productivité. Avec la Révolution Doublement Verte, on cherche, au contraire, à respecter et utiliser l'ensemble des lois qui assurent la reproduction de l'écosystème et de ses fonctionnalités – en particulier la reproduction de la fertilité – afin d'en tirer le meilleur parti possible. On respecte ainsi le cadre de viabilité du système au plan écologique et économique tout en optimisant la production du système ; on lui assure une meilleure résilience. Les techniques utilisées tendent donc à s'intégrer dans le fonctionnement systémique de l'écosystème ou à l'accompagner.

- dimensions économiques (revenus, capitalisation...), sociales (l'arbre à « palabre »...), culturelles et religieuses...

L'arbre est donc une composante souvent forte mais trop souvent sous-estimée du monde rural des régions intertropicales (MALLET *et al.*, 1997). C'est pourquoi nous nous proposons d'analyser son rôle dans la gestion des principaux cycles de ressources des écosystèmes cultivés dans le cadre des contraintes et limites qui leur sont propres.

PAR RAPPORT À L'EAU

En agriculture pluviale intensive, le sol est mis à nu et travaillé. L'absence de couvert végétal, pendant de longues phases du cycle climatique, risque de favoriser le ruissellement des eaux de pluie aux dépens de l'infiltration et donc d'assécher progressivement le milieu. La gestion du cycle hydrique consiste donc à retenir l'eau en limitant les ruissellements pour alimenter la réserve en eau des sols et les nappes phréatiques ou la retenir dans les réservoirs pour garantir les apports ultérieurement nécessaires à la biomasse utile ; c'est aussi faciliter le drainage et l'évapotranspiration si l'eau est en excès. Les arbres peuvent jouer dans ce cycle un rôle très important (ROUPSARD, 1997) : ils constituent dans les pentes des obstacles au ruissellement par la couverture qu'ils assurent et leur enracinement ; ils maintiennent aussi des microclimats humides sous leur couvert, depuis une échelle microlocale jusqu'à une échelle régionale par la participation au cycle journalier d'évaporation-condensation.

Les arbres peuvent aussi assainir des zones à excès d'eau. Les perturbations dans la dynamique des nappes phréatiques des grandes vallées, où le pompage dans les nappes est généralisé (par exemple en Inde), entraînent souvent des excès d'eau locaux (résurgence de nappes suralimentées) dont l'impor-

tance est croissante. Des plantations d'assainissement, à vocation productrice et amélioratrice, peuvent être envisagées, telles les plantations de filaos pendant quatre ans à Pondichéry (DRUESNE, 1998). Dans certains cas, les arbres réduisent la salinité et la sodicité accumulées dans les sols, par exemple avec *Acacia nilotica* et *Eucalyptus tereticornis* utilisés en Inde (GREWAL, ABROL, 1986).

DANS LA PROTECTION CONTRE L'ÉROSION ET L'AMÉLIORATION DE LA STRUCTURE DES SOLS

L'érosion est souvent une externalité de l'agriculture sur sol nu. L'absence de couvert favorise l'agression par la pluie et le vent. Le sol peut être protégé par des plantes de couverture (couvertures vivantes) ou par des mulchs (couvertures mortes), mais aussi par des couverts boisés naturels, des plantations, des plantations sous ombrage ou des jardins ligneux. L'érosion pluviale peut être réduite par des haies associées ou

non à des banquettes, comme dans les travaux sur l'utilisation de haies vives de *Calliandra calothyrsus* à La Réunion (TASSIN *et al.*, 1995). Les haies peuvent aussi réduire l'érosion éolienne ; ainsi, s'intéresse-t-on particulièrement aux multiples variétés de bambou dont les capacités fixatrices sont très importantes, et qui ont eu en même temps un rôle dans l'accumulation d'éléments nutritifs et la production de bois d'œuvre ou de nourriture. Les arbres améliorent aussi la structure des sols par une action mécanique : fragmentation par les racines principales des horizons compacts et indurés, réseau dense de racines, en particulier les plus fines, effet volumique des mycorhizes (ATKINSON *et al.*, 1983) mais l'action principale sur la structure résulte de l'apport de matière organique par les litières.

DANS LE CYCLE BIOMASSE – MATIÈRE ORGANIQUE

La matière organique issue de la décomposition de la biomasse joue un rôle clé dans l'apport nutritif, la

structure et le degré d'humidité du sol, donc dans la fertilité générale de celui-ci. Pour que la décomposition de la biomasse s'opère, il faut des conditions d'humidité et de température satisfaisantes et relativement tempérées. Sur sol nu, les agressions de la haute température et des radiations solaires ne le permettent pas. Par ailleurs les hautes températures sont nuisibles à la croissance des cultures (HARRISSON, MURRAY, LAB, 1979). La forêt tropicale est le milieu idéal de reproduction de la matière organique en raison des apports permanents de biomasse et du milieu humide et tempéré qu'elle entretient au niveau du sol (NYE, GREENLAND, 1960). Un tel milieu peut être reconstitué par des mulchs épais et des couvertures vivantes, mais l'agroforesterie peut aussi reproduire en s'en approchant les conditions qui permettent la formation et l'entretien de la couche fertile d'humus forestier. L'intégration dans la jachère d'espèces forestières légumineuses apporte au sol une quantité importante de matière organique (plusieurs tonnes de matière sèche à l'hectare) via les chutes de litières (PELTIER *et al.*, 1995). De même, l'intégration d'*Erythrina poeppigiana* comme espèce agroforestière associée au café, au Costa Rica, permet à la fois d'avoir un effet microclimatique et de produire une masse importante de matière organique.

