

MEMOIRE DE STAGE DE S8 DOMINANTE GIAP

DE BORDEAUX SCIENCES AGRO

MODES DE CULTURE DES LEGUMINEUSES ET IMPACTS SUR LA GESTION DE LA FERTILITE DU SOL EN ZONE SEMI-ARIDE AU SENEGAL



ODDOS, LÉNA

OPTION : AGROGER

ETUDE RÉALISÉE À : INSTITUT DE RECHERCHE POUR LE DÉVELOPPEMENT (IRD, EX-ORSTOM)

Préface et remerciements

Mon stage s'inscrit dans le programme Agrobiosphere du projet CERAO de l'Agence Nationale de la Recherche (ANR). L'objectif global du projet est le suivant : « améliorer la production de céréales en zone semi-aride sub-saharienne des régions de l'Afrique de l'Ouest, en identifiant les règles générales sociales et écologiques permettant une viabilité et une durabilité des agro-socio-écosystèmes malgré de grandes contraintes climatiques et démographiques. »

Ce vaste projet est réalisé par le travail complémentaire de nombreuses équipes. Le sujet de cette étude s'inscrit au sein de l'équipe du Laboratoire Mixte International IESOL/ECO&SOL (Intensification Ecologique des Sols cultivés en Afrique de l'ouest) de Dominique Masse qui étudie plus précisément les règles générales d'adaptation à l'intensification écologique.

Mon stage est alors rattaché à l'Institut de Recherche pour le Développement (IRD), organisme pour lequel travaille mon maître de stage Dominique Masse, que je remercie pour m'avoir permis de réaliser ce stage que je considère comme avoir été une expérience très enrichissante sur de divers aspects. L'IRD est un établissement public français scientifique et technologique placé sous la double tutelle des ministères chargés de la Recherche et de la Coopération. Depuis plus de 60 ans, l'IRD (ex ORSTOM) mène des programmes scientifiques visant les relations entre l'homme et son environnement dans les pays du Sud (Afrique, Asie, pourtour méditerranéen et Outre-mer tropical français), et ce, dans l'objectif de contribuer à leur développement économique, social et culturel. L'institut remplit également des missions d'expertise, de formation et de diffusion de l'information scientifique et technique en France et dans ses pays partenaires.

Je remercie également mon encadrante, Laure Tall qui a guidé mon travail durant la durée de ce stage, ainsi toute l'équipe du LEMSAT à Dakar. J'adresse mes remerciements à Fatou Faye et à sa famille qui m'ont accueillie avec tant de gentillesse et qui ont su m'éclairer sur de nombreux aspects de la vie en Pays Sereer, à tous les agriculteurs interrogés dont la coopération a été précieuse pour la réalisation de ce stage.

Résumé

L'intensification de l'agriculture dans le Pays Sereer, ou Vieux bassin arachidier, situé en zone tropicale sèche au Sénégal, est un enjeu majeur depuis plusieurs décennies. Dans un contexte où les intrants sont très faibles, il est indispensable de construire un raisonnement de la matière organique apportée en prenant en compte la place des légumineuses dans les assolements.

L'évaluation de l'impact de la culture des légumineuses sur la gestion de la fertilité du sol nécessite de décrire les modes de culture de celle-ci. Nous avons pour cela étudié trois terroirs situés dans la région de Niakhar en Pays Sereer : Diohine, Barry Sine et Sob.

La présence de bases de données préexistantes sur ces terroirs nous a permis de récupérer des données quantitatives notamment sur les quantités de matière organiques apportées et sur les quantités d'azote présentes dans les cultures et leurs résidus. Nous avons également produit des données quantitatives à l'aide d'enquêtes réalisées chez environ quinze agriculteurs dans chacun des trois villages. Nous avons pu montrer que les légumineuses annuelles en Pays Sereer, soit l'arachide et le niébé, sont cultivées pour l'autoconsommation chez tous les paysans interrogés. L'arachide n'est donc plus une culture de rente dans cette zone. De plus, 93% des champs où les légumineuses sont présentes sont en association culturale ; ces associations sont réalisées à cause d'un manque de terre et non pour les services écosystémiques qu'elles peuvent apporter. Nous avons également montré que l'apport de matière organique sur les parcelles n'est pas raisonné en fonction du type de culture qui y est présente mais en fonction du rendement apparent de la précédente culture.

Mots-clés : Légumineuses, Pratiques agricoles, Fertilité des sols, Pays Sereer

Abstract

The Sereer Land, or Old peanut area, in West African savannas in Senegal is severely touched by the major changes which occurred in the agricultural practices since the end of the sixties. This changes include both technical and work organisation evolutions and soil fertility. In a context where inputs are low, it would be interesting to build a thinking of organic matter management including the presence of legumes in crops rotations.

