**Jeter un pont entre les approches agro-écologiques et des technologies conventionnelles pour une agriculture africaine productive, compétitive et durable. Cas de l'Afrique sub-saharienne.**

In : Fok, M., O. Ndoye & S. Koné (Eds.), 2015. 1st conference of African research on agriculture, food and nutrition. Yamoussoukro, juin 2013. "*Agriculture and the challenges of supply and nutrition requirements in Africa: how can research contribute in cotton areas?*". Les Presses Agronomiques de Gembloux. p. 255 - 270.

**Résumé**

Une collaboration entre les promoteurs et les chercheurs de l’agro-écologie et de l’agriculture industrielle conventionnelle mène à une agriculture africaine productive, compétitive et durable, la base pour la sécurité alimentaire et le développement rural et économique. L’utilisation optimale d’engrais chimique, au lieu de l’utilisation minimale cherchée dans l’agro-écologie, grâce aux technologies diverses de la gestion intégrée de la fertilité du sol, devrait devenir le domaine de collaboration. Dans ce cadre, l’agroforesterie intensive est un système de production utile ; elle utilise l’arbre pour optimaliser l’engrais, au lieu d’essayer d’éviter l’utilisation du dernier, comme fait l’agroforesterie extensive. Son intérêt pour l’Afrique sous-saharienne est grand, car la dégradation de l’environnement par la surexploitation du bétail peut être arrêtée et le besoin en bois énergétique peut être satisfait. Son introduction efficace nécessite cependant de la recherche pour préciser le niveau d'amendement organique afin d'optimiser l’utilisation des engrais chimiques, expliciter les conditions agro-écologiques et socio-économiques favorables et pour identifier les essences utiles pour une telle agroforesterie. Celle-ci peut présenter des particularités à considérer dans le cas de son adoption en zones cotonnières.

**1. Introduction**

À peu près un tiers de la population d’Afrique sub-saharienne (ASS) est sous-alimentée, et dans une bonne partie d’ASS, la croissance démographique dépasse encore la croissance agricole (e.g. Zuberi & Thomas, 2012). L’urbanisation rapide fait que les agriculteurs doivent nourrir une fraction croissante de la population non agricole. La dégradation des terres et leur désertification causent une perte sérieuse de terres agricoles, perte qui devrait être exacerbée par le changement climatique selon les modèles disponibles. Pour une autosuffisance alimentaire, il suffirait peut-être de doubler les rendements ; par contre, les gains de rendement doivent être bien plus importants afin que les paysans puissent bien vivre de l’agriculture et que l’agriculture devienne un réel moteur du développement économique.

La dépendance de la biomasse végétale comme source énergétique dominante induit un problème additionnel à résoudre (AFREA, 2011). Il existe une compétition sérieuse pour l'utilisation de la terre entre production agricole et production énergétique, alors que la matière organique brulée ne peut plus servir à l’amélioration de cette terre (Breman & Kessler, 1995).

Pour résoudre ces problèmes, il faut combiner les meilleurs éléments de l’agriculture dite conventionnelle ou industrielle et ceux de l’agriculture biologique ou agro-écologique. C’est de cette façon que les rendements agricoles peuvent être augmentés suffisamment, tout en renforçant la production énergétique. L’utilisation à grande échelle des engrais chimiques semble inévitable, du fait de la pauvreté des sols de la région et de leur épuisement découlant de la surexploitation des ressources naturelles consécutive au surpeuplement. Il en découle que l’espace manque pour une agriculture biologique efficace car celle-ci exige trop d’espace pour produire du fumier (Breman, 1990a ; Breman, 2002).

Le manque de collaboration entre les promoteurs de différentes formes d’agriculture est responsable de la quasi-absence de recherche pour aborder conjointement l’agro-écologie et l’agriculture conventionnelle. Ce papier traite de quelques questions scientifiques auxquelles les chercheurs doivent répondre sans délai. Au préalable, l’analyse succinctement évoquée ci-dessus est approfondie afin de cerner la forme de l’agriculture apte à répondre aux besoins croissants.

**2. Nourrir l’Afrique au Sud du Sahara**

Il y a 3 questions cruciales relatives au futur de l’agriculture d’Afrique sub-saharienne, l'une d'elle étant assez spécifique de l’Afrique :

1. Comment produire sans délais plus de nourriture ? Comment atteindre une croissance agricole dépassant la croissance démographique, tout en faisant de l’agriculture un véritable moteur pour le développement socio-économique ?
2. Comment produire en même temps, au moins temporairement, nourriture et énergie à travers la production végétale ?
3. Comment réaliser de manière durable les deux objectifs précédents, en termes écologiques et économiques ?

La plupart des réponses recensées peut être classée globalement sous deux modes de production agricole :

* L’agriculture industrielle, caractérisée par l’utilisation d'intrants chimiques[[1]](#footnote-1) et appelée auparavant HEIA (« *high external input agriculture* »), et
* L’agro-écologie, une dérivée de ce qui était auparavant appelée l’agriculture biologique (Schutter, 2010).

Les réponses de l’agriculture industrielle aux deux premières questions posées se résument respectivement à l'utilisation optimale des intrants externes et à la production de biocarburants. Celles de l’agrobiologie se ramènent à l'optimalisation des intrants locaux et agroforesterie. Quant à la troisième question de durabilité, l'agriculture industrielle et l'agro-écologie n'y répondent que de manière partielle, respectivement par l'aspect économique ou écologique.

La question principale est de traiter de la possibilité de jeter un pont entre les approches agro-écologiques et celles de l’agriculture industrielle, en considérant des technologies dites conventionnelles pour qu'elles contribuent à une agriculture africaine productive, compétitive et durable.

**3. Jeter un pont entre deux modes agricoles : les principes**

***3.1 Exploiter la complémentarité de l’agro-écologie et de l’agriculture industrielle***

La possibilité de jeter un pont entre les approches agro-écologiques et celles de l’agriculture industrielle dépendra de la volonté des acteurs des deux groupes, ce qui dépendra du degré de synthèse des grands principes des deux approches pour concilier les idéaux respectifs. Les idéaux de l’agriculture industrielle correspondent à l'objectif de nourrir le monde entier de manière rentable pour les acteurs impliqués, avec une attention particulière pour les investisseurs. L’agro-écologie partage l'idéal de nourrir la planète, avec la préoccupation de la qualité nutritionnelle. Elle privilégie l’agriculture familiale, avec le souci de gestion de l’environnement et de la protection de la nature.