En réduisant les extrêmes des températures, l'ombrage tempère la vitesse de décomposition de la matière organique, réduit et étale les pics de minéralisation que l'on observe en sol nu et découvert, qui font perdre des éléments nutritifs par lessivage ou émission gazeuse. Un couvert arborescent permet donc une meilleure répartition dans le temps de la décomposition de la litière d'autant plus que l'on peut en partie gérer le phénomène (par exemple, en ajoutant si nécessaire de la litière par émondage) de façon à synchroniser la libération des éléments nutritifs



Les haies, élément de structuration de l'espace rural au Costa Rica.
Hedges, helping to structure the countryside in Costa Rica.

issus de la décomposition avec les besoins des plantes cultivées sous les arbres (SWIFT, 1985).

DANS LA GESTION DE LA REPRODUCTION DE LA FERTILITÉ MINÉRALE

Dans l'agriculture intensive, les exportations minérales du système de production sont compensées en très grande partie par des apports d'engrais chimiques. Mais les pertes par lessivage et par décomposition gazeuse peuvent être importantes et générer des pollutions. Pour réduire celles-ci ainsi que pour éviter de consommer des ressources en éléments minéraux, dont les quantités sont limitées à l'échelle de la planète notamment pour le phosphore (PENNING, de VRIES, KEUTEN, RABBINGE, 1994), il convient de recycler le plus possible ces éléments minéraux contenus dans la biomasse non utilisée. Outre les résidus de récolte, il peut s'agir de mulchs de plantes annuelles ou de feuilles d'arbres dans une agroforêt. Les arbres, par leur enracinement profond (et l'architecture de cet enracinement), peuvent aussi réassimiler les éléments lessivés dans les horizons profonds des sols, et contribuer par le feuillage à les réintroduire dans le cycle ; c'est le cas notamment des arbres ayant une forte teneur d'éléments nutritifs dans le feuillage. Enfin, certaines légumineuses ligneuses en association avec des *Rhizobium*, ou d'autres espèces forestières en association avec *Frankia*, peuvent contribuer à fixer l'azote de l'air, comme *Acacia*, *Casuarina*, *Erythrina*, *Inga*, *Leucaena*, *Prosopis*. Les études menées sur l'apport en azote lié à l'intégration dans les jachères d'espèces comme *Acacia polyacantha* au Nord-Cameroun (HARMAND, 1997), ou comme *Acacia mangium* en Côte-d'Ivoire (GALLIANA *et al.*, 1996), confirment l'importance potentielle de tels apports. L'intégration d'*Acacia mangium* et *A. auriculiformis* dans des plantations de cocotiers dépérissantes sur sols très pauvres a ainsi permis

de redynamiser ces plantations, via l'apport de matière organique et d'azote au sol (ZAKRA *et al.*, 1996). Le rôle des micorhizes a de même été mis en évidence dans l'absorption du phosphore. Les espèces ligneuses peuvent aussi contribuer fortement à la restauration de la fertilité des sols.

DANS LA GESTION DES ATTAQUES PARASITAIRES, MALADIES ET RAVAGEURS

La spécialisation de la production agricole et, souvent même, l'emploi d'une seule variété favorisent les pululations et propagations rapides, particulièrement dans les paysages ouverts où les phénomènes sont rapides et massifs. Le compartimentage du paysage par des arbres ralentit les risques de prolifération et donc les réduit. Par ailleurs, certains arbres peuvent s'intégrer dans des stratégies de lutte biologique en raison de leurs vertus particulières (piégeage d'insectes, rôle répulsif...). La présence d'une strate arborée au-dessus des plantations de cacaoyers, en Côte-d'Ivoire et au Cameroun, est ainsi un facteur de diminution de l'impact des attaques du miride *Helopeltis sp.*, qui entraînent des pertes importantes et nécessitent la mise en œuvre de traitements phytosanitaires auxquels le petit planteur n'a pas toujours accès. Certaines espèces arborées peuvent également avoir un effet fortement dépressif sur le développement de certains nématodes, favorisant ainsi les cultures associées.

Enfin, la présence d'une strate arborée peut jouer aussi de façon directe ou indirecte sur la qualité ou l'image de certains produits agricoles, comme le café, et devenir alors un facteur positif pour la compétitivité de ces produits.

