

AMÉLIORATION DES AGROSYSTÈMES INTÉGRANT LE HARICOT COMMUN (*Phaseolus vulgaris* L.) AU SUD KIVU MONTAGNEUX

Civava M. R.¹, Malice M.² et Baudoin JP.³

Résumé

Le haricot commun, *Phaseolus vulgaris* L., est l'une des principales cultures de l'est de la République Démocratique du Congo. Au Sud Kivu montagneux, il est principalement produit en système d'association culturale, intégrant l'agriculture et de l'élevage, sur des terrains en pente avec des pratiques culturales inappropriées et une gestion calamiteuse de l'érosion, de la fertilité des sols. Comme modalités palliatives à la faible productivité de ce système, le bon choix de la période de semis, l'exploitation des terrains avec des cultures en couloirs en intégrant des haies antiérosives de *Leucaena* et de *Tripsacum* en courbe de niveau et l'intégration de l'élevage de caprin dans le système, sont quelques pistes proposées qui permettraient de résoudre ce problème ainsi que celui de la disponibilité de terres qui se posent avec acuité dans le milieu. Ce système est présumé rentable car les déchets d'une activité sont utilisés comme intrants pour une autre au sein de la même exploitation.

Mots clés : Haricot, amélioration, association des cultures, Sud Kivu.

3.1. Introduction

La pratique agronomique associant deux ou plusieurs espèces végétales est l'un des systèmes traditionnels d'agriculture les plus anciens (Rajat et Singh, 1981 ; Rodrigo *et al.*, 2001). Les Indiens Mayas en Amérique centrale, ou les Incas en Amérique du sud, cultivaient des associations maïs – haricot (Anonyme, 1982). En République Démocratique du Congo (RDC), le système d'association des cultures revêt une importance capitale, particulièrement dans les régions du Kivu montagneux où plus de 80 % de la production du haricot sont obtenus par des petits fermiers en association des

¹ René Civava est chercheur à l'Université Catholique de Louvain.

² Malice, M. est chercheur à l'Unité de Phytotechnie Tropicale et horticulture, à l'Université de Liège, Gembloux Agro-Bio Tech.

³ J.P. Baudoin est Professeur à Gembloux Agro-Bio Tech. Il est l'auteur correspondant pour cet article. Jean-Pierre.Baudoin@ulg.ac.be. Tél. 00(32)81.62.21.12, Fax. 00(32)81.61.45.44

cultures sur de petites superficies. Cette pratique est dictée par des considérations d'ordre socio – économique, biologique et physique, par la rareté de terres cultivables, etc. (Bouwe *et al.*, 2000).

On observe dans ce milieu des faibles rendements des agrosystèmes à base du haricot, Cette situation est principalement due aux pratiques culturales inadéquates (faible densité de semis, mauvais arrangement spatial, mauvaise utilisation des résidus de récolte, ...), à une mauvaise gestion de la fertilité des sols ainsi qu'à une mauvaise intégration des facteurs agriculture – élevage pouvant conduire à l'amélioration du système au sein d'une famille paysanne.

Après une revue de la littérature présentant les atouts de système des cultures associées auxquels peut être intégré le haricot commun est initialement, le présent travail identifie les contraintes à la production dans les agrosystèmes à base du haricot dans le sud Kivu montagneux et propose des pistes de solutions sous forme d'un système d'exploitation modèle.

3.2. Les cultures associées

3.2.1. Typologie et avantages des cultures associées

On parle des cultures multiples ou cultures associées quand deux ou plusieurs cultures occupent la même unité de surface de sol au cours d'une même année, de façon conjointe ou séquentielle (Francis, 1986). C'est une intensification des cultures dans le temps et dans l'espace avec comme principale exigence la présence de deux ou plusieurs espèces sur le terrain au même moment (simultanément) ou pendant une partie de leurs périodes de croissance (Altieri, 1987 ; Mettrick, 1994).

Trois grands types de relations de compétition peuvent être distingués dans un système d'association des cultures (Mettrick, 1994). Il s'agit de l'inhibition mutuelle, de la coopération mutuelle et de la compensation.

Les cultures associées permettent d'utiliser l'espace plus rationnellement et ainsi d'accroître la productivité du système ; de réduire le parasitisme en favorisant la création des milieux riches, diversifiés et plus équilibrés en éléments nutritifs (Willey, 1979). En effet, en associant intimement les cultures, une couverture végétale est créée ; celle – ci protège le sol de l'érosion, favorise l'infiltration de l'eau, réduit l'évaporation et préserve la structure du sol (Okigbo et Greenland, 1976 ; Rajat et Singh, 1981).

Du point de vue socioéconomique, l'état de dépendance et les risques des catastrophes liés à une culture unique sont supprimés ou atténués, en particulier dans le cas de pluviométrie irrégulière, des fluctuations des

marchés, d'invasion des parasites, des difficultés d'acquisition des produits importés tels que les pesticides, les engrais, les machines et pièces de rechange, les aliments concentrés pour le bétail, etc. (Baldy et Stigter, 1993). Dans l'agriculture des petites exploitations, comme c'est le cas au Sud Kivu, la réduction des risques des productions est un avantage essentiel de la culture multiple dans la mesure où une mauvaise récolte peut aller jusqu'à mettre en danger la survie même de la famille paysanne (Beets, 1982 ; Kotschi, 1991). L'Institut International de Recherche sur les Cultures des zones Tropicales Semi – Arides, ICRISAT (1983) a montré que sous les tropiques le risque d'une récolte catastrophique est plus grand en système de culture pure qu'en système de cultures associées.

C'est ainsi qu'on estime que la plus importante légumineuse alimentaire d'Afrique, le niébé (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.), est produit à 98% en association avec d'autres cultures ; plus de 70% des aliments provenant des cultures sous les tropiques, spécialement en Afrique tropicale, viennent du système d'association des cultures et 83% des terres des cultures sont exploitées en système d'association culturale au Nigeria (Norman, 1974). Il en est de même en Amérique latine où 90% du haricot commun (*Phaseolus vulgaris* L.) produit en Colombie, 73% au Guatemala et 80% au Brésil croit en association avec d'autres cultures spécialement le maïs (*Zea mays* L.) et la pomme de terre (*Solanum tuberosum* L.) (Francis, 1986).

Aussi, les travaux menés à travers le monde révèlent l'avantage des rendements en système des cultures associées. Cela a été prouvé dans les associations des céréales avec les légumineuses à graines et notamment dans les systèmes maïs – soja (*Glycine max* (L.) Merr.) (West et Griffith, 1992). Les études menées dans les hautes terres éthiopiennes montrent que la productivité de ce système, déterminée par le Land Equivalent Ration (LER), est supérieure comparativement au système de culture pure et le gain peut varier de 6 à 66% (Tamado *et al.*, 2007). Il en est de même pour les associations sorgho – soja (Elmore et Jackobs, 1986), maïs – luzerne (Watiki *et al.*, 1993), blé – haricot mungo (Chowdhury et Rosario, 1994), blé – pois chiche (Mandal *et al.*, 1996), mucuna – maïs (Sanginga *et al.*, 1996). Cela passe par la disponibilité des éléments nutritifs et de la matière organique suite à une interaction des rhizosphères (Song *et al.*, 2007).

Différents indices ont été suggérés pour évaluer la productivité et l'efficacité par unité de terre du système d'association des cultures par rapport à la culture pure (Willey, 1979). Ceux – ci concernent, entre autres, la comparaison de la composante rendement, la production de calories et protéines, l'évaluation économique des systèmes, etc.

Cinq indices sont le plus souvent utilisés pour déterminer le gain de l'association culturale par rapport à la culture pure. Il s'agit du Taux de

Surface Equivalente (=Land Equivalent Ration, LER) (Williams et McCarthy, 2001), de l'indice ATER (Area Time Equivalent Ration), proposé par Hiebsch (1980) et McCollum (1982) cités par Midmore (1993), des indices simples des revenus financiers, l'indice d'Utilité/Coût ainsi que de l'indice de production de protéines par hectare (Conez, 1984 cité par Portanda, 2000).