Le souci de bonne gestion de l’environnement de l'agro-écologie est un élément d'entente avec les acteurs de l’agriculture industrielle. Sans une attention plus grande pour la durabilité écologique de la production agricole, le bénéfice de ces acteurs va diminuer progressivement. De multiples signes d’une durabilité écologique restreinte de l’agriculture industrielle sont déjà observables : érosion et dégradation du sol, perte de fertilité physique et biologique du sol, salinisation, dessèchement ou submersion des sols.

De manière réciproque, une utilisation optimisée des intrants externes peut intéresser les acteurs de l’approche agro-écologique du fait des gains de rendement et de rentabilité pour réduire les besoins en terres agricoles. L’agro-écologie pâtit en effet de rendements moins élevés que ceux de l’agriculture industrielle, de coûts de production supérieurs par unité produite alors que le besoin en superficie est grand pour produire la quantité nécessaire de fumure organique (Breman et al., 2007 ; Breman, 2013).

***3.2 L’utilisation d’engrais dans un cadre de GIFS***

L’utilisation des engrais[[2]](#footnote-2) chimiques dans un cadre de gestion intégrée de la fertilité du sol (la GIFS) illustre jusqu’à présent la meilleure tentative pour combiner des éléments essentiels de l’agro-écologie et de l’agriculture industrielle. Dans leur définition détaillée de la GIFS, Vanlauwe & Zingore (2010) mettent l'accent sur les objectifs d’amélioration de la productivité agricole et de maximisation de l’efficacité d’utilisation des engrais inorganiques et des fumiers. En ajoutant que tous les intrants doivent être gérés suivant des principes agronomiques sains, la durabilité écologique et économique est ainsi prise en compte. Cette vision recoupe mes premières publications sur la question (e.g. Breman, 1990), en soulignant que les objectifs mentionnés requièrent que *i)* les intrants externes s’ajoutent aux intrants internes (locaux) et renforcent les processus naturels mis en œuvre, au lieu de les remplacer, et que *ii)* la nutrition des cultures et le soin du sol soient considérés simultanément. On peut ajouter aujourd'hui que l’utilisation des engrais chimiques ne doit pas être minimalisée mais optimisée, ce qui suppose de mobiliser des doses considérables pour plusieurs raisons (Breman, 1990a; Breman & Sissoko, 1995):

* Même en Afrique, la densité démographique est déjà telle que l’espace manque pour produire suffisamment de fumure organique.
* l’efficacité d’utilisation d’engrais est et reste restreinte[[3]](#footnote-3) par des rapports élevés et défavorables de C/N, C/P et C/K de la matière organique (MO) du sol, lorsque les engrais chimiques sont utilisés à doses réduites, et
* en conséquence l’utilisation d’engrais et donc la production agricole ne sont pas compétitives[[4]](#footnote-4).

En améliorant l’état de la MO du sol d’une façon quantitative et qualitative, la GIFS double l’efficacité agronomique de l’engrais et améliore significativement ses bénéfices financiers. De plus, le risque de pertes d’engrais vers l’environnement diminue (IFDC, 2005). L’objectif de la GIFS de maximiser l’efficacité agronomique des nutriments exige d'opter à bon escient pour des doses dans la partie droite de la courbe dose/effet (Figure 1, cas de la pomme de terre au Rwanda), de sorte que la maximisation des bénéfices économiques ne nuise pas à la durabilité écologique. Pour maximiser en pratique les rendements de cultures, il faut recourir aux formules d’engrais spécifiques par culture et par région en tenant compte des autres composants adéquates de la GIFS (van Keulen, 1982 ; Breman et al., 2012). Ce faisant, on évite que la partie droite des courbes dose/effet se limite aux doses restreintes (Tableau 1). En visant à augmenter les doses, les formules d'engrais devront être plus complexes pour maintenir une efficacité agronomique élevée (Breman et al., 2012).

Figure 1 : Évolution de l’efficacité agronomique en fonction de la dose de N sur la pomme de terre

Tableau 1 : L’efficience de l’effet d’azote en apport combiné avec P et P+ K sur le rendement de la pomme de terre au Rwanda

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Eléments fertilisants** | **N** | **N+P** | **N+P+K** |
| N-P2O5-K2O | 98-0-0 | 98-51-0 | 98-51-48 |
| Nombre d'observations | 24 | 24 | 24 |
| Rendement moyen (t/ha) | 20,7 | 24,3 | 26,2 |
| EA (kg/kg) 1) | 68 | 102 | 118 |
| Augmentation en % de l’EA (par rapport à N seul) | - | 50 | 73 |
| Augmentation en % de l’EA (par rapport à N+P) | - | - | 16 |

*1) L’EA a été calculé sans tenir compte de l’azote de la matière organique ; le témoin utilisé est celui avec matière organique.*

Utiliser de l’engrais dans un cadre de la GIFS implique que ce sont les engrais inorganiques qui nourrissent surtout la culture, et que ce sont les amendements de sol qui améliorent et maintiennent la qualité du sol. Ces amendements concernent presque toujours des sources de MO, et parfois de la chaux et/ou de phosphate naturel. Il est courant que la GIFS soit traduite comme une simple utilisation combinée des engrais organiques et inorganiques. C'est en effet un cas de GIFS et des exemples existent pour attester de l'efficacité supérieure de cette combinaison au regard de l’utilisation séparée d’un des deux composants. Mais une telle compréhension ne doit pas être systématique. Un producteur qui peut se permettre d’acheter des engrais, peut souvent utiliser ses sources organiques d’une façon plus intelligente. La combinaison des engrais organiques ave les engrais inorganiques est à rechercher surtout pour viser des gains par synergie au-delà de la simple complémentarité.

***3.3 L'utilisation des amendements organiques***

Vanlauwe et al. (2002) classifient les sources de MO en utilisant les taux d’azote (N), de phénols et de lignine. Un bon fumier organique contient un taux élevé de N et des taux bas de phénols et de lignine. Ainsi, la minéralisation est rapide et le N et les autres éléments nutritifs deviennent rapidement disponibles pour la culture. Le désavantage est cependant que ce bon fumier contribue peu à l’amélioration du taux de MO du sol ; un bon fumier n’est pas nécessairement un bon amendement ! La combinaison de l’engrais avec du fumier de qualité supérieure ne mène qu’à un effet complémentaire ; les nutriments du fumier s’ajoutent aux nutriments de l’engrais.

Pour obtenir une bonne synergie, il faut combiner de l’engrais avec des amendements de qualité moindre en ce qui concerne leur contribution à la nutrition des cultures. La pratique montre cependant que des sources organiques qui connaissent une minéralisation trop lente (par exemple de la sciure de bois et des aiguilles de pin) ne sont pas efficaces. Il semble qu’elles sont trop inertes par rapport aux interactions chimiques et physiques dans le sol, interactions qui déterminent l’intérêt de la MO du sol. L’intérêt de la MO doit être considérée au regard de

* la rétention des éléments nutritifs, la C.E.C. ;
* la rétention d’eau ;
* l’occupation des sites de fixation de phosphore (P) ;
* et de la capacité tampon contre les changements du pH.