This study compared three village areas – Diohine, Barry Sine and Sob – located in the Sereer Land thanks to a survey which aimed to compare the agricultural practices of annual legumes: peanut and cowpea. Legumes are mostly cultivated for farmer's auto-consumption, peanut is no longer a cash crop in that area. Legumes are cultivated in association with other cultures for 93% of the total fields. The reason of these associations is the lack of space to grow several cultures and not the ecosystem benefits it can bring. Agricultural residues are exported from the fields for the feed and the manure inputs are not thought in relation to the type of culture that is grown.

Key-words: Legumes, Agricultural practices, Soil fertility, Sereer land

Sommaire

1. Introduction.....	1
1.1. Contexte.....	1
1.2. Synthèse bibliographique	5
2. Objectifs du travail	10
3. Matériel et Méthodes.....	11
4. Résultats et discussion.....	14
4.1. Importance des légumineuses.....	15
4.2. Légumineuses et cultures associées.....	22
4.3. Perceptions des légumineuses	24
4.4. Quantité d'azote potentiellement apportée par la fixation symbiotique et quantité d'azote disponible pour la culture suivante.....	24
4.5. Discussion générale.....	28
5. Conclusion et perspectives.....	31
Bibliographie	33
Annexe 1: Diverses photos de l'agriculture en pays Sereer.....	36
Annexe 2 : Graphiques réalisés sous R.....	38
Annexe 3 : Résumés numériques réalisés sous R	39
Annexe 4 : La place du niébé dans les systèmes agricoles et alimentaires : bref aperçu des acquis et perspectives.....	40
Annexe 5 : Résultats d'enquête sur l' <i>Acacia albida</i> ou <i>Faidherbia albida</i>	41

Liste des figures et tableaux

Figure 1 : Pluviométrie et déplacement des isohyètes au Sénégal. Source : IRD

Figure 2 : Situation de la zone d'étude : villages de Diohine, Barry Sine et Sob. Source : IRD

Figure 3 : Chronologie des saisons, dates des premiers semis et récoltes et organisation du travail.

Source : Auteur

Figure 4 : Modes de culture des légumineuses et leur part dans les systèmes de culture des différents terroirs de Diohine, Barry Sine et Sob en 2014. Source : Auteur

Figure 5 : Représentation graphique de l'organisation spatiale des semis pour les associations entre le mil et niébé précoce ou tardif. Source : Auteur

Figure 6 : Qualité de la perception des agriculteurs de Diohine, Barry Sine et Sob quant à l'association mil-niébé précoce en 2015. Source : Auteur

Figure 7 : Graphique des interactions entre les facteurs 'culture' et 'village' pour la variable 'quantité d'azote atmosphérique fixée', réalisé sous R. Source : Auteur

Figure 8 : Graphique des interactions entre les facteurs 'culture' et 'village' pour la variable 'quantité d'azote présente dans les résidus', réalisé sous R. Source : Auteur

Tableau 1 : Nombre de champs alloués aux légumineuses selon les différents terroirs et modes de culture et leur part dans les systèmes de culture à Diohine (D), Barry Sine (B) et Sob (S) en 2014.

Source : Auteur

Tableau 2 : Localisation des apports de matière organique représentée en nombre de champs de case (CdC) et de champs de brousse (CdB) en fonction des différents terroirs en 2014. Source : Auteur

Tableau 3 : Répartition des cultures en fonction de la distance au foyer et des différents terroirs en 2014. Source : Auteur

Tableau 4 : Importance des associations culturales dans la culture de légumineuse en fonction des différents terroirs en 2014. Source : Auteur

Tableau 5 : Teneur de l'arachide et du niébé en azote originaire de la fixation symbiotique sur les terroirs de Barry Sine et Diohine en 2012. Source : Auteur

Tableau 6 : Teneur en azote des fanes de niébé et d'arachide sur les terroirs de Diohine et Barry Sine en 2012. Source : Auteur

1. Introduction

Le sujet de ce stage porte sur la place des légumineuses dans les systèmes de culture en Pays Sereer au Sénégal et sur l'impact de ces modes de culture sur la gestion de la fertilité des sols. Nous nous intéresserons particulièrement aux rotations réalisées prenant en compte des légumineuses ainsi qu'aux associations culturales, et plus précisément aux associations céréales-légumineuses.