DANS LA GESTION DU COUVERT VÉGÉTAL ET DANS LA LUTTE CONTRE LES ADVENTICES

En agriculture, la lutte contre les mauvaises herbes se fait par l'usage

d'herbicides ou par intervention directe : travail du sol avant semis, sarclage, binage. Dans les techniques de Révolution Doublement Verte, les mulchs peuvent permettre de contrôler les adventices en leur interdisant l'accès à la lumière. Les arbres, en occupant la strate arborée, font de même mais limitent du même coup l'accès à la lumière des plantes cultivées ; ils sont donc peu utiles à la gestion des adventices sauf dans le cas de plantations sous couvert : par exemple, les cacaoyers sous l'ombrage de grands arbres limitent le développement des adventices, en particulier de *Chromolaena odorata* dans toute les plantations d'Afrique de l'Ouest.

DANS LA GESTION DE L'ALIMENTATION ANIMALE

Les exploitations utilisent les animaux pour la consommation directe, le travail, la fertilisation, la vente et les produits qu'on tire d'eux, ainsi que l'épargne sur pied qu'ils représentent. Leur rôle de traction est particulièrement nécessaire en agriculture avec le travail du sol. Il faut alors réserver une partie de l'assolement à leur alimentation, au détriment d'autres possibilités de production agricole et alimentaire, obligeant les producteurs à intensifier la production fourragère. Les techniques de Révolution Doublement Verte cherchent à réduire le travail du sol et donc le recours aux animaux pour la traction, ce qui allège la contrainte d'assolement pour la production fourragère. Mais si les animaux doivent être conservés du fait de leurs autres fonctions dans le milieu rural (consommation de protéines, fertilisation, épargne), leur alimentation peut aussi être en partie assurée par des arbres fourragers, toujours de manière à limiter la contrainte d'assolement. Ce raisonnement est donc particulièrement adapté aux régions ayant une forte densité de population et connais-

sant une saturation des terroirs. Les espèces fourragères à usages multiples, comme le *Calliandra calothyrsus*, le *Leucaena leucocephala*, pouvant jouer à la fois un rôle de haies vives, de lutte anti-érosive et de production de fourrage d'appoint, sont ainsi particulièrement intéressantes dans cette optique (TASSIN *et al.*).

DANS LA GESTION DU CALENDRIER DE TRAVAIL

En agriculture intensive, la nécessité de contrôler totalement le système de production crée des besoins importants en travail pendant de courtes périodes critiques : le travail du sol, le contrôle des adventices, le contrôle phytosanitaire, quelquefois les récoltes. On essaye au contraire avec les techniques de Révolution Doublement Verte de rendre le calendrier moins encombré et plus souple. Par exemple, l'utilisation de couvertures végétales réduit le temps de travail pour la préparation du sol et le contrôle des adventices. Les interventions sont limitées car on peut obtenir des résultats équivalents à ceux d'une surveillance totale en utilisant les fonctionnalités des écosystèmes ; l'agroforesterie peut donc s'inscrire dans cette perspective. Quant aux temps consacrés aux récoltes d'arbres fruitiers, ils peuvent être très importants mais sont rarement en concurrence avec d'autres activités ; un choix raisonné de variétés d'arbres fruitiers permet d'étaler les périodes de récolte. Il faut cependant modérer ces propos car beaucoup de travail est souvent nécessaire dans la phase d'installation d'un système agroforestier s'il faut planter les arbres et maîtriser les adventices tant que l'ombrage ne remplit pas la fonction de contrôle. Il faut enfin mentionner, concernant les calendriers de travail, que l'utilisation d'arbres pour clôturer les espaces cultivés et empêcher la diva-

gation d'animaux, a tendance à réduire le temps consacré au gardiennage et au mouvement des troupeaux.

DANS LA GESTION DE LA SÉCURITÉ ALIMENTAIRE DES MÉNAGES AGRICOLES

La sécurité alimentaire des ménages ruraux peut être obtenue en recherchant l'autosuffisance vivrière (produire le maximum possible d'aliments et les conserver) ou, à l'autre extrémité, en obtenant des revenus monétaires nécessaires à l'achat des aliments ; dans le second cas, c'est faire confiance à la capacité du marché à assurer un approvisionnement satisfaisant de la demande ; le plus souvent, les deux stratégies coexistent. L'une des grandes difficultés dans le tropique sec consiste à gérer la variabilité interannuelle des récoltes de céréales : une série de mauvaises récoltes réduit les stocks de réserve et rend difficile la « soudure » alimentaire avec la récolte suivante. Le recours aux arbres peut être utile de nombreuses manières :

- Certains arbres fournissent de la nourriture de complément en période de risque de pénurie alimentaire ou, plus généralement, pendant des périodes longues, comme aliment de recours.
- Les jardins agroforestiers de case (*home gardens*), enrichis en espèces fruitières et en espèces produisant des condiments, participent ainsi largement à l'approvisionnement alimentaire – et en particulier vitaminique – des populations rurales tropicales.
- En régions soudano-sahéliennes africaines, le Néré (*Parkia biglobosa*) largement présent dans les parcs agroforestiers associé aux céréales (mil, sorgho,...) fournit ainsi une farine très utilisée dans l'alimentation familiale.