Le tableau 2 illustre les différences entre des sources de MO par rapport d'une part aux taux d’éléments nutritifs, représentés par le taux de N, et d'autre part la vitesse de minéralisation (Breman et al., 2012). La quantité de MO nécessaire pour maintenir le taux de N du sol augmente rapidement en descendant dans le tableau, tandis que la quantité nécessaire pour maintenir le taux de MO diminue fortement. Il convient de noter que le taux de N, même pour les bonnes sources organique en haut du tableau, est très bas par rapport aux engrais azotés. Les derniers contiennent entre 26 % (CAN) et 46 % (urée) de N ; pour apporter 100 kg/ha de N, il faut 0,4 à 0,2 t/ha seulement. En utilisant des sources de MO, il faut déjà en apporter des quantités 25 à 50 fois supérieures, même pour les meilleures sources du haut du tableau.

Tableau 2. Besoins annuels en sources de MO en fonction de leurs qualités moyennes, pour apporter 100 kg/ha de N ou pour maintenir le taux de MO du sol dans les premiers 20 cm des sols tropicaux ayant une perte annuelle de carbone (C) de la MO du sol de 1 t/ha/an.

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Source de MO** | **Taux de C** | **Reste de C**  **après humidification** | **Taux de**  **N** | **Besoin en MO**  t/ha/an de MS | |
|  | g/kg de matière sèche | | | apport de N1) | maintenir le taux de MO |
| **Engrais vert** | 250 | 50 | 15 | 8,3 | 20.0 |
| **Compost** | 300 | 60 | 12 | 10,4 | 16.6 |
| **Fumier de bétail** | 350 | 105 | 10 | 14,3 | 9.6 |
| **Paille de sorgho2)** | 450 | 225 | 5 | 40,0 | 4.4 |
| **Litière ligneuse :** |  |  |  |  |  |
| ***- sans bois grossier*** | 350-400 | 70-160 | 5 | 29,0 | 6.3 |
| ***- avec bois grossier*** | 350-500 | 70-400 | 2,5 | 88,9 | 2.5 |

*1) La fraction libéralisée par la minéralisation*

*2) Les autres céréales grossières auront de la paille avec des caractéristiques assez comparables ; des céréales fines, comme le blé, auront de la paille un peu plus minéralisante. Mais la paille de riz, à cause du taux élevé de silice, pourrait se rapprocher du cas des céréales grossières*

Il est indéniable que les engrais azotés en soi n’apportent pas de MO, mais leur incidence indirecte est notable. En appliquant 100 kg/ha de N par ces engrais dans un cadre de GIFS, on produit, par exemple, 2500 kg de graines de sorgho de plus, mais aussi au moins 5000 kg de paille. Cette production supplémentaire de paille suffira pour maintenir le taux de MO du sol (Tableau 1).

Ainsi, quand on a suffisamment de paille, utiliser le fumier dans le cadre de la GIFS n'est pas optimale. Il est préférable de le garder pour fumer les champs où on n’a pas encore pu épandre de l’engrais. En utilisant pour la GIFS des sources organiques avec un taux élevé de nutriments et une minéralisation rapide, l’effet complémentaire domine, mais si ce taux de nutriments devient bas et la minéralisation lente, c’est la synergie qui devient forte.

Tous les sous-produits ne sont pas forcément disponibles comme amendements organiques. L’utilisation des fanes de pomme de terre et d’autres *Solanaceae* (e.g. tomates), par exemple, est à déconseiller à cause des risques de prolifération des maladies. Et les fanes de haricot et de patates douces ont plus de valeur comme fourrage pour le bétail. Il faut donc disposer de fumier ou de compost pour pouvoir appliquer la GIFS sur de telles cultures.

***3.4 Technologies de la GIFS***

*3.4.1 Variables*

Les technologies de la GIFS ont en commun que l’apport des amendements organiques est un composant principal[[5]](#footnote-5). La différence clé entre ces technologies réside dans l’origine des amendements; c’est l’origine qui détermine la disponibilité, la qualité et la durabilité. Quelques distinctions sont d'importance cruciale à considérer, comme déjà illustré par la diversité indiquée dans le Tableau 1:

* L’exploitation agricole est la source de MO, ou celle-ci est apportée de l’extérieure ;
* la MO est produite avec ou sans engrais ;
* les espèces végétales d’origine ont une qualité[[6]](#footnote-6) intrinsèque élevée, moyenne ou basse ;
* la MO concerne du matériel végétal brut, ou elle est transformée par compostage ou par digestion animale.

La MO d'origine interne à l’exploitation agricole concerne les sous-produits agricoles, les produits des parcours et/ou des produits d’arbres. Ces sources n’apportent pas d’éléments nutritifs ; l’application de cette MO ne concerne qu’un recyclage des nutriments disponibles. Le N constitue une exception; en supposant que le sol n’est pas déficient en phosphore (P), la culture des légumineuses apportera de N par fixation biologique. Il s’agit cependant d'un apport souvent surestimé, à cause de la déficience en P et le prix élevé de l’engrais phosphaté (Breman & van Reuler, 2002).

L’apport de MO extérieure à l'exploitation agricole va de pair avec une augmentation des frais monétaires et un épuisement de la terre ailleurs, une forme de frais écologiques.

La MO produite avec de l’engrais ayant un taux d’éléments nutritifs supérieur à celle produite sans engrais, l’immobilisation de N et d’autres éléments nutritifs au début de la saison sera moindre, ce qui améliore l'efficacité des engrais apportés. Cependant, la minéralisation risque d’être supérieure.

La remarque précédente vaut aussi pour la MO issue d'espèces végétales à "qualité" intrinsèque différente. La qualité diminue, par exemple, des espèces annuelles, aux plantes herbacées pérennes puis ligneuses. Elle diminue aussi des espèces légumineuses, aux espèces herbacées puis graminées, et enfin des espèces avec photosynthèse C3 aux espèces avec photosynthèse C4 (Penning de Vries & Djitèye, 1982).

Il y a des différences considérables entre de la biomasse végétale brute d’un côté et du matériel composté ou digéré (par du bétail ou par l’homme) de l’autre. Les différences sont cependant bien plus importantes pour l’utilisation comme fumier, comme alternative à l’engrais chimique, que pour l’utilisation comme amendement. Dans le dernier cas, c’est l’utilisation directe de la biomasse brute qui conviendra mieux à l’amélioration du sol. Un inconvénient est cependant l’énergie nécessaire pour faire intégrer la biomasse brute dans le sol; en partie compensé par l’avantage d’une utilisation sans nécessiter de transport. Le compostage et la digestion animale améliorent indéniablement la qualité mais au prix d'une forte diminution de la quantité (IFDC, 2005).

