

L'AGROFORESTERIE ET L'INTENSIFICATION AGRICOLE

Par Thomas Hatangimana

1. Introduction

Une technologie recommandée pour l'augmentation de la production agricole, notamment par des ONGs internationales, est l'agroforesterie. Elle est promue comme une technologie qui peut éviter l'utilisation des engrais chimiques. CATALIST, tout en acceptant sa durabilité environnementale, n'est pas convaincue que la contribution aux rendements agricoles suffit pour couvrir les besoins alimentaires et économiques. Pour cela, CATALIST a commencé à tester et à démontrer une autre forme d'agroforesterie, celle qui cherche à améliorer l'efficacité des engrais. Ainsi, on fait d'une pierre trois coups : les rendements agricoles augmentent d'une façon plus rentable, l'intensification agricole devient plus durable et les producteurs ajoutent du bois à la gamme de produit à vendre. Le projet cherche à intéresser les producteurs pour ce qu'il appelle l'agroforesterie intensive, au lieu de promouvoir l'approche traditionnelle, l'agroforesterie extensive.

Ci-dessous, l'agroforesterie sera décrite, y compris le potentiel des systèmes différents pour faire augmenter les rendements des cultures (par. 2), et ensuite la forme intensive de l'agroforesterie sera présentée (par. 3). L'information présentée est dérivée des deux documents de CATALIST (Molenaar & Kessler, 2008 ; Breman, 2011). Le paragraphe 4 présente les premiers résultats obtenus dans la région, et en fin une recommandation est faite (par. 5).

2. L'agroforesterie

Maintenir ou installer des arbres dans les cultures, en particulier dans les cultures annuelles, est accompagné de certains avantages. Les arbres, grâce à leur pérennité, concentrent des quantités d'éléments nutritifs bien supérieures aux cultures. Il est questions de plusieurs mécanismes qui créent une différence avec les annuelles :

- le système racinaire est mieux développé et exploite un volume plus large du sol ;
- avant de perdre leurs feuilles, les arbres retirent une bonne fraction des éléments nutritifs et les stockent jusqu'à la saison suivante ;
- dès que la saison commence et les pluies mouillent le sol et provoquent la minéralisation de la matière organique morte, les arbres ont des racines pour absorber les éléments libérés.

La pérennité et la concentration importante des éléments nutritifs sont à la base d'une production supérieure de biomasse, qui, à travers la chute des feuilles, des fleurs, des fruits et des tiges, et à travers le pourrissement régulier d'une fraction des racines fines, va de paire avec un taux de matière organique du sol supérieur. Ce taux supérieur à son tour mène à une meilleure absorption

d'eau et un meilleur stockage d'eau et des éléments nutritifs dans la couche arable du sol, dont aussi peuvent profiter les cultures. Elles peuvent au même temps profiter des éléments nutritifs libérés par la minéralisation de la matière organique morte des arbres.

Ce qui gêne les cultures pour profiter des arbres c'est la compétition entre les arbres et les cultures pour les éléments nutritifs, pour l'eau et pour la lumière. La compétition pour la lumière aurait pu être mentionnée comme première ; c'est l'intensité de la luminosité qui détermine l'absorption d'eau et ainsi aussi l'absorption des éléments nutritifs. La taille et la pérennité des arbres les font des concurrents forts des cultures ; l'ombre créée par les arbres diminue la lumière disponible pour les plantes, et diminue ainsi leur absorption d'eau et d'éléments nutritifs (Breman & Kessler, 1996). La compétition est la plus forte pour le facteur qui est le plus limitatif. C'est en général la fertilité du sol, mais à la bordure des déserts, il s'agit plutôt l'eau. Il est loin de simple de faire profiter les cultures de la présence des arbres (voir ci-dessous).

La combinaison des cultures et des arbres se présente en quatre formes, présentées ci-dessous dans un ordre croissant de compétition :

- Des arbres distribués d'une façon homogène dans les champs (« parcs à bois »);
- des arbres aux alentours d'une propriété ou parcelle ;
- des rangés d'arbres qui séparent des bandes de cultures (« cultures en couloir ») ;
- des (micro-) boisements en rotation avec des cultures (« cultures intermittentes »).

Avec la croissance de la compétition, la production des arbres par rapport à celle des cultures augmente et vice versa. En particulier si mal contrôlée, l'augmentation de la compétition fait diminuer la valeur de la culture et fait augmenter la valeur de la production ligneuse. D'abord des exemples sont présentés qui concernent le potentiel général de l'agroforesterie pour augmenter les rendements. Ensuite les quatre formes seront traitées.

2.1 Agroforesterie et matière organique

Schroeder (1995) analyse et synthétise un grand nombre de systèmes d'agroforesterie, en se demandant ce qui est l'augmentation de la production de matière organique par rapport aux cultures sans arbres, et ce qui devient le rendement des cultures à cause de la présence des arbres. La quantité moyenne de matière organique produite, qui est mise à la disponibilité des cultures par un élagage régulier, est presque 7,5 t/ha/an de matière sèche (MS). C'est dans le même ordre de grandeur que celle qui est produite par des jachères de longue durée.