DANS LA GESTION DE LA SÉCURITÉ FINANCIÈRE

Pour les ménages, la sécurité financière est la capacité d'alimenter la trésorerie autant que nécessaire en maintenant un *cash-flow* positif. La saisonnalité de l'agriculture crée toujours des chocs de trésorerie, entraînant une thésaurisation de précaution ou un endettement dont les effets économiques sont limitants. Les arbres créent une valeur sur pied mobilisable sous différentes formes : réserve forestière pour exploitation, bois d'œuvre et perches cultivés vendables selon un calendrier flexible, ressource énergétique vendable en continu, ressource fourragère pouvant être louée, production sur pied mobilisable ou non (comme le cacao qui peut être récolté selon les besoins, les opportunités et les prix).

L'arbre est donc une épargne et un capital qui peut être productif sous de multiples formes : vente de produits procurant des apports en numéraire, rôle fertilisant direct sur certaines productions, rôle écologique indirect par les externalités positives qu'il produit (dépollution, maintien de la viabilité des écosystèmes cultivés). Comme capital, il est susceptible d'être approprié privativement ainsi que l'espace sur lequel il se trouve. Aussi la dynamique de plantation agroforestière est-elle une dynamique d'appropriation de l'espace qui est partie intégrante d'une stratégie de sécurité des ménages. Les agroforêts multipécifiques présentes en Indonésie ou au Vietnam sont un exemple de construction agroforestière dans lesquelles la gestion des différentes espèces arborées est liée aux objectifs de court terme et long terme des paysans (MICHON *et al.*).

Au total, après avoir examiné les différents rôles des arbres dans des dispositifs agroforestiers, on peut conclure qu'ils peuvent avoir un rôle positif dans presque tous les fonctionnements qui concourent à la viabilité des écosystèmes cultivés.

L'agroforesterie est donc un champ de recherche essentiel dans une stratégie de Révolution Doublement Verte mais d'autres voies techniques existent sur la base de cultures annuelles et d'élevage par exemple. On peut donc se demander quels avantages particuliers l'agroforesterie peut offrir par rapport à d'autres techniques.

LES AVANTAGES SPÉCIFIQUES DE L'AGROFORESTERIE

L'analyse qui précède permet de déduire que les arbres sont particulièrement bénéfiques, dans un certain nombre d'environnements que l'on peut caractériser (YOUNG, 1984) par les contextes morphologiques, pédologiques, écologiques, économiques et sociaux :

- les pentes afin de lutter contre l'érosion et de mieux gérer l'eau des bassins versants à des fins productives ;
- les zones où les pertes par lessivage des éléments nutritifs sont importantes afin de réduire les pollutions en aval et les pertes économiques à l'exploitation ;
- les zones où la propagation des maladies et ravageurs est rapide et peut être réduite par la fragmentation du paysage ;
- les zones où l'absence de flexibilité du marché du travail doit se traduire par une grande flexibilité et une faible saisonnalité du calendrier des travaux effectués par les ménages ;
- les zones où il n'y a pas d'autres formes d'épargne aussi facilement accessibles que les plantations : pas de marché financier rural avec épargne bancaire, peu d'élevage ;
- les zones où il existe des infrastructures de marché permettant d'écouler les produits de l'agroforesterie : proximité des villes ou de voies de transport, circuits commer-

ciaux installés et opérateurs capables de créer de nouvelles filières, mais il ne s'agit pas là d'un critère de nécessité ;

- les zones où il existe une propension à l'appropriation privative de l'espace par la plantation et où il n'existe pas de formes institutionnelles de propriété historiquement stabilisées ;
- enfin, les zones où la densité de population est élevée car elles créent des risques environnementaux importants dus à une maîtrise difficile de la gestion des écosystèmes cultivés.

Beaucoup de régions du tropique peuvent donc être potentiellement concernées par le développement des systèmes agroforestiers.