Malgré toute cette variation au sein des amendements organiques, deux faits majeurs rendent leur application relativement simple : *i*) la qualité est inversement proportionnelle à la quantité, à la disponibilité ; *ii*) la meilleure fraction, de proportion faible, peut servir comme alternative à l’engrais chimique, le reste, de proportion forte, peut servir comme amendement.

*3.4.2 Gestion de la MO*

L’utilisation de la MO sans engrais, comme cela se rencontre avec la majorité des producteurs en ASS et dans l’agriculture biologique, va de pair avec des pertes considérables de la MO. Il s’agit des pertes de la MO du sol des champs cultivés car le labour accélère la minéralisation de cette MO qui n'est pas compensée par les quantités apportées de MO. Il s’agit aussi des pertes de la végétation et de la MO du sol des zones où la MO de compensation est collectée. Ces pertes augmentent proportionnellement avec la croissance démographique (de Ridder et al., 2004). En effet, l’homme utilise la MO stockée auparavant dans le sol et dans la végétation, du temps où la pression humaine était encore négligeable.

Sans l’utilisation de l’engrais chimique, la disponibilité des sources organiques est limitée. En agriculture biologique à bon niveau de production, il faut de l’ordre de 4 ha de parcours pour chaque hectare de culture (Breman et al., 2012). La production de fumier ne correspond pas à un enrichissement de la disponibilité des éléments nutritifs, il ne s’agit qu’un transfert de fertilité impliquant l'épuisement de la fertilité des zones de collecte. Tôt ou tard, ces zones se dégradent, mettant fin aux systèmes de production qui en dépendent (Breman et al., 2007).

L’intensité et la qualité de la gestion de la MO, de sa production jusqu’à son utilisation, déterminent sans doute la vitesse et l’importance des pertes de MO mentionnées ci-dessus. Badgley et al. (2007) montrent que l’agriculture biologique bien gérée peut conduire à des rendements 1,4 à 1,8 fois ceux de l’agriculture conventionnelle, quand ces derniers sont bas. Ces facteurs multiplicatifs s'appliquent aux rendements céréaliers de 2 à 1 t/ha, niveau couramment rencontré en ASS (Breman, 2013). Ceci suggère que la gestion optimale de la MO permettrait de diminuer les pertes de MO d'environ 50%.

*3.4.3 Systèmes de production*

Les divers systèmes de production adoptant la GIFS pour une production efficace et durable, utilisent tous –en plus de l’engrais– de la MO pour améliorer ou maintenir la qualité du sol. C’est l’origine de la MO qui crée les différences. En cas de production mixte de végétaux et d'animaux, par exemple, c’est notamment le fumier qui sert comme MO. Dans une telle production mixte, l'efficacité varie suivant que le bétail est nourri par les produits de l’exploitation même ou par les aliments venant de l’extérieur. Dans ce dernier cas, il faut aussi distinguer les situations où l'alimentation du bétail provient de pâture ou de collecte à proximité ou est achetée.

Dans le cas des exploitations sans bétail, la MO provient des sous-produits, de la matière organique collectée aux alentours, du compost ou du fumier acheté. Ce dernier type de systèmes peut être bien intéressant à proximité des villes, où beaucoup de MO devient disponible grâce à l’apport de la nourriture pour l’homme.

Bien moins connu est le système de production qui exploite l’arbre comme source de MO. Il s’agit de l’agroforesterie, fortement promue par des ONG en ASS. En effet, le système promu ne concerne pas un système de production qui adopte la GIFS suivant la définition indiquée plus haut. Le système promu ne cherche pas l’utilisation efficace et durable des engrais chimiques mais il vise l'utilisation de la MO comme alternative aux engrais. L’adoption par les producteurs est limitée pour ce type de système; la pratique disparait en général quand le financement des projets de promotion s’arrête. La raison est simple, l’introduction de l’arbre dans les champs diminue presque toujours le rendement des cultures, d'au moins 20% (Breman, 2011). Bien que cette forme d’agroforesterie soit plus durable que la production extensive actuelle, elle reste peu acceptable en raison de cette diminution des rendements.

Il n'en est plus ainsi quand l’agroforesterie est envisagée comme une technique de la GIFS, dans une optique d'utilisation efficace et durable des engrais chimiques avec l’aide de l’arbre, ou "agroforesterie intensive" à l'opposé de l’agroforesterie extensive couramment promue par les ONG. Bien pratiquée, l’agroforesterie intensive fait augmenter les rendements obtenus par l’utilisation d’engrais qui devient ainsi plus durable (Breman & Kessler, 1995 ; Breman, 2011).

Mieux encore, comme cela sera approfondi par la suite, l’agroforesterie intensive peut être perçue comme un instrument potentiel pour concrétiser un pont entre l’agriculture conventionnelle et l’agro-écologie. Les promesses de cette agroforesterie seront analysées à travers le rendement et le revenu qu'on peut en attendre, comparés à ceux obtenus avec les systèmes actuels extensifs et épuisants d’ASS, ou avec ceux de l’agro-écologie en général et de l'agroforesterie extensive, ou encore avec les résultats des systèmes qui utilisent l’engrais chimique dans un cadre de la GIFS, à partir de sous-produits, de compost ou de fumier comme sources de MO.

**4. Jeter un pont - la pratique**

***4.1 Les exigences découlant du surpeuplement relatif de la zone cotonnière***

C’est notamment par rapport à l’Afrique de l’Ouest que les conséquences du surpeuplement pour les systèmes de production ont été étudiées. La dégradation de l’environnement est accélérée à cause de la disparition des arbres et de l’élevage pastoral. Ce dernier va de pair avec un déplacement du point de gravité de l’élevage de la région semi-aride à la savane, et une augmentation forte de l’effectif du bétail. C’est ainsi que les cultivateurs cherchent à maintenir la fertilité des champs (de Ridder et al., 2004 ; Breman et al., 2007).

La menace du surpeuplement est bien moindre dans les zones cotonnières quand l’utilisation de l’engrais est supportée par la culture cotonnière et par les cultures de rotation, comme le maïs. L’apport de l’engrais augmente la capacité de charge des ressources naturelles (Breman, 1990b ; Breman, 2002). La durabilité du système cotonnier n'est cependant pas garantie car même si l'apport d'engrais ménage de l’espace pour l’arbre, le reboisement n’est pas automatique. Par ailleurs, la rentabilité de l’utilisation d’engrais sur le coton en ASS varie fortement avec les prix mondiaux du coton.