Simône Radersma (2002) contribue d'une façon significative à la compréhension des mécanismes d'interaction entre l'arbre et les cultures adjacentes. Elle a étudié les interactions entre l'arbre et les cultures pour pouvoir conseiller les petits producteurs dans l'Ouest du Kenya, qui n'ont pas les moyens pour se procurer de l'engrais (il y en a ayant moins que 0,2 ha), et qui plantent des arbres pour optimiser l'utilisation de leurs petites exploitations. Deux espèces que l'on trouve beaucoup dans la sous-région ont été étudiées, *Cassia spectabilis* (aussi appelé *Senna spectabilis*) et *Grevillea robusta*. L'étude se limite à un sol très déficient en P, un élément très peu mobile. Ainsi, l'interaction arbre-culture est déterminée par la disponibilité d'eau et le racinement de l'arbre et de la culture. Où en cas de N, les racines peuvent attirer le N en absorbant l'eau du sol, en cas de P ils doivent « chercher » le P par leur propre croissance. Seulement les racines de (certaines ?) espèces d'arbres ont un mécanisme supplémentaire ; par des exsudats racinaires ils augmentent le peu de P qui se

dissout dans l'eau du sol¹. Mais une culture peut en profiter en faire suivre ses racines les racines de l'arbre, comme essaie de faire le maïs en association avec *Cassia spectabilis*.

Radersma (2002) conclue que pour l'agroforesterie sur un sol qui fixe fortement le P, il faut éviter le séchement du sol et des arbres ayant une demande élevée de P sans un mécanisme efficace pour l'augmentation de la disponibilité de P. Ce n'est qu'en cas que l'on arrive à éviter la concurrence directe pour P et la concurrence indirecte à travers le séchement du sol, qu'un petit effet positif de l'arbre sur le rendement des cultures peut être obtenu. On peut aussi l'inverser : l'agroforesterie est utile pour obtenir une augmentation du rendement si la pluviométrie est suffisamment élevée et si le sol n'est pas déficient en P.

2.2 Les systèmes agro forestier et l'intensification agricole

Parc arboré (Parc à bois)

Les parcs à bois, des champs avec des arbres isolés et distribués d'une façon (assez) homogène, sont bien connus du Sahel. Seulement deux espèces sont connues qui peuvent faire augmenter le rendement des cultures de ces parcs, *Prosopis cineraria* et -très connu- *Acacia albida* ou *A. Faidherbia*. Toutes les autres espèces causent une diminution des rendements, qui peut être 80% en cas de *Prosopis juliflora*, avec un système racinaire superficiel et très étendu, jusqu'à 30 m de l'arbre². Pour certaines espèces, comme *Parkia bioglobosa*, la diminution du rendement est compensée par la valeur des produits de l'arbre. Un élagage régulier et intensif diminue la dominance de l'arbre et la diminution des rendements des cultures (Vandenbeldt, 1990).

L'auteur a été impliqué dans la création d'un parc en bois sur une station de recherche dans la savane côtière du Togo. L'effet positif des arbres est apparu dans le temps. Dix ans après installation, le rendement du maïs dans le parc à bois était 40% supérieure que celui du contrôle sans arbres : 2,1 contre 1,5 t/ha pendant la grande saison. En réalité il faut mieux parler d'un maintien du rendement dans le parc à bois et une diminution du rendement du contrôle sous culture continue sans du fumier ou de l'engrais. Au démarrage, les rendements étaient de l'ordre de 2,5 t/ha ; il s'agissait de la mise en culture d'une jachère de longue durée (Tamélokpo et al., 2007 ; Toose et al., 2007).

La particularité du parc à bois basé sur *A. Faidherbia* est le fait que l'arbre est sans feuilles pendant la croissance des cultures, et porte des feuilles en saison sèche. Ainsi, la compétition avec les cultures est restreinte. Le fort décalage phénologique, qui limite la concurrence pour la lumière est aussi mentionnée comme explication pour une diminution de l'effet négatif de l'arbre sur les cultures pour l'association des *Paulinias* et des céréales en Chine (sur plus de 2 millions de hectares), et pour le blé d'hiver en agroforesterie en France (Dupraz, 2008).

Il y a trop des descriptions du miracle *A. Faidherbia*, suggérant des augmentations considérables des rendements de cultures. En regardant de près ces analyses, on se réalise qu'il s'agit souvent des descriptions des rendements tout près des arbres en comparaison avec des rendements plus éloignés. Elles négligent le fait que l'arbre améliore son environnement direct en concentrant des éléments

¹ *Cassia* et *Grevillea* mobilisent le P du sol en augmentant dans la rhizosphère le taux d'anions organiques, qui à leur tour augmente le pH.