□ **Dans le tropique sec africain,** l'agroforesterie peut favoriser la recolonisation des espaces pastoraux par des graminées et des arbres fourragers sur les plateaux quelquefois dénudés ou dans les pentes proches des zones agricoles. Le Projet Keita, au nord du Niger, montre

qu'il est possible de repeupler les plateaux par de petits aménagements, permettant de récupérer les lames de ruissellement d'eau au profit d'arbustes fourragers plantés en cordons, de reconquérir les pentes par d'autres types d'aménagements réalisés dans le même esprit, de planter des haies fourragères en courbes de niveau et de modifier ainsi en profondeur le paysage en recréant un domaine sylvo-pastoral ; on assiste alors à une croissance notable de l'élevage et des revenus. Sont utilisés particulièrement les *Parkinsonia aculeata*, *Prosopis chilensis*, *Prosopis juliflora*, *Acacia seyal*, *Acacia nilotica*, *Acacia radiana*, *Acacia ocoericea*, *Ziziphus mauritiana*. Les mêmes remarques peuvent être faites pour le Plateau indien et le Nordeste brésilien. Dans les zones plus désertiques, certains arbres peuvent être des fixateurs de dunes ou brise-vent comme *Casuarina*. Dans certaines zones agricoles sahéliennes, les ligneux peuvent se trouver sur les terres de culture. Les parcs à *Faidherbia albida* fixateurs d'azote montrent qu'il existe des



Parc agroforestier à *Faidherbia albida* dans le nord de la Côte-d'Ivoire.
Agroforestry parkland with *Faidherbia albida* in northern Côte-d'Ivoire.

possibilités non négligeables d'accroissement des rendements directement sous les arbres. Le développement – mais aussi la récession – des parcs à Faidherbia dans différentes régions africaines montre les possibilités d'extension de ces systèmes agroforestiers, mais aussi l'importance des facteurs socioéconomiques dans ces dynamiques (BERNARD *et al.*, 1995 ; DEPOMMIER, 1997). On a constaté aussi des rendements plus élevés sur des sols sableux cultivés sous *Acacia senegal* (gommier), *Balanites aegyptiaca* et *Adansonia digitata* (baobab), sans doute en raison des effets positifs d'une évapotranspiration réduite (BERNHARD-REVERSAT, 1982 ; HARMAND, 1997) ou des effets causés par des fientes d'oiseaux et d'animaux utilisant les arbres comme abri.

□ **Dans les zones tropicales de savane**, l'agroforesterie est surtout très utile dans les pentes afin de lutter contre l'érosion – particulièrement l'érosion intense – en association avec le semis direct et les techniques sans labour (HOCDÉ, 1997). Les pentes sont souvent le domaine des petits producteurs qui pratiquent l'élevage. Les haies peuvent assurer des ressources fourragères en saison sèche et faciliter le gardiennage des troupeaux. Dans les zones de grande culture, comme par exemple les zones cotonnières ou céréalières, les haies peuvent « bocager » le paysage (avec certains arbres fourragers sahéliens ou *Ca - janus cajan* ou encore *Leucaena leucocephala*, *Sesbania grandiflora*) et faciliter, là aussi, la cohabitation de l'élevage et de l'agriculture ; elles contribuent à réduire l'érosion et la propagation des maladies ou à réhabiliter des sols dégradés (*Callian - dra* à Java). Des essais de cultures de maïs en couloir ont été réalisés à Ibadan avec *Gliciridia*, *Flemingia* et *Cassia* (YAMOA *et al.*, 1986), *Gli - ciridia* pouvant par ailleurs réhabili-

ter des sols dégradés. Des tentatives semblables existent au Mexique avec *Juniperus sp.* et *Prunus capudi* (ALTIERI *et al.*, 1986). Bien d'autres formules pourraient être imaginées : les parcs agroforestiers à Karité (*Vitellaria paradoxa*), très largement représentés dans les régions de savane en Afrique, sont ainsi des systèmes à la fois traditionnels et à fort potentiel d'évolution en fonction de facteurs économiques dépassant le contexte local ; la possibilité d'intégrer des graisses d'origine végétale dans le chocolat pourrait ainsi « doper » le développement de tels systèmes agroforestiers.

□ **Dans les zones tropicales humides**, l'agroforesterie peut intervenir de multiples manières. Dans les zones de révolution verte en Inde, on assiste à la plantation d'arbres pour utiliser des terres momentanément non irriguées afin d'en vendre les produits. Certains arbres sont associés aux rizières comme les palmiers à sucre en Thaïlande (*Borassus flabellifer* L. (TRÉBUIL, 1988) ou les arbres de ri-

ziculture inondée du Vietnam (TRAN VAN NO, 1983). L'élevage intensif peut être envisagé sur des pâturages eux-mêmes associés à des plantations. Dans les zones de plantation de café et cacao, l'association de ces arbres avec des tubercules et plantains existe de longue date, ainsi qu'avec des arbres d'ombrage ; par exemple en Amérique centrale, citons les plantations de café sous *Erythrina poeppigiana* fixatrice d'azote, qui fournit des paillis d'émondage, ou sous *Inga sp.* associé au bananier, et des plantations de cacaoyers sous *Cordia alliodora*, qui recycle des quantités considérables d'éléments nutritifs (YOUNG, 1995). Les agroforêts présentent de multiples formes de combinaison entre les plantes vivrières (surtout racines et tubercules), bananiers et plantains, caféiers, cacaoyers, palmiers divers, hévéas, arbres précieux etc. Les formes se rencontrent particulièrement dans les pentes, par exemple les jardins ligneux multiétagés des Philippines et les agroforêts de Sumatra.