1.1. Contexte

1.1.1. Climatologie

Le Sénégal fait la transition entre les régions sahéliennes sèches et les régions tropicales humides, avec des précipitations annuelles moyennes variant de 100mm au nord à 1200mm au sud. Pourtant, tout le pays connaît l'alternance de deux saisons : la saison sèche de novembre à mars, avril ou mai selon les régions et la saison des pluies ou « hivernage » d'avril-juin à octobre. A la saison sèche, les températures oscillent entre 18 et 26°C sur le littoral et vont jusqu'à 35°C à l'est du pays ; durant l'hivernage les températures sont de 25 à 30°C sur le littoral et jusqu'à 40°C à l'intérieur du pays (Depesse et al., 2015).



Figure 1 : Pluviométrie et déplacement des isohyètes au Sénégal. Source : IRD

Le secteur agricole compte pour environ 18% de la production de richesse du pays, mais il emploie 77,5% de la population active. Avec à peine plus de 5% de surfaces irriguées, l'agriculture sénégalaise reste lourdement dépendante du climat. La pluie apparaît comme le facteur le plus déterminant de la production agricole. Depuis la moitié du vingtième siècle, il y a fréquemment eu un raccourcissement de l'hivernage et une accentuation des irrégularités pluviométriques, mais aussi un effondrement des moyennes pluviométriques. A l'échelle du Sénégal, on a une translation de plus de 100km des isohyètes vers le sud. Cette évolution rapproche la zone d'étude de l'isohyète des 400mm, au nord duquel l'agriculture pluviale devient aléatoire. (Lericollais, 1999). La sécheresse a profondément marqué les systèmes de production de la zone sahélo-soudanienne depuis la fin des années soixante ; la question de l'amélioration et de la gestion de la fertilité du sol est capitale dans un tel milieu, vues les densités de la population et la permanence de l'exploitation agricole.

1.1.2. Contexte politique et économique

Tournée depuis l'époque coloniale vers les cultures industrielles d'arachide, de coton (respectivement 40 et 30% des superficies, mais le mil reste la culture majoritaire en terme de surface), l'agriculture sénégalaise demeure aussi dangereusement tributaire des aléas des cours mondiaux -sans oublier les catastrophes naturelles comme les invasions de criquets de 2004. Si l'on ajoute à ces cultures commerciales les productions maraîchères et fruitières destinées à l'exportation, la productivité des cultures vivrières diminue régulièrement depuis 2005. Le pays doit ainsi se résoudre à importer massivement des produits agricoles, en tout premier lieu du riz, élément de base de l'alimentation des sénégalais : 80% de la consommation provient de l'étranger alors qu'il serait possible d'étendre la riziculture par la mise en valeur de nouvelles surfaces irriguées, notamment dans la vallée du Sénégal. On voit en effet que la culture de riz représente une très faible surface de la production agricole par rapport à la place qu'elle représente dans la consommation alimentaire du pays (Figure 1).

C'est à ce défi d'autosuffisance alimentaire qu'entend répondre le programme engagé par le gouvernement : le Programme d'Accélération de la Cadence de l'Agriculture Sénégalaise (PRACAS) qui est le volet agricole du Plan Sénégal Emergent (PSE). Le PRACAS unique référentiel de la politique économique et sociale du gouvernement du Sénégal. Mis en place par le gouvernement sénégalais depuis septembre 2013, il vise à construire une agriculture compétitive, inclusive et durable, capable à la fois de nourrir au mieux et durablement les populations sénégalaises, de tirer profit des avantages du commerce international, d'augmenter les revenus des ruraux et de créer des emplois agricoles et non agricoles. Le programme met l'accent sur les investissements agricoles dans des produits

stratégiques pour le Sénégal que sont le riz, l'arachide, l'oignon et les fruits et légumes de contre saison. Avant cela, la Grande Offensive Agricole pour la Nourriture et l'Abondance (GOANA), lancée en 2008, s'était donné pour objectif l'extension du domaine agricole (donc le recul de l'exode rural) et la diversification des cultures par la distribution de parcelles aux groupements paysans mais aussi aux investisseurs privés. Cependant, la mise en œuvre de ce programme, particulièrement visible sur les rives du lac de Guiers, n'a pas donné les résultats escomptés au niveau national. Lors du sommet du G8 en 2012, le Sénégal a adhéré avec les autres pays africains à la Nouvelle Alliance pour la Sécurité Alimentaire et la Nutrition (Nasan). Ayant pour objectif de réduire la pauvreté de plus de 7% d'ici à 2016, le Sénégal souhaite ainsi amener les investisseurs privés à soutenir l'agriculture et la nutrition. (Despesse et al., 2014)

1.1.3. Pédologie

C'est dans le Pays Sereer ou Vieux Bassin Arachidier que se situera cette étude, dans la région de Fatick (Figure 1), en zone tropicale sèche soumise au climat soudano-sahélien.