3.2.2. Facteurs influençant l'association des cultures

Les facteurs éco – climatiques affectant le système d'association des cultures sont le rayonnement lumineux, les précipitations, le sol, le vent et la température. D'après Marynem (1963), lorsque la densité de semis (ou de plantation) croît, les pertes en lumière diminuent et l'efficacité photosynthétique mesurée par unité de surface augmente sensiblement. Selon ce même auteur (Marynem, 1963), une meilleure utilisation de la radiation solaire surabondante est possible dans une association des cultures lorsque l'espèce dominante possède un besoin en radiation plus élevé que celui de l'espèce dominée. Le sol est un facteur important dans l'association des cultures. C'est ainsi que sur un sol pauvre, conditions de nutrition marginales, on plantera à petite densité contrairement à un sol riche où la densité sera grande car le développement de la plante y sera maximal. Cependant Baldy (1986) montre que l'augmentation de la densité de semis accroît la compétition entre les plantes et diminue le rendement de la culture. Il soutient qu'en association maïs – haricot par exemple, cet effet est plus marqué sur la culture dominée (le haricot) que sur la culture dominante.

Quant à la compétition entre les composantes associées pour les éléments nutritifs, elle intervient beaucoup plus pour les éléments très mobiles et lorsque les zones d'absorption des deux espèces s'entrecroisent. C'est ainsi que la compétition dans l'association est moins forte pour le potassium (K), le phosphore (P) et le calcium (Ca) qui sont des éléments moins mobiles que l'azote (N).

Francis *et al.* (1982) montrent que l'Indice de Surface Foliaire (LAI)¹ du maïs en culture pure et associée ne diffèrent pas, contrairement à celui du haricot. Dans ses recherches sur base physiologique de variation de récolte, Marynem (1963) conclut que la possibilité d'accroître le rendement réside principalement dans l'augmentation de LAI et non dans l'accroissement du taux net d'assimilation, Net Assimilation Rate (NAR). Cette dernière valeur est relativement constante ou du moins hors de portée des interventions du praticien.

¹ Leaf Area Index

En plus de ce qui précède, il importe aussi de tenir compte de l'orientation des lignes de semis dans le système d'association des cultures car l'ombrage réduit la disponibilité de l'énergie rayonnante à la surface de la canopée de la culture dominée, et donc la croissance et le rendement.

3.2.3. Haricot en système d'association des cultures

Dans de nombreuses régions tropicales, l'agriculture n'a toujours pas atteint des niveaux de productivité suffisants pour résoudre les problèmes de sous-alimentation ou de malnutrition. Les travaux de recherche agronomique réalisés dans le passé ont souvent négligé les cultures vivrières au profit des cultures industrielles. Pour remédier à ces insuffisances, on doit améliorer la productivité des plantes vivrières et des systèmes phyto-techniques dans lesquels elles s'intègrent (Baudoin *et al.*, 1995).

Les recherches en sélection variétale devront être participatives et faire appel aux agriculteurs locaux et aux communautés paysannes pour les choix des génotypes appropriés à leurs objectifs. Les agriculteurs identifieront une série d'objectifs qui pourront être considérés par les sélectionneurs (Baudoin, 2001).

Bien que leurs critères de sélection soient en général identiques comme le soulignent beaucoup d'auteurs (Baudoin *et al.*, 1997 ; Hocdé *et al.*, 2001), les agriculteurs font appel à une gamme de critères beaucoup plus large que les sélectionneurs. Ces derniers, dans le cas du haricot, s'appuient sur 3 ou 4 critères (rendement, résistance ou tolérance aux principales maladies) pour décider de la valeur d'une nouvelle variété. Quant aux agriculteurs, ils combinent une quinzaine de critères pour décider de tester et d'adopter une nouvelle variété : architecture (gousse ne touchant pas le sol), résistance aux pluies, résistance aux maladies fongiques, résistance aux ravageurs, aptitude à la consommation, couleur des graines, stabilité de la couleur des graines, temps de cuisson, facilité d'écoulement sur le marché, homogénéité, longueur du cycle végétatif, durée de maturité (précocité), facilité de battage, nombre de graines/gousse, rendement, etc.

Parmi tous les schémas de sélection variétale des plantes, on pourrait opter pour les méthodes d'amélioration des populations, encore appelées méthodes de sélection cumulative ou récurrente. La sélection cumulative est particulièrement efficace pour l'introduction dans le matériel cultivé de nombreux caractères, surtout si ces caractères sont à déterminisme polygénique et si l'effet d'additivité des gènes concernés est important (Baudoin, 2001). L'organigramme d'un schéma d'amélioration génétique de *Phaseolus* appliqué dans les Andes de la Colombie et du Pérou est repris à la figure 1 (Baudoin, 2001).

Les listes de caractères utiles en association culturale, établies par plusieurs chercheurs (Francis, 1986 ; Baudoin *et al.* 1995) sont regroupées suivant 3 catégories :

- les caractères n'interagissant pas avec le type de culture : il s'agit des caractères liés à l'adaptation aux conditions climatiques, à la tolérance aux maladies et ravageurs, aux réponses de pratiques culturales, etc. ;
- les caractères spécifiques aux cultures associées, ceux – ci sont définis par le potentiel de rendement et la capacité à la compétition ;
- les caractères liés aux aspects socioéconomiques et à la qualité des graines. Ces derniers ne sont pas liés directement à la production biologique, ils impliquent l'équilibre nutritionnel, la taille, la couleur, le temps de cuisson, des graines.

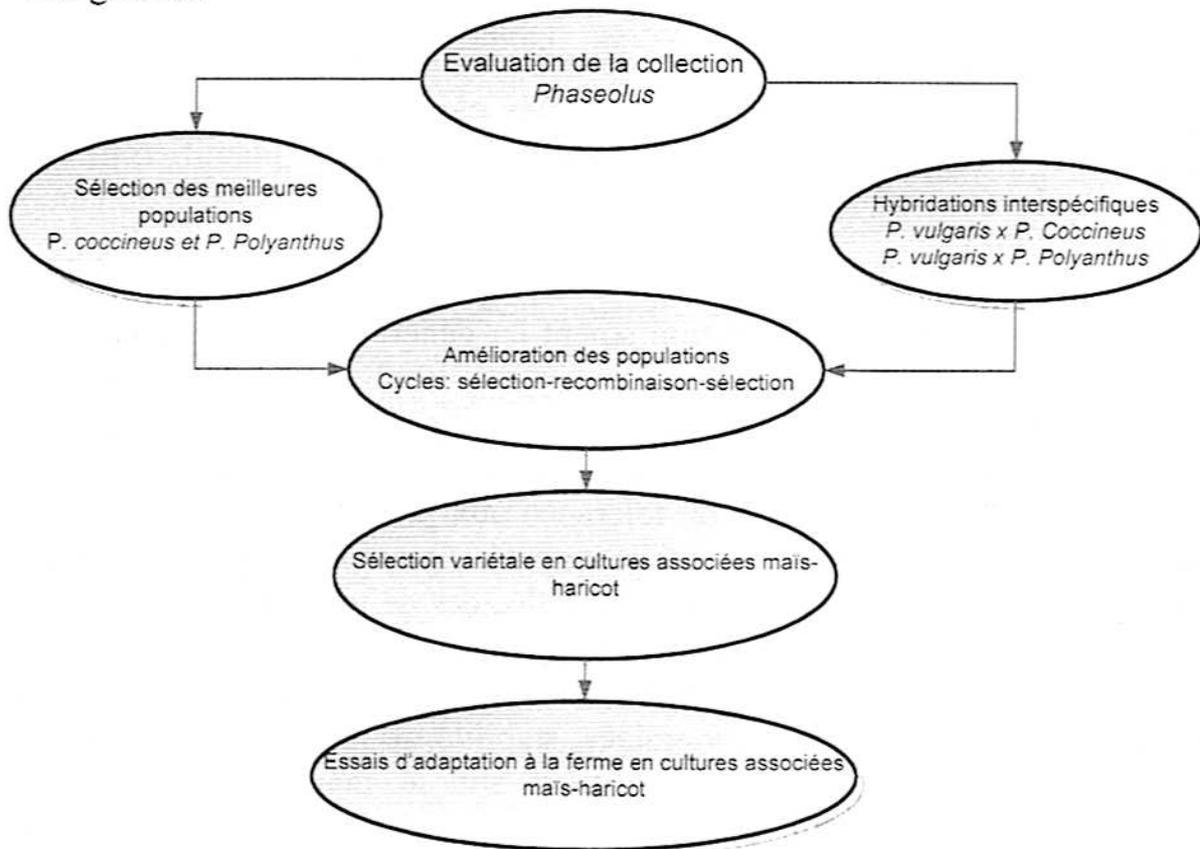


Figure 3.1. Organigramme d'un schéma d'amélioration génétique de *Phaseolus* dans les Andes de la Colombie et du Pérou (Baudoin, 2001).