Association agroforestière multistratée dans le centre de la Côte-d'Ivoire.
Multi-layered agroforestry association in central Côte-d'Ivoire.

□ **Dans le tropique d'altitude** à haute densité de population (Afrique des Hautes Terres, Altiplano d'Amérique centrale, zone andine), le contrôle de l'érosion dans les pentes est un problème majeur. La fixation des sols par des haies aux multiples usages, combinée à l'utilisation de couvertures vivantes, et l'aménagement écologique d'ensemble du paysage, en redistribuant les zones à dominante de cultures pures et les zones à dominante agroforestière afin de mieux maîtriser l'eau, constituent un ensemble de techniques emblématiques de la Révolution Doublement Verte.

□ **Dans les zones périurbaines** et dans les zones rurales à très haute densité de population comme on en trouve dans certaines îles, les arbres interviennent assez naturellement dans les jardins agroforestiers et les jardins de case où ils ont de multiples usages : production de fruits, de fourrages, de produits médicinaux, d'ombrage, bornage et marquage de propriété.

La plupart de ces exemples pré-existent à la définition de la Révolution Doublement Verte, peut-être parce que les sociétés qui utilisent les techniques agroforestières ont expérimenté de longue date d'autres formules et ont conclu que l'agroforesterie était, dans le milieu où elles vivaient, une forme viable optimale ou à défaut satisfaisante. Cet état de fait conforte l'idée que, dans de nombreux cas où les systèmes de production ne sont pas viables, le recours à l'agroforesterie constitue une voie pour la restauration de la viabilité.

CONCLUSION

Il existe de nombreuses techniques permettant une amélioration simultanée du renouvellement des principales ressources qui conditionnent la viabilité des écosystèmes cultivés. Pour chaque écosystème cultivé dont

la viabilité est fragile, il faut trouver une stratégie spécifique de reconstruction et de consolidation de la viabilité. Par exemple, dans le tropique sec, le cycle-clé est celui de l'eau car c'est le cycle le plus critique et déterminant dans la viabilité du système, mais il faut faire attention à la compétition pour l'eau entre les arbres et les cultures. Dans le tropique humide, il s'agirait plutôt du cycle du carbone (matière organique) et du contrôle des mauvaises herbes mais il faut veiller à optimiser la combinaison des rendements entre les différentes strates de culture en tenant compte des baisses de rendement fréquemment observées à l'interface des espaces de culture et de foresterie. Au total, le calcul de viabilité écologique et économique qui permet de choisir entre les multiples formules possibles d'agroforesterie doit vérifier que la différence entre l'ensemble des gains (dans tous les domaines) permis par le nouveau système est supérieur à l'ensemble des pertes qu'il entraîne. L'analyse doit être menée pour les producteurs concernés mais aussi pour les collectivités qui bénéficient des externalités du nouveau système.

Cette approche ouvre des perspectives de recherche nouvelles. La principale est celle de l'amélioration des performances multifonctionnelles des arbres afin de multiplier les « dividendes » que l'on peut obtenir, par exemple : fixation du sol, enracinement profond et maximisation de la litière, éventuellement avec fixation de l'azote, ou encore apport nutritif, épargne sur pied et valorisation comme bois d'œuvre en fin de cycle de vie, ou bien aussi source de compost et d'amélioration de la fertilité...

D'autres recherches seraient utiles dans le domaine de l'optimisation de ces écosystèmes agroforestiers cultivés. En effet, la productivité des cultures annuelles reste fortement liée à la possibilité de mécaniser certaines interventions culturales, ce qui suppose le plus souvent le travail en ligne. La compatibilité avec les

arbres, notamment la réduction des effets négatifs d'interface entre cultures et arbres, est à étudier.

Les systèmes agroforestiers présentent enfin des caractéristiques qui peuvent leur conférer un intérêt particulier en liaison avec la prise en compte des effets environnementaux globaux issus du sommet mondial de Rio, comme la préservation de la biodiversité ou le stockage du carbone.

Les systèmes agroforestiers présentent généralement une biodiversité (au niveau des écosystèmes comme au niveau des espèces ou de la diversité génétique) supérieure à celle des agrosystèmes ; dans certains cas (parcs agroforestiers de régions sèches, agroforêts de régions humides) ils ont une très grande diversité spécifique, les rapprochant plus de celle de la forêt originelle que des agrosystèmes cultivés.

Les systèmes agroforestiers sont également des « puits de carbone » potentiels, moins par les quantités stockées par unité de surface que par les surfaces concernées (les parcs à karité couvrent ainsi au Mali près de 4 millions d'hectares, les « jungle rubber » couvrent plusieurs millions d'hectares en Indonésie), et des aménagements en faveur de tels systèmes agroforestiers pourraient donner aux pays concernés un poids non négligeable dans les discussions en cours sur cette thématique.