² Breman & Kessler (1995) ont observé des racines de 50 m du tronc pour *Bombax costatum*.

nutritifs en dessous et juste aux alentours de sa couronne, grâce aux racines qui s'étendent loin dans toutes les directions, comme indiqué ci-dessus. Cette conclusion est renforcée par le fait que l'amélioration du sol aux alentours de l'arbre diminue avec l'augmentation de la densité des arbres, au lieu d'augmenter (Breman & Kessler, 1996). Les derniers auteurs quantifient l'effet positif de l'arbre par une synthèse d'un grand nombre de publication. L'augmentation moyenne est à peu près 20% ; un bon parc à bois bien géré donne aux cultures 5 kg/ha/an plus de N qu'une parcelle comparable sans arbres. Traduit en rendement supplémentaire de sorgho ou d'autres céréales, il s'agit de 250 kg/ha/an extra.

Arbres autour d'une parcelle

L'effet des arbres aux alentours de parcelles sur le rendement des cultures dépendra de la superficie des parcelles ; en cas des petites parcelles, l'effet peut être grand, pour des grandes parcelles, l'effet sera restreint. D'autres facteurs jouent également un rôle.

En Ethiopie, ayant une densité démographique élevée, les producteurs, malgré leurs petites parcelles, aiment planter des Eucalyptus aux alentours de leurs champs. Le rendement de leurs cultures diminue en moyen avec 20%, mais la valeur du bois produits est le double de la perte des revenus sur la base des cultures. Ainsi le revenu total augmente avec 20% (Tesfaye, A., 2005).

En cas des grandes parcelles et des cultures qui souffrent des vents forts, les haies de protection contre ces vents peuvent mener à une augmentation des rendements. Vandenbeldt (1990) présente 6 cas pour le Sahel et mentionne une augmentation de rendement moyen avec 25%. J'ai aussi trouvé un cas pour Canada, où les rendements de blé et d'alfalfa protégés contre du vent augmentaient avec respectivement 3,5 et 6,5% (ADC, 2011). L'effet est obtenu en utilisant des arbres ayant une couronne longue et étroite, et des racines bien profondes, sans avoir des racines superficielles (à couper régulièrement).

Cultures en couloir

Le système le plus répandu est vraisemblablement la culture en couloir ; des bandes de cultures entre des rangées d'arbres. C'est un système qui pour les tropiques a été développé et promu par IITA (International Institut for Tropical Agriculture. Ibadan, Nigeria). Avant de présenter une série des cas, il est signalé que l'IITA ne fait plus la promotion, après avoir conclu que ce système demande beaucoup de travail pour être efficace, tandis que les avantages obtenus sont restreints.

Rares sont les cas d'une augmentation des rendements pour les cultures en couloir. Un exemple est présenté par Hairiah et al. (2010) sous des conditions ayant certaines similitudes avec certaines zones en RDC (pluie 2500 mm/an ; sols acides avec 20% de saturation d'Al). La quantité moyenne de matière organique produite, qui est mise à la disponibilité des cultures par un élagage régulier, est semblable à la moyenne de Schroeder ci-dessus (7,5 t/ha/an de MS) : 7,2 à 9,3 t/ha de MS, 7 à 11 ans après installation. Pour une espèce, *Pelthophorum*, le rendement de maïs de 1,7 t/ha était légèrement supérieur à celui obtenu avec 45 kg/ha de N (1,5 t/ha), pour l'autre –*Gliricidia* il était inférieure (1,1 t/ha).

Broadhead (2000) a eu à Machakos (Kenya ; 1660 m d'altitude ; 740 mm/an pluviométrie bi-modale) une même expérience négative avec *Gliricidia sepium*, un arbre d'Amérique Centrale. Il a comparé la culture en couloir avec deux ligneux locaux avec celui de deux espèces exotiques. La superficie foliaire, et ainsi la production de biomasse ligneuse, diminue dans l'ordre *Croton megalocarpus* > *Senna spectabilis* (espèce exotique ; appelé aussi *Cassia spectabilis*) > *Melia*

volkensii>Gliricidia sepium. La superficie foliaire supérieure va de paire avec une assimilation et une utilisation d'eau supérieure. La croissance, mais aussi la compétition avec les cultures adjacentes est ainsi supérieure. La compétition est notamment due à la compétition pour l'eau pendant des années sèches ; elle est due à l'ombre créée par les arbres pendant des années humides. A cause de la compétition, les rendements des cultures en couloir étaient toujours et pour les 4 espèces ligneuses, inférieurs aux rendements des cultures sans arbres. Le rendement de maïs était le plus supprimé par Croton, celui d'haricot par Melia. Utile de se réaliser que le maïs est une espèce C4, l'haricot une espèce C3. Les dernières espèces ont besoin de bien moins de lumière pour une production optimale que les premières.

Des études d'un système chinois utilisé sur plus de 2 millions d'hectares, l'association des Paulinias avec des céréales, mentionnent des réductions des rendements, suivant des auteurs divers, entre 7 et 50% (Dupraz, 2008). L'auteur, comparant ces études avec ses propres résultats en France, soupçonne l'ombre des arbres sur les cultures la cause de la réduction. L'agroforesterie française, qui ne montre pas des réductions significatives des rendements de blé d'hiver, ne connaît pas ce même problème d'ombre. Comme signalé en haut, il est question d'un très fort décalage phénologique, la période de croissance de l'arbre (été) et celle du blé (hivers) n'ont qu'un chevauchement partiel.