Pour le haricot, qui représente la composante dominée dans l'association avec le maïs, le manioc ou sous bananeraï, une priorité sera donnée aux critères de sélection suivants : une bonne vigueur de croissance au stade plantule, une réponse positive aux densités élevées de population, la tolérance à l'ombrage, l'efficacité dans l'utilisation de l'eau et des éléments nutritifs, la capacité élevée de fixation symbiotique, etc.

Le sélectionneur devra aussi prendre en considération la construction d'un idéotype adapté à chaque situation agroécologique et le système cultural.

Cela se justifie d'autant plus que les caractères de productivité sont souvent contrôlés par des systèmes géniques indépendants et que tous les critères de sélection doivent être définis en fonction du système cultural. Le calcul du taux de surface équivalente (TSE) constitue à cet égard une bonne mesure de l'efficacité biologique du système de production.

3.3. Etude de cas

3.3.1. Milieu d'étude

Le Sud Kivu est une province de la RDC située entre 0°00'58'' latitude Nord - 4°51'21'' latitude Sud et 26°10'30'' – 29°58' longitude Est (Mastaki, 2006). Cette zone fait partie de la région communément appelée la dorsale du Kivu. Elle est caractérisée par un relief très accidenté, vallonné par endroits et résultant des mouvements tectoniques ayant donné naissance au graben (De Failly, 2000). L'altitude moyenne à l'Est est de 1700 m mais elle varie de 1600 m au niveau du lac Kivu jusqu'à plus de 2500 m dans les montagnes de Kahuzi et Biega (Crabe et Tessabe, 1979).

Le Sud Kivu se caractérise essentiellement par trois types de climat. A l'Ouest, le climat est de type Af selon la classification de Köpen, la zone de hautes altitudes de l'Est jouit d'un climat tropical modifié par l'altitude, la plaine de la Ruzizi est marquée par un climat semi – aride (Mastaki, 2006). Malgré leur complexité, les sols du Kivu pourraient être classifiés en trois grands groupes. Les sols volcaniques récents, les sols des plaines alluviales et les sols des roches anciennes (Matungulu, 1984). La végétation naturelle du Sud Kivu est dominée par des forêts de montagne. Cette partie est l'une des régions les plus peuplées de la RDC (Aliya et al., 1984). Les noyaux les plus densément peuplés dépassant parfois 150 habitants au km², avec des pics de densité au delà de 250 habitants par km².

3.3.2. Système de culture appliqué au Sud Kivu montagneux

Les systèmes de cultures au Sud Kivu montagneux sont dominés par les cultures de case dans lesquelles le bananier (*Musa* sp.) est généralement dominant. On peut y distinguer 5 strates successives du point de vue topographie. La première se situe au voisinage immédiat des habitations. Le bananier y est très dense et est associé surtout à la colocase (*Colocasia esculenta* (L.) Schott). Cette strate est régulièrement fumée à l'aide des résidus de récolte, de cuisine et de déjections animales. Quand on s'éloigne de la case, la densité du bananier diminue et le nombre des cultures qui lui sont associées augmente (colocase, haricot, maïs,...). La troisième strate est

généralement occupée par les cultures en couverture comme le manioc (*Manihot esculenta* Crantz) et la patate douce (*Ipomea batatas* Lahm). Cette strate est peu fertile et laisse le pas à la strate de pâturages. En aval, la propriété se termine généralement par une strate de marais occupée par des cultures maraîchères.

La culture du haricot englobe les haricots volubiles et les haricots nains. Etant donné que sa culture pure n'est pas économiquement rentable, d'autres systèmes de culture l'intégrant ont été adoptés par la population dans la région de l'Afrique Centrale et de l'Est (Wortmann *et al.*, 1998). Les agrosystèmes intégrant le haricot les plus rencontrés sont ceux avec le bananier, le manioc, le maïs, le sorgho, etc.

L'élevage se caractérise par son mode extensif et une faible productivité. Il a une importance socio – économique bien établie : source d'alimentation protéique, caisse d'épargne facilement mobilisable en cas de besoin. Il sert également dans les rites funéraires et diverses cérémonies. Le nombre de têtes de bétail par ménage est en continuelle baisse depuis des années suite à l'insécurité causée par les guerres. Il est, en moyenne, de 1,15 vache, 3,5 caprins, ovins ou porcins, 5,3 volailles, 9,32 lapins ou cobayes.

L'intégration de l'élevage n'est pas particulièrement importante dans le système d'exploitation car certains producteurs ont tendance à scinder les 2 activités (agriculture et élevage). Quand cette intégration existe, elle se justifie par l'augmentation de la sécurité alimentaire de la famille grâce à la diversité des activités productrices des revenus et par le transfert des minéraux et de l'énergie entre les animaux et les cultures par le biais du fumier et du fourrage.

Le schéma de fonctionnement d'une exploitation dans le milieu d'étude est présenté à la figure 3.2.

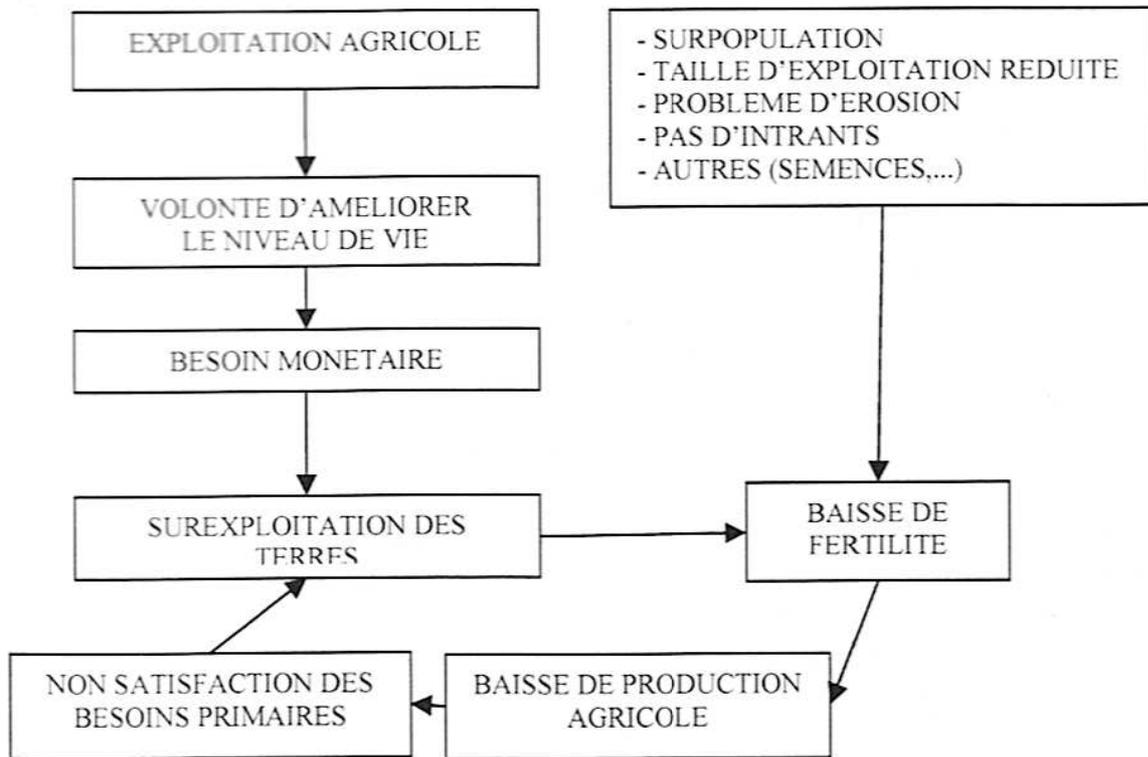


Figure 3.2. Fonctionnement d'un ménage agricole dans le milieu d'étude.

La figure 3.3 montre les niveaux d'intégration d'agriculture et d'élevage dans la zone d'étude.