La durabilité serait mieux assurée avec l'introduction de l'agroforesterie intensive en faisant d'une pierre deux coups : la couverture arborée est régénérée et l’intensification agricole devient plus rentable; l’utilisation de l’engrais devient plus rentable et durable. En conséquence, la production cotonnière sera plus compétitive et la surexploitation des parcours par un effectif de bétail trop nombreux s'estompe.

***4.2 Agroforesterie intensive - théorie***

L’agroforesterie intensive constitue un bon exemple de systèmes de production combinant les rendements élevés de l’agriculture intensive conventionnelle et la préoccupation de la préservation du sol pour une production durable de l’agro-écologie, en s'affranchissant de la grande demande en espace. En effet, l’ASS peut éviter les erreurs de l’agriculture intensive industrielle commise dans les autres parties du monde si « l’utilisation minimale des engrais chimiques » de l’agro-écologie (de Schutter, 2010) est remplacée par une utilisation optimale (Breman, 2013). Par rapport aux autres systèmes de production reposant sur la GIFS, l’agroforesterie a comme avantage supplémentaire de contribuer aux besoins en bois de chauffe.

Là où la production extensive actuelle des céréales conduit à des rendements de 0,5 à 2,0 t/ha, l’agro-écologie donne 1,2 à 2,8 t/ha, en occultant l’espace nécessaire pour obtenir suffisamment de fumure organique. L’utilisation d’engrais dans un cadre de la GIFS, en utilisant des sous-produits agricoles, du compost ou du fumier, donne des rendements de 2 à plus de 4 t/ha sous des conditions autrement comparables (IFDC, 2005 ; Breman, 2013). L’agroforesterie intensive permet aux producteurs d’atteindre ces derniers rendements, tout en augmentant aussi la production ligneuse. L’efficacité et la rentabilité d’engrais sont améliorées et les risques environnementaux des engrais diminuent (Breman, 2011 ; Breman & Kessler, 1995).

Les principes de l’agroforesterie intensive ont été élaborés par Breman & Kessler (1995). Ils montrent que l’objectif d'une utilisation d’engrais, aussi efficace que possible, exige :

* une amélioration maximale de l’état de la MO du sol et une compétition limitée entre les arbres et la culture. C’est le parc à bois qui est le plus efficace.
* Une distribution homogène des arbres.
* Une couverture de l’espace du champ par les arbres de 20 à 25%.
* Une hauteur suffisante de la couronne des arbres; la longueur du tronc doit être au moins deux fois le diamètre de la couronne.
* Un système racinaire profond des espèces d'arbres à utiliser.
* Une coupe des racines superficielles des arbres, avant chaque saison, pour les limiter à deux mètres du tronc.
* Une vitesse de minéralisation assez lente des feuilles des arbres.
* Élimination du facteur limitant de croissance, comme souligné par Radersma (2002), il s’agit en général de la déficience en éléments nutritifs, fort fréquente en Afrique de l'Ouest là où la pluviométrie dépasse 300 mm/an (Penning de Vries & Djitèye, 1982).
* Une application d’engrais pour diminuer la compétition entre les arbres et la culture.

L’agroforesterie extensive, promue comme une alternative à l'apport d'engrais chimiques, connait en général une compétition sérieuse entre les arbres et la culture car :

* La déficience du sol en éléments nutritifs en est une cause majeure.
* Cette déficience est renforcée par le choix des espèces, ayant des feuilles riches en éléments nutritifs et avec une minéralisation rapide.
* La déficience du sol en P fait réduire la fixation biologique de N des essences choisies.
* La préférence pour la culture en couloir ne permet pas de profiter au mieux de la différence de croissance entre les arbres et les cultures annuelles qu’ils stimulent : la production élevée de biomasse, grâce à une longue durée de vie et une concentration des éléments nutritifs pour atteindre de grandes dimensions, ne se réalise pas car les rejets sont coupés annuellement (Breman & Kessler, 1995).

L’agroforesterie extensive ne se différencie pas de l’agroforesterie intensive seulement par l’objectif –une alternative à l'utilisation des engrais versus le renforcement de l'efficacité des engrais. Les propriétés des espèces d’arbres efficaces diffèrent, de même que leur gestion. Les légumineuses de l’agroforesterie extensive ne sont pas nécessairement efficaces dans l’agroforesterie intensive. La déception des agriculteurs, qui accepte la suggestion des ONG de pratiquer l’agroforesterie extensive, s’explique par la compétition trop forte entre les arbres et la culture, une compétition dont l’effet négatif dépasse l’effet positif de l’arbre sur le sol. Il n’y a que deux cas où l’agroforesterie extensive mène en général à une augmentation du rendement des cultures, l’utilisation des brises vents là où sans protection l’agriculture est quasi impossible, et le parc à bois dont le cycle des arbres et celui de la culture n’a qu’un chevauchement partiel (Breman, 2011).

***4.3 Agroforesterie intensive - pratique***

Les exemples de l’agroforesterie intensive restent rares. Tamelokpo et al. (2008) ont traité un test qui a duré 10 ans et qui était installé dans la zone côtière du Togo, un parc à bois créé en transformant une culture en couloir de *Leucena leucocephala*. Le tableau 3 présente l’effet des arbres à la fin de la période de test. Bien que prometteurs, les résultats obtenus restent sous-optimaux car les feuilles de *Leucena* minéralisent rapidement et les racines sont peu développées et superficielles du fait de la coupe régulière des arbres pour les empêcher de déborder dans le couloir.

Tableau 3. La production aérienne d’un parc à bois avec et sans engrais, en comparaison avec celle d’une culture de maïs extensive (témoin) et intensive (témoin + engrais)

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | **rendements (t/ha)1)** | | | | |
|  | maïs | | arbres | | total |
|  | graines | paille | feuilles2) | bois | total |
| **Témoin** | 1.3 | 1.9 | 0 | 0 | 3.2 |
| **Témoin + engrais** | 4.2 | 6.3 | 0 | 0 | 10.5 |
| **parc à bois** | 2.6 | 3.9 | 5.0 | > 5,93) | > 173) |
| **parc à bois + engrais** | 4.1 | 6.1 | 9.5 | > 14,53) | > 343) |

*1) Saison principale seulement pour la culture. Parfois, le niébé a été cultivé pendant la deuxième saison*

*2) Et autre biomasse tombée.*

*3) Arbres bien trop jeunes pour être coupés. Estimation basée sur la base de la production des feuilles et de la production des feuilles et du bois du champ voisin portant la culture en couloir originale.*

Le test a été installé sur une friche de longue durée. Au démarrage, le rendement de maïs de la saison principale était de 2 t/ha. Après 10 ans de culture sans engrais, mais en recyclant la paille, le rendement était encore 1,3 t/ha[[7]](#footnote-7). Le parc à bois seul, combiné avec le recyclage de la paille, a pu augmenter le rendement original jusqu’à 2,6 t/ha de maïs. Avec de l’engrais (N, P & K 90:55:60), utilisé annuellement pendant les 10 ans, le témoin et le parc à bois donnent le même rendement, plus de 4 t/ha de maïs. Il n’y a pas de différence entre le témoin et le parc à bois, car le témoin a bénéficié de l’application de l’engrais dans une démarche GIFS, la paille ayant été recyclée à la fin de chaque saison.