Il est utile encore de signaler que la variation des réductions en Chine entre 7 et 50% des rendements est expliquée par les variétés de blé et d'arbres, la taille des arbres, des effets alléopatiques des feuilles des peupliers, etc. Il est aussi utile de signaler que d'autres auteurs français signalent quand même une diminution moyenne des rendements des cultures sous systèmes agroforestiers avec 20% (Lauret et al., 2008 ; Woehling, 2011), tout en soulignant que la biomasse totale produite est bien supérieure, et qu'il y a des avantages qui compensent les pertes de rendement.

Tamélokpo et al. (2007) et Toose et al. (2007) comparent un système de cultures en couloir et un parc en bois, les deux avec *Leucena leucocephala* comme espèce ligneuse, et font comprendre certains facteurs qui font varier l'effet de l'arbre. Il s'agit d'un test en station sur plus de 10 ans. Le système a été installé sur une jachère de longue durée, où au début le maïs a pu atteindre un rendement de 2,5 t/ha en saison principale. Après 10 ans, ce rendement est baissé à 1,5 t/ha pour la culture pure, le contrôle, qui n'a jamais reçu du fumier ou de l'engrais (moyenne sur 5 saisons). Mais la culture en couloir donnait encore 1,9 t/ha et le parc à bois 2,1 t/ha. Pendant des saisons à pluviométrie fortement déficitaire, le contrôle produisait significativement plus que les systèmes agroforestiers, la culture en couloir étant plus sensible que le parc à bois. En d'autres mots, la compétition pour l'eau entre les arbres et la culture est la plus forte dans la culture en couloir.

Boisements en rotation

En cas de boisements en rotation, la production de bois devient l'objectif principal ; les cultures sont produites entre les jeunes arbres après la plantation, et après la coupe, quand les rejets sont encore petites. Il s'agit des plantations exploitées avec un cycle court, produisant du bois de feu et du charbon ou des pôles de construction. Deux cas sont traités, un au Bénin, dans la savane côtière, et un en RDC, à Mampu, dans l'Ouest du pays. Les deux exploitations se basent sur *Acacia auriculiformis*, coupé une fois par 4 à 5 ans au Bénin, et une fois par 8 – 12 ans en RDC³.

³ Les trois documents obtenus donnent des chiffres différents pour la fréquence des coupes, les rendements, etc. C'est le rapport de Ducenne de 2009 sera cité pour les effets quantitatifs ; il apparaît le plus scientifique.

Au Bénin, une augmentation significative du rendement de maïs n'était observée que pour la première récolte après la coupe du bois, 70% (2,2 t/ha contre 1,3 t/ha pour le contrôle). La deuxième récolte montrait une différence de seulement 17% (1,4 t/ha contre 1,2 t/ha). Ainsi, pour une rotation de 5 ans, le rendement agricole moyen n'est que $(2,2 + 1,4 + 0 + 0 + 0)/5 = 0,7$ t/ha contre 1,2 pour le contrôle sans bois (Toose et al., 2007). En d'autres mots, une diminution du rendement avec 40%. Les données de Mampu sont semblables. Ce n'est que la première culture après la coupe du bois qui est bien intéressante ; le manioc donne des rendements 2 à 3 fois supérieures aux cultures sans arbres dans le parage (Ducenne, 2009). Mais à cause d'une rotation plus longue qu'au Bénin, le rendement moyen des champs d'agroforesterie par rapport aux champs sans arbres est encore plus bas que ceux du Bénin.

3. L'agroforesterie intensive comme une des technologies de la GIFS

La conclusion du paragraphe précédent c'est que l'agroforesterie extensive, une technologie qui est promue pour éviter l'utilisation de l'engrais chimique, n'a pas un potentiel élevé pour faire augmenter les rendements agricoles. Une augmentation de 25% c'est le potentiel des systèmes les plus efficaces, mais dans la majorité de cas le rendement ne s'améliore pas, mais diminue plutôt. Cependant, la perte peut être compensée (partiellement) par la valeur du bois, et le système améliore la durabilité de la production.

Il est ainsi utile de considérer l'agroforesterie qui cherche à rentabiliser les engrais, appelée ici « agroforesterie intensive ». Il s'agit d'une technologie de la GIFS, qui contribue à l'efficacité de l'utilisation des engrais par l'amélioration du taux de matière organique du sol, par la résistance contre l'érosion qu'elle crée et par le remonter des éléments nutritifs des couches profonds du sol.