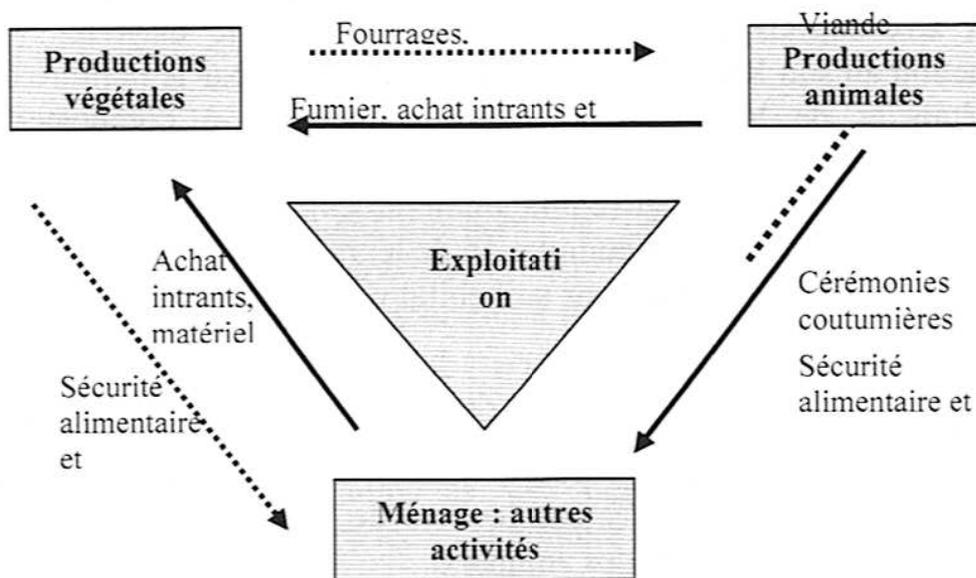


Figure 3.3. Intégration de l'agriculture et de l'élevage dans la zone d'étude.

3.3.3. Principales contraintes observées

Dans le cas des associations culturelles intégrant le haricot, les plus grands problèmes rencontrés et pour lesquels il faut trouver des solutions sont ceux

liés aux pratiques inadéquates et inappropriées, à la disponibilité en terre, le manque d'intrants et les difficultés liées à la commercialisation.

Le problème de faible densité des cultures est principalement dû au ruissellement. Ce dernier arrache les jeunes plants et occasionne une mauvaise levée de la culture causée par le transport de la semence. Ce phénomène est préjudiciable au rendement.

On remarque aussi que la répartition spatiale des cultures associées se fait uniquement sous forme de culture mixte car le semis est effectué à la volée. Ceci engendre des difficultés d'entretien des cultures dans le milieu.

Afin de réduire les risques liés aux contraintes biotiques et abiotiques, les agriculteurs préfèrent cultiver le haricot surtout en tant que mélange variétal et dans une moindre mesure en tant que variétés pures. En effet, chacun des cultivars réagit de façon différente, par un degré de résistance différent (Leponce, 1987 cité par Godderis, 1995).

Au Sud Kivu, l'érosion des sols est principalement due à une mise en culture des terrains marginaux. Leur extension aux dépens de la forêt et des pâturages s'explique par une pression anthropique accrue sur la terre et la rareté ou l'inexistence des jachères. Cette situation est amplifiée par une démographie galopante, la nature du relief et les fortes précipitations. Quant aux engrais, ils sont en quantité très faible dans le système de production au sud Kivu. D'un côté, ceci s'explique par le nombre très faible de bétail et de la faible quantité de matériels à composter (engrais organiques) et de l'autre côté par le manque de moyens financiers pour supporter les coûts d'achat (engrais chimiques). En effet, la divagation des animaux ne permet pas l'accumulation de leurs déjections. Ceci est dû au fait que l'élevage est caractérisé par un habitat rudimentaire, une alimentation de subsistance, etc.

En plus, les résidus de récolte n'entrent pas beaucoup dans l'alimentation des animaux de la zone. Et pourtant, les résidus de récolte, les fanes de haricot, les spathes de maïs, les feuilles de bananier, etc. pourraient être utilisés dans l'alimentation des animaux.

Le système de production dans la région est souvent confronté à l'absence ou au non accès au marché. Les travaux menés par Mastaki (2004) au Sud Kivu montrent que les prix au producteur ont baissé du fait de la libéralisation des marchés imparfaits. Ils constituent, en moyenne, moins de 30 % des prix au consommateur sur les marchés vivriers de Bukavu. La multitude des agents intermédiaires entre le producteur et le consommateur

exerce une double pression sur les prix et nuit à la fois au producteur et au consommateur.

3.3.4. Proposition d'un modèle d'exploitation applicable au Sud Kivu Montagneux

Organisation spatio-temporelle de l'exploitation

Comme solutions aux problèmes évoqués plus haut, il importe de développer des exploitations agricoles comprenant 8 personnes sur 89 ares, avec 4 personnes valides et actives (actifs agricoles), moyennes de la région.

De cette superficie il faudra retrancher environ 10 % destiné aux constructions. La superficie exploitée par le ménage est alors de 80 ares et comprendra les systèmes de productions animales et végétales.

Toutes les propositions partent des données d'un ménage agricole moyen qui affecte près de la moitié de sa superficie au manioc et au bananier (22 ares à la culture du manioc, 16 ares au bananier), 20 ares au haricot, 10 ares au maïs/sorgho, 4 ares à la patate douce/pomme de terre et 8 ares aux autres cultures et à la jachère, quand elle existe. De cette dernière superficie (8 ares) on va soustraire 5 ares qui seront affectés à la culture des haies de *Leucaena* et de *Tripsacum* pour lutter contre l'érosion et produire du fourrage pour l'élevage.

Dans le système de productions végétales, il convient de produire le haricot en cultures associées avec le maïs, le manioc et sous bananeraie. Ces cultures serviront pour l'alimentation humaine. Leurs résidus ainsi que les biomasses des haies de *Leucaena* et de *Tripsacum* serviront pour l'alimentation des chèvres et contribueront à l'amélioration de la fertilité des sols (fixation de l'azote atmosphérique pour les légumineuses), à la lutte contre l'érosion et la stabilisation des sols.

Le système de productions animales sera constitué d'une étable pour l'élevage de 3 chèvres reproductrices. Ce nombre (3 chèvres) est la moyenne dans la zone d'étude. Cet élevage générera du fumier à composter avec les résidus de récolte afin d'avoir un compost de bonne qualité pour l'amélioration de la fertilité du sol. La litière sera constituée par les résidus de récolte et les refus de fourrage ainsi que de *Carex* qui sera récolté dans les marais.

La figure 3.4 présente l'aménagement d'une parcelle par l'installation des haies antiérosives ainsi que la disposition des composantes du système en association.

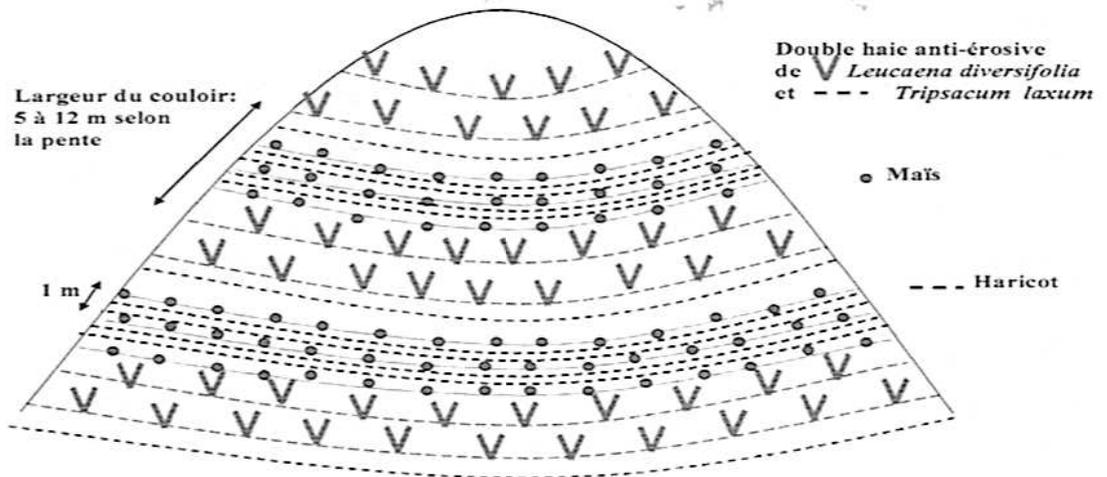


Figure 3.4. Arrangement spatial du système proposé.