La grande différence entre la culture intensive de maïs et le maïs en agroforesterie intensive est la production totale de biomasse : respectivement 10,5 t/ha et plus de 34 t/ha. Quoique dans les deux cas, le taux de recouvrement d’engrais soit très bon (55%, alors que la moyenne ouest africaine est 35%), le risque de perte de N non absorbé doit être nul pour le parc à bois car la production aérienne des arbres y est au moins de 13,1 t/ha supérieure à la production du parc à bois sans engrais. Il est vraisemblable que la production racinaire est augmenté presque dans les mêmes proportions. Par ailleurs, le parc à bois intensive n’est pas seulement un instrument efficace pour l’agriculture et la production du bois énergétique, il est aussi très efficace pour la séquestration de carbone (Breman et al., 2004).

***4.4 Agroforesterie intensive, sécurité alimentaire et impacts économiques***

Les résultats ci-dessus montrent que l’agroforesterie intensive, mieux que l’agriculture intensive industrielle et l’agro-écologie, peut assurer la sécurité alimentaire d’une façon durable. Il reste à savoir si son rapport coûts/bénéfices est favorable, en mettant de côté que le gain de durabilité est en soi un bénéfice économique.

Tableau 4. Une estimation du rapport coûts/bénéfices de deux formes d’agroforesterie intensive au Rwanda.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | **Premier objectif** | | | |
|  | **Contrôle d’érosion & production** | | **Production agricole & forestière** | |
|  | % & $/ha/an | % | % & $/ha/an | % |
| ***Coûts*** | | | | |
| ***Composant ligneux*** | | | | |
| *investissement* | 33 % |  | 21 % |  |
| *main d’œuvre* | 67 % |  | 79 % |  |
| sous-total | 105 $ | 9 | 165 $ | 14 |
| ***Culture*** | | | | |
| *investissement* | 54 % |  | 51 % |  |
| *main d’œuvre* | 46 % |  | 49 % |  |
| sous-total | 1007 $ | 91 | 1051 $ | 86 |
| ***Coûts totaux*** | ***1112 $*** |  | ***1216 $*** |  |
| ***Revenu brut*** | | | | |
| *Composant ligneux* |  | 20 |  | 30 |
| *Culture* |  | 80 |  | 70 |
| *Bénéfices nationaux1)* | p.m. |  | p.m. |  |
| ***Revenu brut total*** | ***1590 $*** |  | ***2122 $*** |  |
| **Bénéfices nets** | | | | |
| *Composant ligneux* |  | 45 |  | 53 |
| *Culture* |  | 55 |  | 47 |
| *Bénéfices nationaux1)* | p.m. |  | p.m. |  |
| **Bénéfice net total** | **478 $** |  | **906 $** |  |

*1) e.g. Durabilité de l’agriculture et séquestration de carbone.*

*p.m. = ???*

Les estimations de la valeur économique de l’agroforesterie intensive sont encore plus rares. Le tableau 4 présente une synthèse réalisée à partir des résultats d’une étude ex-ante, combinant les résultats de Tamelokpo et al. (2008) d’un test sur 10 ans au Togo, avec des résultats des introductions récentes au Rwanda, et basée sur les coûts et prix récents de ce pays. Dans ce dernier pays, en plus des amendements organiques, la chaux a été utilisée. L'estimation des bénéfices potentiels d’un système durable a nécessité de tenir compte de l’acidité du sol au Rwanda et de l’acidification liée à l'usage des engrais.

Deux types d’agroforesterie ont été étudiés. L’un est employé sur des bons sols sans érosion notable, où l'on veut produire des cultures alimentaires et du bois. L’autre est celui appliqué à agriculture en pente, où le contrôle d’érosion est un objectif primordial pour une culture durable.

Les résultats présentés concernent deux cultures; l’agriculture rwandaise est essentiellement à deux cycles de culture par an. Le bénéfice net total, respectivement de 906 et 478 $/ha/an pour « contrôle d’érosion et production » et « production agricole & forestière », n’est pas très élevé, mais il est bien plus élevé que celui de l’agriculture extensive actuelle. Avec le maïs, on aurait en moyenne environ 530 $/ha/an comme revenu brut, alors que les coûts de production par kg de maïs seraient supérieurs. Par ailleurs, le coût payé pour les engrais est très élevé, alors que les prix perçus pour le maïs et autres cultures est très bas dans un marché libre et transparent. Le prix du bois est aussi relativement bas car la couverture  forestière est relativement élevée en dépit de la pression démographique du Rwanda, en conséquence d'une politique forestière et environnementale efficace (c’est l'un des rares pays d’ASS où la couverture forestière augmente).

Ce sont les valeurs relatives et absolues des prix d’intrants et de la main-d’œuvre, ainsi que ceux des produits agricoles et du bois, qui déterminent l’intérêt de l’agroforesterie intensive pour le développement économique et rural. Cet intérêt doit être plus grand encore que celui observé au Rwanda là où, en ASS, les marchés deviennent plus libres et transparents, les prix d’intrants deviennent plus bas alors que ceux des produits agricoles et de la main-d’œuvre augmentent. À l’exception de quelques pays qui connaissent encore une couverture forestière considérable, les prix de bois doivent en général être supérieurs à ceux du Rwanda, ce qui est certainement le cas aux alentours des grandes villes.

Une belle illustration d’un système de l’agroforesterie intensive dans la proximité des grandes villes est celle analysée par Toose et al. (2007) à Cotonou (Bénin) : sur une période de 4 ans, le revenu net de l’agroforesterie est 560 $/ha supérieur à celui de la culture de maïs continue, malgré le fait que la production de maïs en agroforesterie n’est que la moitié que celle de la culture continue. Il s’agit d’une rotation bois et maïs sur 4 ans, où l'on cultive le maïs pendant deux des quatre années entre les rejets d’*Acacia auriculiformis* après la coupe d’arbres du cycle précédent.