L'agroforesterie extensive ne diffère pas seulement par l'objectif et la gestion de l'agroforesterie extensive ; aussi les arbres à utiliser ne sont pas tous les mêmes. Les arbres légumineux sont à préférer pour une agroforesterie qui cherche à éviter l'utilisation d'engrais. Les produits des espèces légumineuses ont souvent une minéralisation rapide, grâce à leur qualité supérieure (taux de N élevé), et ainsi leur action sur les propriétés physiques du sol est fugace et non durable. Pour l'agroforesterie intensive on cherche de la MO à minéralisation modérée, qui contribue à l'amélioration et augmentation du taux de matière organique du sol. Il se peut que c'est une des raisons pourquoi les producteurs de la sous-région préfère les *Grevillea robusta* comme arbre agro forestier au lieu des arbres légumineux, l'autre raison étant sans doute sa compétition restreinte avec les cultures (Mohren & Mugunga, 2006 ; Radersma, 2002).

Avant l'existence du mot GIFS déjà, des chercheurs de l'ISABU de Burundi et de l'ISAR du Rwanda, inspirés et guidés par Eric Roose, un chercheur français, ont « joué » avec des combinaisons d'agroforesterie, du fumier, de l'engrais et de la chaux (e.g. Roose & Ndayizigiye, 1997). La recherche a été faite dans des zones montagneuses, sur des pentes raides avec des sols acides. Les chercheurs ont du conclure que l'agroforesterie est apte à mener à une érosion égale à celle des végétations naturelles, mais que le profit direct pour les producteurs n'existent pas ; les rendements restent égaux ou baissent. Avec du fumier, les rendements s'améliorent, mais on ne trouve jamais du fumier de qualité en quantité nécessaire. L'engrais se distingue du fumier par le fait que l'on peut acheter les quantités que l'on a besoin quand le marché d'engrais est bien développé⁴. Mais, comme découvert par Pieri (1989), quand utilisés seuls, après une première augmentation des rendements, ils tombent à terme sur des niveaux plus bas qu'au début sans engrais.

Ce que Roose et les chercheurs burundais et rwandais montrent, c'est que la combinaison de l'agroforesterie, du fumier et de l'engrais peut freiner ou même arrêter l'érosion et augmenter les rendements, et ceci d'une façon durable. Sur des sols trop acides, il faut aussi encore ajouter la chaux avec une certaine fréquence ; l'arbre et l'utilisation du fumier, quoi qu'utiles, ne suffisent pas (Crawford et al., 2008). Ce que Roose et al. Montrent également, c'est que la combinaison de ce « facteurs de la fertilité » (le « paquet ») est la plus efficace là où les conditions ne sont pas encore (trop) dégradées : Sur des bons champs (sur pente !), l'agroforesterie seul donne un rendement de maïs de 1,5 t/h, le paquet donne 4 t/ha. Aux endroits où l'érosion monte à 50 t/ha/an de terre, l'agroforesterie seul donne 0,5 t/ha, le paquet 3 t/ha de maïs. En fin, quand l'érosion annuelle atteigne déjà 150 t/ha de terre, l'agroforesterie ne fait plus produire du maïs, mais le paquet donne encore 1 t/ha.

On peut considérer les travaux ci-dessus « l'agroforesterie intensive avant la lettre » ; on faisait ce qui est très utile à faire sans comprendre tous les processus et sans connaître toutes les conséquences. Avec la connaissance et la compréhension croissante (Breman & Kessler, 1996), une optimalisation de la technologie devient possible, et la rentabilité peut être bien supérieure. Les derniers auteurs argumentent que l'effet positif d'*Acacia Faidherbia* sur le rendement des cultures en agroforesterie intensive peut être 5 fois supérieur à l'effet en agroforesterie extensive : respectivement 725 et 125 kg/ha/saison d'équivalents céréaliers, avec la dose d'engrais jugée utile pour la savane soudanaise. Ils se prononcent quantitativement (comme seuls auteurs ?) de l'amélioration de la disponibilité en eau et en éléments nutritifs d'un système d'agroforesterie par rapport à la disponibilité en cas des cultures seules pour le Sahel (une région semi-aride) et la

4 Hélas, en RDC, ce n'est pas encore le cas.

savane subhumide. Ils montrent ainsi que l'effet positif de l'arbre s'améliore avec l'amélioration des conditions de production, la pluviométrie et la fertilité du sol.

Ils insistent que l'effet positif augmente aussi quand cette fertilité du sol est améliorée « artificiellement » par la fertilisation. C'est pour cela que l'agroforesterie pour rentabiliser de l'engrais (type intensif) est beaucoup plus intéressante que l'agroforesterie qui remplace l'engrais (type extensif). L'augmentation du rendement est due à l'apport de l'engrais et à son utilisation efficace grâce au composant ligneux du système d'agroforesterie. La chance que les cultures profitent de la disponibilité supérieure d'eau et d'éléments nutritifs n'est pas élevée, comme les publications présentées illustrent. L'effet le plus élevé est obtenu en essayant de combiner autant que possibles des éléments suivants :

- Le parc en bois ;
- des espèces d'arbres ayant une croissance étroite en hauteur , avec une racine pivotante et peu de racines superficiels, qui sont en plus peu étendus, et avec une couronne dont la diamètre est $\leq 0,5x$ la longueur du tronc ;
- un fort décalage phénologique entre arbre et culture ;
- un recouvrement ligneux total⁵ de 20 à 25% ;
- racines superficiels coupés régulièrement à une distance de 2 m du tronc, sur une profondeur de 20 à 30 cm.