En conclusion, on peut affirmer que l'agroforesterie, discipline relativement nouvelle liée à des pratiques souvent anciennes, pourrait être l'un des éléments moteurs de la Révolution Doublement Verte dans le monde intertropical. □

► Michel GRIFFON
Responsable du Programme ECOPOI-CIRAD
45 bis, avenue de la Belle-Gabrielle
94236 NOGENT-SUR-MARNE
France

► Bernard MALLET
Responsable du Programme Arbres
et Plantations forestières
CIRAD-Forêt/Baillarguet

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ALTIERI M. A., TRUJILLO F. J., FARRELL J., 1987.
Plant-insects interactions and soil fertility relations in agroforestry systems : implications for the design of agroecosystems. *In* : Agroforestry realities, possibilities and potentials, H. K. Gholz éd., Dordrecht, Pays-Bas, Nijhoff et ICRAF, p. 89-108.
- ATKINSON D., BHATT K. K. S., MASON P. A., COUTTS M. P., READ D. J. éd., 1983.
Tree root systems and their mycorrhizas. La Haye, Pays-Bas, Nijhoff, 525 p.
- BERNARD C., OULBADET M., OUATARA N., PELTIER R., 1995.
Parcs agroforestiers dans un terroir soudanien, cas du village de Dolékaha au nord de la Côte-d'Ivoire. Bois et Forêts des Tropiques 224 : 25-41.
- BERNHARD-REVERSAT F., 1982.
Biogeochemical cycles of nitrogen in a semi-arid savanna. *Oikos* 38 : 321-332.
- DRUESNE N., 1998.
Révolution Doublement Verte. Les Biovillages à Pondichery. I.F.P., C.S.H., CIRAD/ECOPOL, Document de travail ECOPOL 29, 107 p.
- DEPOMMIER D., 1996.
Structure, dynamique et fonctionnement des parcs à *Faidherbia albida* (Del.) A. Chev. Thèse de doctorat, université Paris VI, France, vol. I et II, 519 p. + annexes.
- GALIANA A., GNAHOVA G. M., CHAUMONT J. *et al.*, 1997.
Improvement of the nitrogen fixation in *Acacia mangium* through inoculation with rhizobium. *Agroforestry systems* 40 : 297-307.
- GREWAL S., ABROL I. P., 1986.
Agroforestry on alkali soils : effect of some management practices on initial growth, biomass accumulation and chemical composition of selected tree species. *Agroforestry systems* 4 : 221-232.
- GRIFFON M. éd., 1997.
Succès et limites des Révolutions Vertes. *In* : Actes du séminaire, 6 septembre 1995, CIRAD, Montpellier, France, p. 7-9.
- GRIFFON M., 1997.
Elements of technological perspectives for a Doubly Green Revolution. *In* : Towards a Doubly Green Revolution, Proceedings of the seminar, Poitiers, France, CIRAD et Fondation Prospective et Innovation, p. 135-153.
- HARMAND J. M., 1997.
Rôle des espèces ligneuses à croissance rapide dans le fonctionnement biogéochimique de la jachère. Effet sur la restauration de la fertilité des sols. Thèse de doctorat, université Paris VI, France, 213 p. + annexes.
- HOCDE H., 1997.
Introduction de mulch, matière organique et autres pratiques dans la petite agriculture centraméricaine : prélude à une Révolution Doublement Verte ? M. Griffon éd. *In* : Succès et limites des Révolutions Vertes, actes du séminaire du 6 septembre 1995, CIRAD, Montpellier, France, p. 161-168.
- HARRISSON-MURRAY R. S., LAL R., 1979.
High soil temperatures and the response of maize to mulching in lowland humid tropics. *In* : Soil physical properties and crop production in the tropics, R. Lal et D. J. Greenland, éd., Chichester, Royaume-Uni, Wiley, p. 285-304.
- MALLET B., DEPOMMIER D., 1997.
L'arbre en milieu rural ou l'émergence de l'agroforesterie. Bois et Forêts des Tropiques 252 : 25-29.
- MICHON G., de FORESTA H., LEVANG P., 1977.
Agriculture forestière ou agroforestière ? Bois et Forêts des Tropiques 228 : 41-47.
- NYE P. H., GREENLAND D. J., 1960.
The soil under shifting cultivation. Technical communication 51. Harpenden, UK, Commonwealth Bureau of Soils, 144 p.
- PELTIER R., DONFACK P., EYOGMATIG O. *et al.*, 1996.
Reboiser les sols dégradés sahéliens. Le cas des sols hardé de la région de Maroua. *In* : Colloque Agricultures des savanes du Nord-Cameroun. Vers un développement solidaire des savanes d'Afrique centrale, novembre 1996, Garoua, Cameroun.
- PENNING DE VRIES F. W. T., VAN KEUTEN H., RABBINGE R., 1994.
Les limites de la production alimentaire en 2040. *In* : Symposium approches écoré-
- gionales, La Haye, Pays-Bas, ISNAR, 12 p.
- PINGALI P., ROSEGRANT M., 1994.
Les conséquences environnementales de la Révolution Verte. Comment y faire face ? *In* : 18^e session de la Commission Internationale du Riz, 5-9 septembre 1994, Rome, Italie, FAO, 8 p.
- ROUPSARD O., 1997.
Ecophysiologie et diversité génétique de *Faidherbia albida* (Del.) A. Chev., un arbre à usages multiples d'Afrique semi-aride. Fonctionnement hydrique et efficacité d'utilisation de l'eau d'arbres adultes en parc agroforestier et de juvéniles en conditions semi-contrôlées. Thèse de doctorat, université de Nancy I, France, tomes I et II, 59 p. + annexes.
- SWIFT M. J. éd., 1985.
Tropical Soil Biology and Fertility (T.S.B.F.) : interregional research planning workshop. *Biology international, Special issue* 9, 24 p.
- TASSIN J., PERRET S., CATTET R., 1995.
Modification de porosité d'un andosol réunionnais sous une haie isohypse de *Calliandra calothyrsus*. Bois et Forêts des Tropiques 245 : 91-96.
- TRAN VAN NAO, 1983.
Agroforestry systems and some research problems. *In* : Plant Research and Agroforestry, P. A. Huxley éd., Nairobi, Kenya, ICRAF : p. 71-77.
- TRÉBUIL G., 1988.
Evaluation of non farm design technologies : application to the adaptation of a new 2-pan stove among the pan sugar producers in Sathing Pha area, Southern Thailand. *In* : Farming System Research in Thailand, P. Singrat, G. Trébuil *et al.* éd., Prince of Sonkhla Un., Kasetsart Un., GRET, p. 139-172.
- YAMOAH C. F., AGBOOLA A. A., WILSON G. G., 1986.
Nutrient competition and maize performance in alley cropping systems. *Agroforestry systems* 4 : 247-254.
- YOUNG A., 1984.
Land evaluation for agroforestry, the task ahead. ICRAF Working Paper 24, 54 p.
- YOUNG A., 1995.
L'agroforesterie pour la conservation du sol. Wageningen, Pays-Bas, C.T.A. et ICRAF, 194 p.