A contrario, les résultats du système promu en RDC dans sa forme extensive –comme solution pour augmenter les bas revenus des petits producteurs et améliorer leur sécurité alimentaire– en montrent les limites. La production agricole est certes le double de celle des cultures sans arbres, mais cela n’est vrai que pour la première année après coupe. Dès la deuxième année, l'incidence des rejets consécutifs à cette coupe est telle que le rendement est au mieux égal que celui du témoin sans arbres. Les années suivantes, l'excès d'ombre empêche toute culture. Breman (2011) a analysé ce cas sur la base de l’évaluation de Ducenne (2009). En effet, le rendement céréalier de 1,5 t/ha en première année après coupe était presque le double de celui des producteurs aux alentours du projet « Mampu », qui ont éliminé les arbres de leurs champs et qui produisent en moyen 0,8 t/ha. Mais le rendement céréalier moyen des producteurs de Mampu sur un cycle complet de 8 à 12 ans, n’a été que de 0,2 t/ha[[8]](#footnote-8). Leur revenu est certes supérieur à celui des petits producteurs congolais, mais ceci n’est pas grâce à l’agroforesterie extensive qu’ils pratiquent, mais à cause de la surface de leur exploitation : 24 ha par famille, contre une moyenne pour les petits producteurs familiaux au Congo ne dépassant pas 1 ha.

**5. La recherche inhérente à une agriculture productive et durable**

La recherche nécessaire pour une agriculture africaine productive, compétitive et durable sera efficace si les chercheurs de l’agriculture conventionnelle industrielle et ceux de l’agro-écologie collaborent ensemble. Cela peut paraître comme un idéal lointain, mais l'orientation récente de la recherche à comprendre et à améliorer la GIFS y contribue. Cela concerne surtout les instituts basés ou originaires du Nord, tels CIAT-TSBF et IFDC, ou des universités comme celles de Wageningen en Belgique et de Leuven aux Pays-Bas. Par contre, la dépendance des instituts et des universités africaines du financement extérieur semble constituer une contrainte dans le choix indépendant des thèmes de recherche à aborder.

L’analyse et les propositions ci-dessus sont à la base de quelques questions cruciales abordées pour a) une GIFS encore plus efficace et plus adaptée aux conditions socio-économique et agro-écologiques diverses, et b) la mise en œuvre de la GIFS dans l’agroforesterie intensive. Ces questions sont certes de nature agronomique, mais pour parvenir à des réponses valables ou applicables, l’agronomie doit être accompagnée par la socio-économie.

Le manque de coopération actuelle entre les deux « écoles » agronomiques n'est pas favorable à la prise de décision politique et peut conforter les politiques à repousser les décisions à plus tard, en arguant que: « Les scientifiques ne connaissent pas encore les urgences et les approches à suivre ».

1. Il est vrai que la GIFS et ses technologies ne sont pas encore suffisamment connues et comprises. Par exemple, il ne suffit pas de qualifier les sources de MO comme alternative aux engrais chimiques, il faut aussi une qualification comme amendement dans le cadre de la GIFS, même si Vanlauwe et al. (2002) ont fait un premier pas dans cette direction. Mais il reste à savoir, par exemple, quelles propriétés caractérisent un amendement qui optimalise l’utilisation des engrais et quelles sont les sources les plus aptes, disponibles et accessibles à cette fin.
2. L’agroforesterie intensive est à peine testée en pratique, et ce n’est que dans le Sahel et la savane ouest africaine et dans le cœur de la Région des Grands Lacs que les premiers pas ont été entrepris pour passer de la théorie à la pratique. Des questions urgentes concernent l’identification a) des régions où les conditions écologiques et socio-économiques sont favorables pour une utilisation efficace de ce système de production, et b) des espèces d’arbres utiles pour ces régions. Des éléments de réponse sont disponibles à travers l'ouvrage de de Breman & Kessler (1995) ou des synthèses relatives aux tests de GIFS menés par l’IFDC et le CIAT-TSBF (IFDC, 2005).
3. La promotion de l’agroforesterie intensive pour la zone cotonnière demande des tests avec le coton et ses cultures de rotation. Le coton, étant une espèce à photosynthèse C3 dont le besoin en lumière est relativement restreint, est un candidat intéressant pour la production en présence d’arbres. Une telle agroforesterie est à maîtriser pour gérer la concurrence entre le coton, les cultures de rotation et les arbres dans un contexte de réchauffement climatique avec augmentation du taux de CO2 dans l’air. L’étude de Derner et al. (2003) fournit une source d’information et d’idées intéressantes dans le cas du système à base de coton et de sorgho. Également utile est le résultat d’une collaboration entre CIRAD et IFDC ; une étude du coton qui cherche à jeter un pont entre la production cotonnière intensive et la production écologique (Breman et al., 2004).

**6. Bibliographie**

AFREA, 2011. *Wood-Based Biomass Energy Development for Sub-Saharan Africa Issues and approaches*. AFREA, World Bank & ESMAP. The International Bank for Reconstruction and Development, the World Bank group, Washington.

Badgley, C., J. Moghtader, E. Quintero, E. Zakem, M.J. Chappell, K. Avilés-Vazquez, A. Samulon & Y. Perfecto, 2007. *Organic agriculture and the global food supply*. Renouvelable Agriculture and Food Systems, 22, 2007, p. 86-108.

Breman, H., 1990a. *No sustainability without external inputs*. In: Beyond adjustment. Africa seminar, Maastricht, the Netherlands. Ministry of Foreign Affairs, Den Haag. pp 124 - 133.

Breman, H., 1990b. *Integrating crops and livestock in southern Mali: rural development or environmentral degradation?* In: Rabbinge, R. et al. (Eds.). Theoretical production ecology: reflections and prospects.. Simulation monographs 34, PUDOC, Wageningen. p. 277 - 294.

Breman, H., 2002. *Soil fertility and farmers' revenue: keys to desertification control*. In: H. Shimizu (Ed.). Integration and regional researches to combat desertification; present state and future prospect. The 16th Global Environment Tsukuba. CGER/NIES, Tsukuba (Japan). p. 26 - 41.

Breman, H., 2011. *Comment assurer la sécurité alimentaire en RDC ? S’appuyer sur de l’agroforesterie et des engrais !* Rapport du projet IFDC-CATALIST. IFDC-Rwanda, Kigali (Rwanda).

Breman, H., 2013. *The agro-ecological solution!? Food security and poverty reduction in sub-Saharan Africa, with an emphasis on the East African Highlands.* In: Agro-Ecological Intensification of Agricultural Systems in the African Highlands (Chap. 3). Vanlauwe, B., P. van Asten & G. Blomme (Eds). Routledge, Taylor & Francis Group.

Breman, H. & J.J. Kessler, 1995. *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.