Le choix des espèces, leur plantation telle que le racinement profond peut devenir une réalité, et leur distribution homogène doivent recevoir toute attention à la création d'un champ d'agroforesterie. Le contrôle du recouvrement total, du diamètre des couronnes et des racines superficielles de l'arbre est un investissement annuel. Ce qui demande une attention annuelle c'est d'assurer que les feuilles, fleurs, fruits et tiges qui tombent, ainsi qu'autant que possible du matériel d'élagage, serviront l'amélioration du sol de la parcelle.

Breman & Kessler (1996) insistent que toute cette MO, qui doit améliorer le taux de MO du sol, ne doit pas être trop bonne, pour éviter une minéralisation rapide. C'est pour cela qu'ils soulignent que l'utilisation des légumineuses comme arbres agroforestiers est sans doute utile pour l'agroforesterie extensive, mais pourrait être sous-optimale pour l'agroforesterie intensive. Le projet CATALIST et le projet jumeau SEW (énergie durable à travers du bois) ont démarrés des tests et démonstrations pour valider cette hypothèse. Leurs premiers résultats, obtenus avec des plantations existantes de *Grevillea robusta*, sont positifs (voir ci-dessous).

Les autres matériels de validation avec l'agroforesterie intensive concernent cependant des plantations avec des légumineuses. Il s'agit des tests greffés sur des plantations existantes d'agroforesterie extensive, en changeant la gestion et en introduisant de l'engrais. Une illustration est la recherche de Tamélokpo et al. (2007) et Toose et al. (2007), qui comparent l'effet d'engrais sur les cultures en couloir et sur celles des cultures d'un parc en bois, les deux avec *Leucena leucocephala* comme espèce ligneuse, avec l'effet d'engrais sur les cultures seules. La grande majorité des observations concerne le maïs ; la même comparaison a été faite aussi pour des cultures sans engrais (voir 2.2 pour les détails). Au cours des 11 ans de la recherche, le rendement du contrôle sans arbres, qui n'a jamais reçu de l'engrais ou du fumier, a baissé de 2,5 à 1,5 t/ha/saison pour la « grande saison ». L'agroforesterie, sans utilisation d'engrais ou de fumier, a pu maintenir (assez bien) le rendement original de maïs de 2,5 t/ha. Une tendance de diminution de

⁵ L'ensemble des projections des couronnes d'arbres sur la surface du sol comme fraction de la superficie de la parcelle, multipliée par 100.

rendement est cependant pour la culture en couloir, une tendance positive se désigne pour le parc à bois.

L'effet de l'engrais sur le maïs est (presque) autant dans les parcelles d'agroforesterie que pour le contrôle : les rendements de maïs dépassent 4 t/ha. L'efficacité d'engrais dans les parcelles d'agroforesterie est cependant diminuée au cours des années par rapport à celle du contrôle. Après 10 à 11 ans, elle est pour N baissée en dessous de 10 kg/kg avec la dose habituelle. « Avec la dose habituelle » est ajouté avec raison ; le sol sous arbres c'est amélioré progressivement en comparaison avec le contrôle, et la dose utile au début, pour obtenir plus de 4 t/ha de maïs, est devenue trop élevée grâce à l'amélioration du sol ! En utilisant la dernière saison de la recherche en question une dose restreinte de N de 90 kg/ha, une efficacité élevée de 58 kg/kg est obtenue.

Des exemples de parcelles avec des arbres adultes qui ont été installées et démarrées comme agroforesterie intensive ne sont pas connues par l'auteur. En d'autres mots, les résultats présentés ci-dessus sont des résultats sous-optimaux ; l'agroforesterie intensive peut être bien plus efficace que suggéré ci-dessous.

4. Résultats préliminaires des tests et démonstrations d'agroforesteries intensive

Le projet CATALIST et le projet jumeau SEW ont démarré des tests et démonstrations de l'agroforesterie intensive par rapport à l'extensive. Dans les trois pays, des plantations existantes de *Grevillea robusta* ont été utilisées. Le choix a été fait pour des plantations ouvertes, ressemblant le parc à bois : des plantations ouvertes, avec les arbres distribués d'une façon assez homogène et ayant un recouvrement qui ne dépasse pas (trop) 25%. Les cultures et les formules d'engrais ont variées (tabl. 1).