L'inconvénient de ce système de cultures en couloir, est qu'il fait perdre $\pm 20\%$ de terrain (Ndindabahizi et Gwabije, 1991). Cependant, l'accroissement du rendement pourra compenser cette perte, car les haies vives apporteront indirectement une augmentation du revenus, du fait de l'amélioration de la productivité qu'elles induisent et en fournissant des sous-produits ayant une valeur économique (tuteurs, bois, fourrages, etc.).

Pour voir les effets du dispositif, le rendement des haies sera évalué par la détermination de la biomasse enfouie, compostée ou donnée comme fourrage aux animaux. Quant à l'amélioration des propriétés physico-chimiques du sol, elle sera évaluée par les analyses des bilans de carbone, de l'azote, du potassium, phosphore, bases échangeables et du pH.

Le tableau 3.1 donne une synthèse du calendrier agricole et des itinéraires techniques en vigueur au Sud Kivu montagneux. Bien que la rotation permette de maintenir la bonne productivité des sols et d'éviter la prolifération de certaines maladies transmises par les débris des récoltes et les spores, elle n'existe pratiquement pas dans le milieu d'étude, sauf chez ceux qui ont dépassé le niveau de subsistance et cela à très petite échelle.

Tableau 3.1. Calendrier des activités dans la gestion du système proposé.

| Mois de l'année | 9 | 10 | 11 | 12 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|-------------------------------------|------------------------------------------------------------|----|----|----|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Semis haricot et cultures associées | X | | | | | X | X | | | | | |
| Semis haricot bas fonds | | | | | | | | | | X | | |
| Récolte haricot | X | | | | | X | | | | X | | X |
| Sarclage bas fonds | | | | | | | | | | | X | X |
| Sarclage cultures associées | | X | X | X | | | | X | X | | | |
| Récolte haricot et maïs | | | | | X | X | | | | X | X | |
| Récolte de manioc | | | | | | X | | | | X | X | X |
| Récolte de bananier | Durant toute l'année selon les besoins et la disponibilité | | | | | | | | | | | |
| Pépinière des agroforestières | | | | | | | | | | X | | |
| Mise au champ des agroforestières | X | | | | | | | | | | | |
| Production de la biomasse | | X | | X | | X | | X | | X | | |

x : activité réalisée durant le mois

Pratiques culturales proposées

En vue d'améliorer le rendement du haricot en association avec le maïs (manioc ou sous bananeraie), il importe de réduire la compétition interspécifique existante par le choix d'une répartition géométrique, du nombre d'espèces associées et d'une densité de semis pouvant permettre au haricot, espèce dominée, de pouvoir maximiser son potentiel productif. Cela permet d'obtenir des meilleurs rendements et durables, à différents niveaux de ressources (Palaniappan, 1988).

La répartition rectangulaire des semis est appliquée en vue d'améliorer la disponibilité en éléments nutritifs à toutes les composantes du système et d'assurer un éclaircissement suffisant de la culture dominée. En effet, l'ombrage réduit la disponibilité de l'énergie rayonnante pour la canopée de la culture dominée et donc la croissance et le rendement. Dans de tels systèmes, le haricot volubile présente un avantage par rapport au haricot nain car il permet d'obtenir des rendements trois fois supérieurs pour une même superficie exploitée, ce qui génère un surplus commercialisable (Sperling et Munyaneza, 1995 ; Scorbie, 1998).

Une technique, sous exploitée, qui pourrait réduire davantage la consommation de tuteurs, dans le cas de haricot de type volubile, est l'utilisation des cordes. On installe une perche qui repose sur des bâtons ou des supports verticaux entre 2 lignes de haricot à environ 2 m du sol. On tend ensuite des liens partant de ce bâton jusqu'à la base des plantes de haricot. Les liens tendus verticalement remplacent les tuteurs classiques (Sperling et Munyaneza, 1995 ; Scorbie, 1998 ; Buruchara *et al.*, 1999).

Le choix des variétés à mettre en association sera fait sur base de critères agronomiques (période de maturité appropriée, morphologie de la plante, réponse à la densité des semis, vigueur de croissance des jeunes plantes, résistance aux maladies et ravageurs) et des considérations socio – économiques (temps de cuisson, couleur et dimension de la graine, ...).

La production des semences de bonne qualité se fera par des exploitants groupés en association communautaire de développement pour avoir accès facilement aux intrants.

Pour ce qui est de la date de semis, le choix de celle – ci influence les rendements des cultures en association. Un semis simultané des cultures limite les effets de concurrence car il permet au haricot de se développer avant que le maïs ou le manioc qui lui est associé ne le couvre. Pour pouvoir appliquer la matière organique, on pourra décaler les semis. Mais ce décalage sera le plus court possible, on pourra aller jusqu'à un décalage de 7 jours. L'enfouissement de la fumure par localisation en ligne ou encore mieux, en poquet, est le mode le plus indiqué par rapport à celui qui couvre tout le champ. Ceci, afin de faire bénéficier les cultures associées du maximum de la fumure appliquée.

Sur un sol pauvre et dans les conditions de nutrition marginales, on plantera à faible densité contrairement à un sol riche où la densité sera élevée car le développement de la plante y sera maximal. Malgré le surcroît du travail que cela entraîne, le semis sera réalisé en ligne, perpendiculaire à la pente. Ceci permet de réaliser des entretiens manuels rapides et de réduire le ruissellement et donc l'érosion. Le semis en lignes permet de contrôler la densité de population et par conséquent l'exploitation irrégulière du sol et la concurrence excessive entre les plantes. En outre, on ne doit pas perdre de vue que le semis précoce et l'association de cultures à ports différents ont pour effets de couvrir plus rapidement le sol et de le protéger contre l'érosion. Dans le cas d'association d'une légumineuse précoce avec un maïs tardif, ce dernier profitera de l'azote fixé dans le sol par cette légumineuse pour bien exprimer ses caractères végétatifs. Pour semer (planter), 2 cordes seront utilisés sur lesquelles des nœuds sont faits. Ils correspondent aux distances entre les plantes des cultures associées.

Modalité de gestion de la fertilité et de la stabilité du sol

Parmi les solutions proposées pour l'amélioration de la fertilité et la lutte contre l'érosion des sols, figure l'intégration des espèces agro-forestières dans un système de cultures en couloirs accompagné d'un paquet de technologie de gestion et d'utilisation. L'objectif est d'obtenir la création des terrasses relativement planes qui vont pouvoir être cultivées sans risque érosif et la production d'engrais vert et de la fumure organique.

Le choix pour l'installation des haies est orienté vers une essence de légumineuse bien connue dans le milieu (*Leucaena diversifolia* (Schldl.) Benth.) ainsi que d'un type d'arbre (*Grevillea robusta* A.Cunn. ex R.Br.) pour la délimitation des champs. Les critères de ce choix sont entre autre la production importante de biomasse, la connaissance initiale dans le milieu, la fixation d'azote, le fait que la plante ligneuse n'accueille ni ravageurs ni maladies des cultures et qu'il donne des sous produits utiles (bois de chauffe, tuteurs pour haricot, fourrage).

Les semences agroforestières de *Leucaena* seront semées dans des plates bandes (pépinière) après avoir subi une scarification à l'eau chaude (90° Celsius pendant 12 à 24 heures). Un entretien régulier, arrosage et désherbage seront effectués et le repiquage dans des pots à base d'écorces de bananier ou de sachets en polyéthylène, selon le pouvoir d'achat de l'exploitant, précéderont la transplantation qui se réalisera au mois de septembre, à la reprise des pluies.

L'écartement est calculé en fonction de la pente du champ. Les couloirs auront 5 à 12 m de largeur. Les plants de *Leucaena* seront plantés en doubles lignes, perpendiculairement à la pente, selon les courbes de niveau et en quinconce pour éviter l'érosion avec une possibilité d'intégrer devant la haie, à 20 cm, une ligne de *Tripsacum laxum*. La distance entre deux lignes de *Leucaena* sera de 1 m (comme largeur de haie) et l'écartement dans la ligne sera de 50 cm. Cette stratégie permet de réduire l'usage des fossés dont la mise en place et l'entretien exigent des moyens dépassant parfois les capacités de l'exploitant. Elle permet aussi de pouvoir produire une plus grande biomasse.

Si c'est dans un terrain nouvellement défriché, les agriculteurs pourront d'abord piqueter le terrain et laisser la végétation naturelle aux endroits prévus pour les haies du dispositif antiérosif. Des arbres de *Grevillea* seront plantés autour des champs pour constituer des haies brise vent et des limites pour éviter toute source de conflit avec le voisin, phénomène courant dans le milieu.