R É S U M É

EN QUOI L'AGROFORESTERIE PEUT-ELLE CONTRIBUER À LA RÉVOLUTION DOUBLEMENT VERTE ?

La Révolution Doublement Verte est à la fois une proposition pour élaborer de nouveaux modèles techniques et de politique agricole, afin de mieux respecter l'environnement, et un ensemble de réalisations de terrain. Parmi celles-ci, l'agroforesterie apparaît comme l'une des voies principales permettant de concilier productivité de l'espace et gestion durable des ressources naturelles. Cette perspective tient à la grande diversité des rôles que les arbres peuvent jouer dans le fonctionnement des écosystèmes cultivés et aux avantages spécifiques qu'ils représentent dans certains types de milieux. Des exemples sont donnés dans un grand nombre de situations tropicales.

Mots-clés : Politique agricole. Impact sur l'environnement. Agroforesterie. Durabilité. Gestion des ressources. Arbre à buts multiples.

A B S T R A C T

HOW CAN AGROFORESTRY CONTRIBUTE TO THE DOUBLY GREEN REVOLUTION ?

The Doubly Green Revolution is both a set of proposals to define new more environment-friendly technical and policy models, and also a set of field operations. Agroforestry appears to be one of the main ways of reconciling agricultural productivity and sustainable management of natural resources. It involves the great diversity of roles played by trees in farmland ecosystems, and their specific advantages in particular kinds of locations and ecological situations. Examples of this diversity are given for tropical areas.

Key words : Agricultural policies. Environmental impact. Agroforestry. Sustainability. Resource management. Multipurpose trees.

R E S U M E N

¿CÓMO PUEDE LA AGROFORESTERÍA CONTRIBUIR A LA REVOLUCIÓN DOBLEMENTE VERDE ?

La Revolución Doblemente Verde es una proposición para elaborar nuevos modelos de técnicas y políticas agrícolas que permiten un mejor respeto del medio ambiente, y al mismo tiempo, un conjunto de realizaciones de terreno. La agroforestería se muestra como uno de los principales medios para conciliar productividad agrícola y gestión sostenible de los recursos naturales. Esto se debe a la gran diversidad de cometidos que pueden desempeñar los árboles en el funcionamiento de los ecosistemas cultivados y a las ventajas específicas que éstos poseen en ciertos tipos de medios naturales. Se proporcionan ejemplos de esta diversidad en zonas tropicales.

Palabras clave : Política agrícola. Impacto ambiental. Agroforestería. Sostenibilidad. Ordenación de recursos. Árboles de propósito múltiple.