Tableau 1. Rendements de cultures (t/ha) sous l'influence d'engrais et d'arbres et leur combinaison

Culture & saison	Formule ¹⁾	Sans engrais		Avec engrais	
		Sans arbres	Avec arbres	Sans arbres	Avec arbres
Burundi					
pomme de terre '10A	60-90-60	5,6	8,9	10,2	13,6
haricot '10A	18-46-0	1,1	1,7	1,4	2,4
haricot '10 B	18-46-0	1,3	1,6	0,7	1,1
maïs '11 A	40-30-35	2,6	4,4	2,4	4,2

RD Congo					
maïs '11A	64-46-0	1,9	2,8	4,8	6,6
arachide '11A	18-46-0	1,2	1,6	2,7	3,5
Rwanda					
haricot '10 B	18-46-0	0,5	0,6	0,8	1,3
maïs '11 A	41-46-0	1,0	3,0	-	4,7

¹⁾ Formule d'engrais : N : P₂O₅ : K₂O

Le tableau montre qu'en général les arbres ont un effet bien positif sur les rendements des cultures, aussi bien en cas d'agroforesterie extensive, sans engrais, qu'en cas intensive. Là où les effets sont peu impressionnants, pour certains champs d'haricot, les rendements sont bien bas ; il est questions d'autres facteurs limitatifs que la pauvreté du sol. Le cas du maïs au Burundi est incompréhensible sans connaître l'évolution de la culture des parcelles au cours de la saison.

En effet, les effets sont supérieurs aux attentes, basées sur les résultats obtenus ailleurs (par. 2 et 3). En cas d'agroforesterie extensive, l'augmentation relative des rendements est même supérieure par rapport à l'agroforesterie intensive. En moyenne respectivement presque 60% contre plus de 40%. En valeur absolue, l'augmentation des rendements de l'agroforesterie intensive est la plus élevée.

Autant intéressant que l'influence sur les rendements est celle de l'effet de l'arbre sur l'efficacité agronomique des engrais dans le cas de l'agroforesterie intensive. Est-ce qu'en effet elle s'améliore grâce à la présence de l'arbre et son influence positive sur le sol et sur le risque d'érosion ? Le tableau 2 en donne la réponse. Il montre que partout où on a pu mesurer un effet positif de l'engrais appliqué, son efficacité a été supérieure que celle des parcelles avec de l'engrais mais sans arbres. Il est question des résultats préliminaires encourageants, qui stimulent de continuer des tests, des démonstrations, des sensibilisations et des formations.

Les formations sont importantes, car des erreurs sérieuses ont observées dans le choix des parcelles et la gestion des systèmes. Elles expliquent vraisemblablement aussi pourquoi certaines valeurs sont difficilement à comprendre, comme les valeurs d'EA-N qui dépassent parfois 40 ou même 50 kg/kg pour certains tests avec des céréales.

Tableau 2. Efficacement agronomique de N (céréales et pomme de terre) et de P₂O₅ (haricot et arachide) en kg/kg

Culture & saison	Formule	EA-N ou EA-P ₂ O ₅ (en cas de légumineuses) ¹⁾²⁾
------------------	---------	---

		Sans arbres	Avec arbres
Burundi			
pomme de terre '10A	60-90-60	77	133
haricot '10A	18-46-0	7	28
haricot '10 B	18-46-0	-	-
maïs '11 A	40-30-35	-	-
RD Congo			
maïs '11A	64-46-0	45	59
arachide '11A	18-46-0	33	41
Rwanda			
haricot '10 B	18-46-0	7	15
maïs '11 A	41-46-0	- ³⁾	41

¹⁾ EA-N = efficacité agronomique de N de l'engrais, exprimée en kg/kg (kg de produit par kg de N appliqué). EA-P₂O₅ explication similaire.

²⁾ En cas de « - » l'EA n'a pas pu être calculée ; les parcelles avec l'engrais et/ou des arbres ont eu un rendement de la culture moindre que celles sans engrais.

³⁾ parcelle avec de l'engrais seul manque.

C'est au Rwanda où à côté des rendements des cultures et l'efficacité d'engrais aussi une attention a été donnée aux arbres. Pour obtenir une indication de leur croissance et leur production, leur diamètre est suivi à l'hauteur de la poitrine. Le tableau 3 présente les résultats. L'engrais donné aux cultures apparaît aussi à influencer la production des arbres.

Tableau 3. Diamètre moyen et leur accroissement (cm) à la hauteur de la poitrine des arbres avec engrais et sans engrais

	Diamètre		Accroissement
	février '10	juin '11	
Sans engrais	11,5	14	2,5

Avec engrais	12,7	17	4,3

Il est clair que les arbres de *Grevillea robusta* qui sont dans la parcelle fertilisée croissent plus vite aussi bien en diamètre qu'en biomasse. La longueur exploitable des arbres étant à peu près 8. m, on estime que chaque arbre d'une parcelle fertilisée a augmenté en volume avec $0,0176 \text{ m}^3$. Ou bien, pour 1 hectare avec 200 arbres, il y a eu un accroissement du volume du bois de $3,5 \text{ m}^3$.

On peut dériver des études des parcs à bois au Togo (Tamélokpo et al., 2007 ; Toose et al., 2007) que 11 ans après l'installation des parcs, la production annuelle de bois en cas d'agroforesterie extensive est presque 6 t/ha/an, contre plus de 15 t/ha/an pour l'agroforesterie intensive. A terme, les producteurs recevront des revenus à partir du bois qui sont 2,5 fois supérieur en cas d'agroforesterie intensive qu'en cas extensive. Il s'agit aussi une augmentation significative de la séquestration du Carbone, de 17 au 35 t/ha/an (sans connaître celle des racines), une contribution à la lutte contre le changement climatique.