Les espèces autochtones (*Ficus*, *Vernonia*, *Markhamia*, *Erythrina*, *Dracaena*, etc.) seront intégrer dans le système suite à leur usage multiple et pour des raisons socio-économiques. Le bon choix de ces essences a un effet positif sur les cultures par l'ombre qu'elles peuvent procurer, la réduction de l'évapotranspiration ainsi que la production de la litière. Cependant le nombre de celles – ci ne doit pas handicaper la pratique de l'agriculture et doit éviter l'effet excessif de l'ombrage compte tenu de l'exiguïté de terres. Leur plantation sera faite le long des routes, sentiers et autour des habitations.

En instaurant ce dispositif (les haies), les exploitants profitent des avantages des cultures multiples, dans ce cas l'agroforesterie. Ils auront aussi aménagé leurs terrains contre l'érosion, constitué un approvisionnement en bois de chauffe et en fourrage pour les animaux que nous proposons de garder en stabulation. Ceci permet d'assurer la durabilité des exploitations.

Les matières organiques, résidus de plantes et fumier animal décomposés par l'action des bactéries produisent le compost. Son installation proche des lieux d'utilisation et/ou de l'habitat est un facteur important à prendre en compte dans sa mise en œuvre.

Ce dispositif permet de satisfaire les besoins de l'exploitation en fourrage ainsi qu'en production de fumier car les expériences menées à Kisangani, RDC (Kamabu et Lejoly, 1994, cité par Cizungu, 2006) ont montré qu'en deux mois, *Leucaena sp.* produit 1,6 tonnes de matière sèche/ha et immobilise 97 kg d'éléments biogènes/ha, l'azote étant l'élément le plus stocké et représentant 47 %. Ces haies de *Leucaena* et de *Tripsacum* apporteront 30 à 60 kg d'azote par hectare et par an (Rivière, 1991).

Intégration de la production animale dans le système.

Estimation des besoins de l'élevage.

Les estimations sont faites sur base des besoins de 3 chèvres reproductrices de 30 kg chacune et de 3 chevreaux de 15 kg qui seront vendus chaque année. On vendra 2,5 chèvres de 25 kg chaque année en tenant compte d'une perte (vol, mortalité,...) de $\pm 20\%$ soit 0,5 chèvre.

Sachant qu'un petit ruminant consomme 2,5 % de son poids vif de matière sèche (MS) par jour (Rivière, 1991) ; pour une année, l'élevage aura besoin de : $(3 \times 30 \times 0,025 \times 365) + (3 \times 15 \times 0,025 \times 365) = 821 + 411 = 1232$ kg de MS par an pour l'élevage (4,5 chèvres de 30 kg). Soit $(30 \times 0,025 \times 365) = 273,75$ kg de MS par an et par chèvre de 30 kg.

Estimation de la quantité des fourrages et résidus des cultures.

Les estimations de production fourragère et des résidus des cultures sont faites sur base d'une exploitation moyenne de 80 ares qui répartit son terrain tel que détaillé au point 2. L'exploitation produira :

- pour *Leucaena*, une production de 25 tonnes/ha avec 34 % de MS (Rivière, 1991). Soit $(25000 \text{ kg/ha} \times 0,05 \text{ ha}) \times 34\%$ (taux de MS) = 425 kg de MS pour une exploitation de 80 ares dont 5 ares sont destinés aux haies vives ;
- pour *Tripsacum*, le rendement annuel est de 22 tonnes/ha avec un taux en matière sèche de 19 % (Rivière, 1991). La production de l'exploitation sera de 1100 kg de biomasse, soit 209 kg de MS/an ;

- pour les résidus des récoltes¹, on aura une production annuelle de : 800 kg de bananes sur 16 ares (5000 kg/ha/an), avec un taux de conversion de résidus de 1,6 : on aura 1280 kg de résidus ;
- 1320 kg de résidus de manioc pour une production de manioc frais de 4400 kg qui donnera 1760 kg de cossettes (ou farine) de manioc. Le rendement par ha/an étant estimé à 20 tonnes avec un pourcentage de farine de 40 % et un coefficient de conversion de résidus de 1,2 ;
- 520 kg de fanes de haricot pour un taux de conversion de 1,3 et une production annuelle (2 saisons) de 400 kg de haricot (1000 kg/ha/saison). Les exploitants possédant un terrain de bas fonds pourraient avoir un surplus de 260 kg de résidus (200 kg de graines) suite à la possibilité d'une 3^e saison de culture (juin – août) ;
- 540 kg de résidus de maïs en considérant un taux de conversion de 1,8 et une production de 300 kg de maïs grains à raison d'un rendement de 1500 kg/ha/saison avec 2 saisons par année ;
- Pour les 800 kg de patate douce (ou pomme de terre) produits, l'exploitant aura 240 kg de résidus. Le rendement par hectare étant estimé à 10 tonnes/ha et un taux de conversion de 0,3 ;
- 30 kg de légumes frais sur 3 ares par an. Cette spéculation n'intervient pas dans le calcul des résidus produits par l'exploitant.
- L'exploitation produira 3900 kg de résidus. En considérant un taux en matière sèche moyen de 25 % pour tous les résidus produits, on aura 975 kg de MS de résidus.
- La production totale de biomasse et de résidus des cultures dans le système est de 1609 kg. Soient 425 kg de MS de *Leucaena*, 209 kg de MS de *Tripsacum* et 975 kg de MS de résidus. En comparant ce chiffre avec celui des besoins de l'élevage (1232 kg de MS), on trouve que l'exploitation sera à même de satisfaire ses besoins. Il n'achètera comme supplément que de 2 blocs à lécher par chèvre de 30 kg et par mois pour 0,5\$ le bloc, soit 54 \$ l'année (0,5 \$/bloc x 2 blocs/chèvre/mois x 12 mois x 4,5 chèvres). La complémentation minérale des fourrages par le bloc à lécher se justifie par l'amélioration de l'ingestion et de la ration totale, en d'autres termes de la digestibilité et des performances de l'animal. Le surplus de biomasse des haies vives et des résidus des récoltes (378 kg de MS) donne une marge de manœuvre dans l'alimentation du bétail et pourra servir de litière et/ou d'intrants dans le compostage.

Estimation de la production de fumier.

En considérant que chez les petits ruminants, le taux de digestibilité moyen de la matière sèche est de 60 % compte tenu du type de l'alimentation

¹ Tous ces chiffres sur la production reflètent la réalité dans le milieu d'étude.

donnée, la quantité de déjections produites par an sera égale à $(1 - 0,6) \times 273,75$ (besoin annuel de la chèvre) = 110 kg de MS de déjections par an (Rivière, 1991). En cas de stabulation permanente, situation souhaitable pour la région d'étude, cette quantité pourra passer du simple au double grâce à l'addition régulière de la litière, soit 220 kg MS de fumier par an.

Pour une exploitation agricole disposant de 3 chèvres et 3 chevreaux, la production du fumier est : $220 \text{ kg/chèvre} \times 4,5 \text{ chèvres} = 990 \text{ kg de MS de fumier par an}$; soit 1643 kg de fumier frais si on considère que la teneur en MS du fumier est de 60%. En y apportant des résidus de récolte, en relation de 1 :1, l'exploitation produira $1643 \text{ kg} \times 2 = 3286 \text{ kg de compost}$.

Les résidus des cultures seront préalablement hachés à la machette avant le compostage pour accélérer leur rythme de décomposition. Cette situation augmente la surface d'attaque des microbes et homogénéise la masse pour une décomposition uniforme (Van Merhaeghe, 1995). Pour éviter que le soleil n'assèche le tas ainsi constitué et que les fortes pluies ne le refroidissent et emportent les éléments minéraux, des abris seront construits pour le protéger des intempéries. Selon Dupriez et De Leener (1987), le tas de compost sera de $4,8 \text{ m}^3$, $2\text{m} \times 2\text{m} \times 1,2\text{m}$ de dimensions.

Avec une production de compost de 3286 kg, la dose d'épandage est de 4108 kg/ha si on fertilise tout le terrain (80 ares). Par contre, si on se fixe une dose d'épandage de 5000 kg/ha, le compost produit fertilisera un peu plus de 80 % de l'exploitation soit 65,7 ares. Il appartiendra à l'exploitant de fixer ses priorités selon ses propres besoins. La 2^e alternative est la meilleure car elle permet à l'exploitant de fertiliser par ordre de préférence et de rentabilité des composantes du système. Elle permet aussi de tenir compte des coûts en mains d'œuvre que cela pourra occasionner (transport, épandage,...). Le tableau 3.2. (Rivière, 1991) donne la teneur en N, P et K du fumier de chèvres. De cette teneur on va déduire la quantité d'éléments N, P et K produits dans l'exploitation à travers la production de la fumure organique.