Breman, H. & H. van Reuler, 2002. *Legumes, when and where an option? No panacea for poor tropical West African soils and expensive fertilizers*. In: B. Vanlauwe, J. Diels, N. Sanginga & R. Merckx (Eds.). Integrated plant nutrient management in sub-Saharan Africa. CAB International. pp. 285 – 298.

Breman, H. & K. Sissoko (Eds), 1998. L'intensification agricole au Sahel. KARTHALA, Paris. 996 p.

Breman, H, B. Fofana & A. Mando, 2007. *The lesson of Drente's 'essen' Soil nutrient depletion in sub-Saharan Africa and management strategies for soil replenishment*. In: Braimoh, A.K. & P.L.G. Vlek. Land use and soil resources, p. 145 – 166. Springer Science & Business Media B.V.

Breman, H., H. Köster & R. Rukundo, 2012. *Élevage des ruminants dans des systèmes de production mixtes*, *Vol. II. Fiches techniques pour la Région des Grands Lacs d’Afrique Centrale*. IFDC-CATALIST, Kigali, Rwanda.

Breman, H., A. Gakou, A. Mando & M. Wopereis, 2004. *Enhancing integrated soil fertility management through the Carbon Market to combat resource degradation in overpopulated Sahelian countries*. Proc. Regional Scientific Workshop on Land Management for Carbon Sequestration. Bamako (Mali), February 27 – 28, 2004. Organized by the Carbon from Communities project and funded by the U.S. National Aeronautics and Space Administration. IER (Bamako), NASA & Soil Management CRSP, USA. Cd-Rom NASA.

Breman, H, Ch. Gaborel, M. Vaissayre & R. Vogelsperger, 2004. *Coton durable. Vers une gestion améliorée de la fertilité des sols et des nuisances. Le cas de l´Afrique de l´Ouest et du Centre*. Paper presented at the EU-Africa Cotton Forum, Paris, July 2004. IFDC, Muscle Shoals & CIRAD, Montpellier.

Breman, H., Th. Hatangimana, J.M.K. Kambale, S. Kavira, R. Lindiro, Z. Nzohabonayo, C. Simbashizubwoba & N. Ujeneza, 2012. *Proposition pour l’amélioration des recommandations d’intensification agricole sur la base des résultats des tests participatifs et des démonstrations de fertilisation*. Rapport du projet IFDC-CATALIST. IFDC-Rwanda, Kigali (Rwanda).

Derner, J.D., H.B. Johnson, B.A. Kimball, P.J. Pinter, H.W. Polley, C.R. Tischler, T. Boutton, R. Lamorte, R.J. Wall & N.R. Adam, 2003. *Above- and below ground responses of C3-C4 species mixtures to elevated CO2 and soil water availability*. Global Change Biology.

Ducenne, Q., 2009. *Évaluation des actions agroforestières à Mampu*, RDC. Rapport d’Évaluation sur demande de la Communauté Européenne.

IFDC, 2005. *Development and dissemination of sustainable integrated soil fertility management practices for smallholder farmers in sub-Saharan Africa*. IFAD-Rome, TSBF-Nairobi and IFDC-Lomé. Techn. Bull. IFDC-T-71. IFDC, Muscle Shoals. 65 p.

Keulen, H. van, 1982. *Graphical analysis of annual crop response to fertilizer application.* Agric. Syst. 9, 113-126.

Penning de Vries, F.W.T. & M.A. Djitèye (Eds.), 1982. *La productivité des pâturages sahéliens. Une étude des sols, des végétations et de l’exploitation de cette ressource naturelle.* Agric. Res. Rep. 918, PUDOC, Wageningen.

Ridder, N. de, H. Breman, H. van Keulen & T.J. Stomph, 2004. *Revisiting a cure against land hunger: soil fertility management and farming systems dynamics in the West African Sahel.* Agricultural Systems 80, 109–131.

Radersma, S., 2002. *Tree effects on crop growth on a phosphorus-fixing ferrasol*. PhD thesis University of Wageningen.

Schutter, O. de, 2010. *Agro-ecology and the right to food*. UN Report A/HRC/16/49

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 disemination 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).

Toose, W.A., A. Tamélokpo & M.C.S. Wopereis, 2007. *Deux techniques agroforestières, culture en couloir et parc à bois cas de la savane côtière Davié, Togo*. In: Development and disemination 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).

Toose, W.A., R.J. Carsky, J.-M. Mewou & M.C.M. Wopereis, 2007. *Fertilizer response of maize and profitability of mixed maize – Acacia auriculiformis systems in the coastal savanna of West Africa.* In: Development and disemination 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).

Vanlauwe, B., C.A. Palm, H.K. Murwira & R. Merckx, 2002 *Organic resource management in subSaharan Africa: validation of a residue quality-driven decision support system*. Agronomie 22, 839-846.

Vanlauwe, B. & S. Zingore, 2010. *Integrated soil fertility management: an operational definition and consequences for implementation and dissemination*. Better crops 95, 4 – 7.

Zuberi, T & K.J.A. Thomas, 2012. *Demographic projections, the environment and food security in sub-Saharan Africa*. WP 2012-001, UNEP.

1. Engrais chimiques, pesticides, et carburants [↑](#footnote-ref-1)
2. Dans cet article, “engrais”, “engrais chimique” et “engrais inorganique” sont synonymes. [↑](#footnote-ref-2)
3. L’utilisation d’engrais chimique est généralisée après la 2ème Guerre Mondiale, particulièrement aux Etats-Unis et en Europe. Il a fallu une vingtaine d'années pour observer le doublement de l'efficacité d’utilisation d’engrais. Récemment, ce doublement n’a pris que 5 ans dans le projet GIFS de l’IFDC en Afrique de l’Ouest grâce à la connaissance et l’expérience accrues de l’amélioration de la fertilité du sol (IFDC, 2005). [↑](#footnote-ref-3)
4. Il faut savoir que les frais de production extensive par kg de produit peuvent être le double de ceux de la production intensive. [↑](#footnote-ref-4)
5. Les autres amendements, comme la chaux et le phosphate naturel, ne seront pas traités ici. [↑](#footnote-ref-5)
6. Le mot qualité, dans ce paragraphe 3.4.1, concerne la qualité pour fonctionner comme bon fumier. [↑](#footnote-ref-6)
7. En cas de la culture en couloir sans engrais, mais aussi combinée avec le recyclage de la paille, le rendement original de 2 t/ha a pu être maintenu pendant les 10 ans du test. [↑](#footnote-ref-7)
8. Pour souligner encore la différence entre l’agroforesterie intensive et extensive, Toose et al. (2007) obtiennent 0,7 t/ha comme rendement de maïs pour un cycle complet. [↑](#footnote-ref-8)