Conclusion et recommandation

Les résultats préliminaires obtenus aussi bien au Rwanda, au Burundi et en RDC/Sud Kivu montre que *Grevillea robusta*, s'il est bien géré, contribue à l'optimisation de l'utilisation efficiente des engrais par les cultures. Le producteur augmente son revenu via l'augmentation de la production agricole et les produits ligneux du bois. L'arbre grandit plus vite en volume et biomasse et contribue efficacement à la séquestration du carbone.

CATALIST recommande que la promotion de l'agroforesterie extensive dans la région sera remplacée par celle de l'agroforesterie intensive. Elle sera apte à faire l'agriculture sur pente bien plus productive et durable. Les démonstrations devraient continuer pour convaincre et inciter les producteurs à intégrer l'arbre agro forestier dans leur cultures dans le cadre de l'intensification agricole. Il serait utile d'étendre les tests et démonstrations aussi à d'autres espèces d'arbres, comme le *Cedrella serrata*, *Cassia spectabilis*, etc.

5. Bibliographie

Breman, H. Comment d'assurer la sécurité alimentaire en RDC ? S'appuyer sur de l'agroforesterie et des engrais ! IFDC-CATALIST/SEW (Projets sous-régionaux : Burundi, RDC et Rwanda). IFDC, Kigali (Rwanda) Breman, H. & J.J. Kessler, 1996. Woody plants in agro-ecosystems of semi-arid regions (with an emphasis on the Sahelian countries). Advanced Series in Agricultural Sciences 23. Springer-Verlag, Berlin. 340 p.

- Broadhead, J., 2000. Ecophysiology of indigenous trees in agroforestry systems in the semi-arid tropics. PhD thesis, University of Nottingham, UK.
- Crawford, T.W., U. Singh & H. Breman, 2008. Résoudre les problèmes agricoles relatifs à l'acidité du sol dans la région des grands lacs de l'Afrique Centrale. IFDC-CATALIST, Kigali (Rwanda).
- Ducenne, Q., 2009. Evaluation des actions agroforestières à Mampou, RDC. Evaluation sur demande de la Communauté Européenne.
- Dupraz, C., 2008. Arbres et cultures : l'affaire rebondit en Chine. La Revue française des Arbres Ruraux.
- Hairah, K., M. van Noordwijk & G. Cadish, 2010. Agroforestry interactions in rainfed agriculture : can hedgerow intercropping systems sustain crop yield on an ultisol in Lampung (Indonesia) ? *Agrivita* 32/3, 205 – 215.
- Lauret, C., E. Renaud & M. Creste, 2008. Agroforesterie, des arbres et des cultures. Agroforesterie Recherche Développement.
- Mohren, G.M.J. & C. Mugunga, 2006. Multipurpose trees. Lecture University of Butare, Department of Forestry. Butare (Rwanda).
- Molenaar, J.W. & J.-J. Kessler, 2008. Guide d'agroforesterie. Document de référence n°4. IFDC-CATALIST. IFDC, Kigali (Rwanda)
- Pieri, 1989. Fertilités des terres de savanes, bilan de trente ans de recherche et de développement au Sud du Sahara. Ministère de la Coopération et Cirad-IRAT, Montpellier, France.
- Radersma, S., 2002. Tree effects on crop growth on a phosphorus-fixing ferrasol. PhD thesis University of Wageningen.
- Roose, E. & F. Ndayizigiye, 1997. Agroforestry, water and soil management to fight erosion in tropical mountains of Rwanda. *Soil Technology* 11, 109 - 119.
- Schroeder, P., 1995. Organic matter cycling by tropical agroforestry systems : a review. *Journ. of Trop. Forest Science* 7 (3), 462 – 474.
- Tamélokpo, A., A. Mando & H. Breman, 2007. Influences des éléments manquants et la gestion du sol sur les rendements de maïs et le recouvrement de N, P et K dans des systèmes d'agroforesterie. In: Development and dissemination of sustainable integrated soil fertility management practices for smallholder farmers in sub-Saharan Africa. IFAD/TSBF/IFDC. Techn. Bull. IFDC - T71. IFDC, Muscle Shoals, AL. (USA).
- Tesfaye, A., 2005. Diversity in home garden agroforestry systems of Southern Ethiopia. *Tropical Resource Management Papers* 88, WUR, Wageningen (the Netherlands).
- Toose, W.A., A. Tamélokpo & M.C.S. Wopereis, 2007. Deux techniques agroforestiers, culture en couloir et parc à bois cas de la savane côtière Davié, Togo. In: Development and dissemination of sustainable integrated soil fertility management practices for smallholder farmers in sub-Saharan Africa. IFAD/TSBF/IFDC. Techn. Bull. IFDC - T71. IFDC, Muscle Shoals, AL. (USA).
- Vandenbeldt, R.J., 1990. Agroforestry in the semi-arid tropics. In : MacDicken, K.G. & N.T. Vergara, Eds. *Agroforestry classification and management*. Wiley, New York.