Tableau 3.2. Teneur en éléments nutritifs (N, P et K) des déjections et quantités de N, P et K produites (Rivière, 1991).

| | N | P₂O₅ | K₂O |
|----------------------------------------------|----------|-----------------------------------|-----------------------|
| Composition (en % de matière fraîche) | 3 | 1,2 | 1,3 |
| Quantité produite (en kg) | 49 | 20 | 21 |

De ce tableau, il ressort que l'exploitant produit 49 kg de N, 20 kg de P (P₂O₅) et 21 kg de K (K₂O). Cette situation correspond à l'achat de $\approx 120 \text{ kg}$ d'engrais NPK 17 – 17 – 17 et de 62 kg d'urée.

On estime que le système apportera un gain additionnel de 58 % par rapport à la production actuelle, soit la production multipliée par 1,7.

Evaluation des performances du modèle proposé

L'évaluation des performances du système tient compte de l'ensemble des cultures et de l'élevage. Pour quantifier les flux dans le système, nous partons du produit brut (PB) qui correspond à la valeur de la production. On quantifie, par la suite, toutes les consommations intermédiaires, qui sont l'ensemble des biens et services intégralement consommés au cours du cycle de production.

Sous – système productions végétales.

L'investissement moyen en matériel de production dans la zone d'étude est estimé à 2 houes ; une machette ; une serpette et une hache. Tous ces matériels sont amortis sur 2 ans et devront servir dans tout le système (productions végétales et animales).

Les estimations des temps des travaux à l'hectare et par saison sont ramenées à 80 ares, superficie de l'exploitation type du milieu. Les temps des travaux sont estimés à 515 Hj/ha/saison = 1030 Hj/ha/an, ce qui revient à 824 Hj/an pour l'exploitation. Ils sont repartis de la manière suivante :

La préparation du sol : 150 Hj, le semis : 50 Hj, les travaux d'entretien (sarclages, fertilisation, binage,...) : 225 Hj, la récolte (battage, égrenage, épluchage, vannage, ...) : 75 Hj, le transport et conservation : 15 Hj.

Il ressort que l'exploitation type du milieu disposant de 4 actifs agricoles fait facilement face à ces besoins. En effet, elle dispose de $4Hj \times 365j = 1460 Hj$ de disponibilité annuelle. Le surplus (636 Hj) servira à faire face pendant la période des travaux de pointe, prévision en cas de maladie et d'indisponibilité, les jours fériés et les dimanches, etc.

Les productions brutes végétales au sein de l'exploitation pendant une année est estimée à :

- Bananier : 800 kg des bananes sur 16 ares.
- Manioc : 1760 kg de cossettes (farine) de manioc pour 22 ares. Le pourcentage de farine étant estimé à 40%.
- Haricot : 400 kg sur 20 ares et sur l'ensemble de 2 saisons. Les exploitants possédant un terrain de bas fonds pourraient avoir un surplus (200 kg de haricot)
- Maïs : 300 kg de maïs sur 10 ares.
- Patate douce/pomme de terre : 800 kg de production annuelle sur 4 ares.
- Cultures maraîchères (légumes) : on estime une production annuelle de 30 kg de légumes (amarante, choux, oignons, tomates, aubergines, carottes, ...) sur une superficie de 3 ares.

- Biomasse des haies vives : production de 1250 kg de biomasse de *Leucaena* et *Tripsacum*,

Pour améliorer la productivité de l'exploitation, les semences de qualité devront être achetées auprès d'une institution spécialisée.

Pour les 10 ares de maïs, on aura besoin de 2,5 kg/saison x 2 saisons = 5kg de semence de maïs.

- 140 rejets de bananier.
- 440 m de boutures de manioc. Les boutures de 25 cm étant plantés sous une géométrie de 1x0,5 m.
- 1200 boutures (cordes) de patate douce/saison, soit 2400 boutures/an.
- 12 kg de semence de haricot par an.
- 9 kg de semences maraîchères.

Sous – système productions animales.

La productivité numérique du sous – système élevage est de : (7ans – 2 ans) x 0,95 portée/an x 2 chevreaux x (1 – 0,15) x (1 – 0,05) = 7,7 chevreaux. On considère que 7 et 2 ans sont les âges à la réforme et à la production respectivement, avec 2 jeunes par portée et 0,95 portée par an. Sur base des taux de mortalité de 0,15 et de 0,05 pour les jeunes et pour les adultes (entre le stade jeune et la vente) respectivement.

3.4. Conclusion

L'analyse de la situation montre que l'exploitation agricole en général et du haricot en particulier subissent une série de contraintes, internes et externes, liées aux pratiques inappropriées, à la disponibilité en terre, à la conduite défailante de l'élevage, à une mauvaise intégration de l'agriculture et de l'élevage, à la gestion de l'érosion et de la fertilité des sols ainsi qu'au circuit de commercialisation.

Pour résoudre ces problèmes de manière durable, plusieurs solutions peuvent être envisagées. Parmi celles-ci, une amélioration de l'arrangement spatial et la période de semis dans ce système permettraient de résoudre les problèmes de disponibilité de terres et de l'insécurité alimentaire qui se posent avec acuité dans le milieu.

L'intégration, dans le système d'association des cultures à base du haricot, des haies antiérosives de *Leucaena* et de *Tripsacum* sur les courbes de niveau et la plantation des arbres *Grevillea* autour des champs seront un moyen efficace de freiner l'érosion, la perte et la gestion de la fertilité des

sols. Ce système procure de nombreux avantages écologiques et économiques (Chambers, 1993).

Comme perspectives des recherches, l'amélioration des systèmes des cultures associées intégrant le haricot peut passer par plusieurs voies d'identification dont une démarche possible est l'introduction des cultivars améliorés de *Phaseolus*. Des essais devront être envisagés, en station et en milieu réel, pour l'ensemble des différentes propositions des solutions évoquées ci-dessus.

Remerciements.

L'un des auteurs (CMR) remercie Evangelischer Entwicklungsdienst (EED – Allemagne) pour l'appui financier à la présente étude.

Références bibliographiques.

- Aliya c., Kambaza T., Badesire M.** (1984). Les dimensions socio-économiques de l'érosion dans la région de Bukavu. In : I.S.P/Bukavu et Cabinet du gouverneur de région du Kivu (Eds), *Erosion à Bukavu : aspects géomorphologiques, agronomiques et sociologiques*. Bukavu, 187-214.
- Altieri M.A.** (1987). *Agroecology : The Scientific Basis of Alternative Agriculture*. Westview press : London, 224p.
- Anonyme.** (1982). Cultures associées en milieu tropical. Eléments d'observation et d'analyse. GRET : Paris, 58p.
- Baldy Ch., Stigter C.J.** (1993). *Agrométéorologie des cultures multiples en régions chaudes*. INRA : Paris, 246p.
- Baldy Ch.** (1986). *Agrométéorologie et développement des régions arides et semi-arides*. INRA : Paris, 115p.
- Baudoin J.P.** (2001). Contribution des ressources phytogénétiques à la sélection variétale de légumineuses alimentaires tropicales. *Biotechnology, Agronomy, Society and Environment*, **5** : Suppl 4, 221–230.
- Baudoin J.P., Camarena F., Lobo M.** (1997). Improving *Phaseolus* genotypes for multiple cropping systems. *Euphytica*, **96**, 115-123.
- Baudoin J.P., Camarena F., Lobo M.** (1995). Amélioration de quatre espèces de légumineuses alimentaires tropicales : *Phaseolus vulgaris*, *P. coccineus*, *P. polyanthus* et *P. lunatus*. Sélection intra- et interspécifique. <http://www.bibliotheque.refer.org/livre29/l2905.pdf> (consulté le 15 juin 2008).
- Baudoin J.P.** (1991). La culture et l'amélioration de la légumineuse alimentaire *Phaseolus lunatus* L. en zones tropicales. CTA – FSAGx : Ede, 209p.
- Beets W.C.** (1982). *Multiple cropping and tropical farming systems*. Boulder - westview : Colorado, 346p.

- Bouwe N.G., Walangululu M.J., Kidanemariam H.M.** (2000). Performance de quatre cultivars de pomme de terre (*Solanum tuberosum*) en cultures associées avec le maïs et le haricot. *African Association Conference Proceedings*, **5**, 187-190.
- Buruchara R.A., Pastor-Corrales M., Scheidegger U.** (1999). Fusarium wilt disease caused by *Fusarium oxysporum* F. sp. *Phaseoli* on a common bean cultivar, G2333, in Rwanda and the Democratic Republic of Congo. *Plant disease*, **83**, 397.
- Chambers R.** (1993). Challenging the professions : frontiers of the rural development. Intermediate Technology Publications : London, 143p.
- Chowdhury M.K., Rosario E.L.** (1994). Comparison of nitrogen, phosphorus and potassium utilization efficiency in maize/mungbean intercropping. *Journal of Agricultural Science*, **122**, 193-199.
- Cizungu Nt. L.** (2006). Diagnostic et amélioration des principaux systèmes de production agricole du territoire de kabare au Bushi, province du sud Kivu en République Démocratique du Congo (Mémoire). Faculté universitaire des sciences agronomiques de Gembloux : Gembloux, 49p.
- Crabe M., T'essabe T.** (1979). Paramètres moyens et extrêmes principaux du climat des stations du réseau INERA (2^{ième} édition). Département de la coopération technique belge : Bruxelles, 305p.
- De Faily D.** (2000). L'économie du sud Kivu de 1998-2000 : mutations profondes cachées par une panne. <http://www.ua.ac.be/objs/00111067.pdf> (consulté le 12 février 2008).
- Dupriez H., De Leener P.** (1986). Jardins et vergers d'Afrique. L'Harmattan : Paris, 1987, 354p.
- Elmore R.W., Jackobs J.A.** (1986). Yield and nitrogen yield of sorghum intercropped with nodulating and non-nodulating soybeans. *Agronomy Journal*, **78**, 780-782.
- Francis C.A., Prager M., Tejada G.** (1982). Density interactions in tropical intercropping. I. Maize (*Zea mays*) and climbing beans (*Phaseolus vulgaris*). II. Maize (*Zea mays*) and bush beans (*Phaseolus vulgaris*). *Field Crops Research*, **5**, 163-176 ; 253-264.
- Francis C.A.** (1986). Multiple cropping systems. Macmillan : New york, 383p.
- Godderis W.** (1995). Ibiharage. La culture du haricot au Burundi. AGCD : Bruxelles, 163p.
- Hocde H., Lancon J., Trouche G.** (2001). Créer les bases d'une sélection participative : le cas Brunca au Costa Rica. [http://wwwwww.cirad.fr/colloque/selpart/partie8\(hh\).pdf](http://wwwwww.cirad.fr/colloque/selpart/partie8(hh).pdf) (consulté le 26 avril 2008).
- ICRISAT.** (1983). Rapport annuel 1982. Hyderabad.
- Kotschi J.** (1991). Pratiques d'agriculture écologique pour petites exploitations tropicales. CTA : Wageningen, 257p.
- Marynem T.** (1963). Contribution à l'étude de la densité des populations chez les végétaux. INEAC/IBERSON : Bruxelles.

- Mastaki N.** (2006). Le rôle des goulots d'étranglement de la commercialisation dans l'adoption des innovations agricoles chez les producteurs vivriers du sud Kivu (Est de la RDCongo) (PhD Thesis). Faculté universitaire des sciences agronomiques de Gembloux : Gembloux, 241p.
- Matungulu M.** (1984). Les sols du Kivu. Inédit, 24p.
- Mettrick H.** (1994). Recherche agricole orientée vers le développement. ICRA : Paris, 288p.
- Midmore D.J.** (1993). Agronomic modifications of resource use and intercrop productivity. *Field Crops Research*, **34**, 357-380.
- Muhigwa B., Makuta M., Kulimushi J.L., Nsanda E.** (2007). Projet climatique. http://www.climatic-suisse.ch/IMG/pdf/Rep_Rousseau_UOB_Muhigwa_1631.pdf (consulté le 17 mars 2008).
- Ndindabahizi I., Gwabije R.** (1991). Evaluation des systèmes d'exploitation agricole pour une régionalisation des techniques de conservation et d'amélioration de fertilité des sols au Rwanda. <http://www.grandslacs.net/doc/2515.pdf>
- Norman D.W.** (1974). Rationalising mixed cropping under indigenous conditions : the example of Northern Nigeria. *Journal of Development Studies*, **11**, 3-21.
- Okigbo B.N. Greenland D.J.** (1976). Intercropping in tropical Africa. In : Papedick R.I., Sanchez P.A., Triplett G.B. (Eds.), Multiple cropping. ASA Spec. publ. n°27 : Washington, 63-101.
- Palaniappan S.P.** (1988). Cropping systems in the tropics : Principles and management. Wiley Eastern Ltd : London, 212p.
- Portanda C.F.R.** (2000). Contribution à la mise au point d'un itinéraire technique pour les nouvelles variétés de haricot issues d'hybridations interspécifiques entre *Phaseolus vulgaris* L. et *P. coccineus* L. : Détermination de la densité de semis optimale dans trois systèmes de culture (Mémoire). Faculté universitaire des sciences agronomiques de Gembloux : Gembloux, 51p.
- Rajat D., Singh S.P.** (1981). Management Practices for intercropping systems. In : Willey R.W. (Ed), Proceedings of the international workshop on intercropping. Hyderabad 10-13 January 1979. ICRISAT : Hyderabad, 17-21.
- Riviere R.** (1991). Manuel d'alimentation des ruminants domestiques en milieu tropical. La documentation française : Paris, 529p.
- Rodrigo V.H.L., Stirling C.M., Teklehaimanot Z., Nugawela A.** (2001). Intercropping with banana to improve fractional interception and radiation-use efficiency of immature rubber plantations. *Field Crops Research*, **69**, 237-249.
- Roose E.** (1992). Contraintes et espoirs de développement d'une agriculture durable en montagne tropicale. *Bulletin Réseau Erosion*, **12**, 57-70.
- Sanginga N., Ibewiro B., Houngnandan P., Vanlauwe B., Okogun J.A., Akobundu I.O., Versteeg M.** (1996). Evaluation of symbiotic properties

and nitrogen contribution of mucuna to maize grown in the derived savanna of West Africa. *Plant and Soil*, **179**, 119–129.

Scorbie G.M. (1998). Benefits of bean research as tool for combating poverty and environmental destruction. Communication, CIAT, Colombia. http://www.ciat.cgiar.org/newsroom/release_06.htm#top (consulté le 3 février 2008).

Song Y.N., Zhan F.S., Marschner P., Fan F.L., Gao H.M., Bao X.G., Sun J.H., Li L. (2007). Effect of intercropping on crop yield and chemical and microbiological properties in rhizosphere of wheat (*Triticum aestivum L.*), maize (*Zea mays L.*) and faba bean (*Vicia faba L.*). *Biology and Fertility Soils*, **43**, 565-574.

Sperling L., Munyaneza S. (1995). Intensifying production among smallholder farmers : the impact of improved climbing beans in Rwanda. *African Crop Science Journal*, **3**, 117-125.

Tamado T., Fininsa C., Worku W. (2007). Agronomic performance and productivity of common bean (*Phaseolus vulgaris L.*) varieties in double intercropping with *Zea mays* in easter ethiopian. *Asian Journal of Plant Sciences*, **6**, 749-756.

Van Merhaeghe J. (1995). Aspects économiques, législatifs et environnementaux du compostage et de la valorisation des fientes de volailles : Application au cas concret d'un élevage de poules pondeuses (Mémoire). Faculté universitaire des sciences agronomiques de Gembloux : Gembloux, 98p.

West T.D., Griffith D.R. (1992). Effect of strip intercropping corn and soybean on yield and profit. *Journal Production Agriculture*, **5**, 107-110.

Williams A.C., McCarthy B.C. (2001). A new index on interspecific competition for replacement and additive. *Ecology Research*, **16**, 29-40.

Willey R.W. (1979). Intercropping – Its importance and research needs. Part 1. Competition and yield advantages. *Field Crop Abstract*, **32**, 1-10.

Wortmann C.S., Kirkby R.A., Eledu C.A., Allen D.J. (1998). Atlas of common Bean (*Phaseolus vulgaris L.*). Production in Africa.

CIAT : Cali, 133p.