Les sols sont classés selon leurs différences de textures, à laquelle correspond une inégale teneur en argile, et des possibilités agricoles qui en découlent. Les sols majoritairement présents dans la zone étudiée sont :

- Les sols « *dior* » : ce sont des sols ferrugineux tropicaux plus ou moins lessivés selon la pluviosité et la situation topographique. Tous les sols *dior* ont en commun une texture très sablonneuse qui les rend légers, meubles, perméables ; mais leur structure instable leur vaut une grande fragilité et limite étroitement leur capacité de rétention de l'eau. Ces sols n'ont jamais de réserves importantes en matière organique car elle y subit une très rapide minéralisation. La carence essentielle pour l'activité agricole concerne également le phosphore (Pelissier, 2008). Le pH de ce sol se situe en 5,4 et 6,1 (Khouma, 2015).
- Les sols « *dek* », qui sont des sols à texture plus fine (sables fins et limons) et à teneur en argile plus élevée, ce qui en fait des sols plus compacts. Leur réserve utile est ainsi un peu plus importante, et ils sont mieux pourvus en élément minéraux et en matière organique de par leur complexe absorbant plus élevé. Ils sont par contre plus difficiles à travailler, plus sensibles à la battance, voire à la prise en masse de l'ensemble du sol, ce qui diminue l'infiltration et accroît le ruissellement. (Boulier et Jouve, 1990)
- Les sols « *mbel* » et « *tann* » se situent dans les zones déprimées, ils sont donc souvent sujets à l'engorgement et peuvent donc entraîner des situations d'hydromorphie, mais sont plus riches en éléments fins et en éléments minéraux. Les sols *tann* sont des sols salés, donc non cultivés mais les sols *mbel* peuvent l'être s'ils se trouvent dans des zones intermédiaires qui ne sont pas totalement submergées.

Il existe, mis à part ces trois grands types de sols, plusieurs sous-types intermédiaires, notamment entre les *dek* et les *dior*. (Lericollais, 1999)

1.1.4. Organisation sociétale

La population rurale Sereer est la plus dense et la plus enracinée du Sénégal. Cette caractéristique renvoie aux structures socio-politiques, à un système agro-pastoral relativement intensif et une économie domestique qui assure en priorité l'autoconsommation vivrière. La concession (*mbind*) désigne l'unité d'habitat familial qui est commanditée par un aîné de la famille, les villages se présentant alors comme des regroupements de concessions. Le *ngak*, ou cuisine, de taille très variable quant au nombre de personnes et aux liens de parenté qui les unissent, constitue l'unité de production la plus fonctionnelle. Le bilan de l'attribution des terres est dressé au niveau de la cuisine mais elle ne bénéficie pas d'une autonomie totale par rapport au chef de concession, qu'il s'agisse des tâches culturelles ou de l'accès au foncier. La cuisine est appelée unité d'exploitation par les agroéconomistes. C'est le lieu de l'organisation de la production agricole. Le *mbind* est l'unité d'habitation, clairement localisée dans l'espace par sa palissade en tiges de mil, il regroupe plusieurs cuisines la plupart du temps (Becker et Mbodj, 1999).

Au cours des dernières décennies, les pratiques paysannes ont sensiblement changé. Les déficits pluviométriques créent une plus grande insécurité en début d'hivernage et réduisent la durée de la saison pluvieuse, obligeant à une réduction du cycle agricole. Cela entraîne deux conséquences visibles : les cultures de mil à cycle long ont disparu depuis plusieurs années ; le haricot niébé (*Vigna unguiculata* (L.)) n'est plus semé en culture dérobée dans les champs de case (proches des habitations) cultivés en petit mil mais plutôt en culture associée dans certains champs d'arachide (Lericollais, 1999). L'accroissement continu de la population paysanne se traduit par une réduction des superficies laissées en jachère ; très rares sont les grandes jachères encloses, ainsi que les grands champs d'un seul tenant portant une culture unique. Sur les champs de brousse, le terroir est fractionné en une mosaïque de petits champs cultivés en mil hâtif et en arachide avec, en cultures associées, ou cantonnées sur des petites surfaces, des lignes de sorgho, de niébé et d'hibiscus (*bissap*).

Les activités agricoles, spécialement les productions végétales, assurent une part prépondérante de l'alimentation et des revenus des membres de l'exploitation. Les pratiques paysannes ont évolué de même que leurs conséquences sur la productivité agricole. Les Sereer, comme de nombreux paysans sahéliens, ont dû faire face depuis trente ans à des sécheresses répétées mais aussi à de grandes transformations économiques et sociales. Trois facteurs concomitants sont intervenus de manière décisive dans les évolutions :

- La généralisation de la culture attelée dans l'ensemble du Sénégal, et plus globalement l'incidence du programme agricole et des nouvelles politiques agricoles qui favorisent la modernisation de l'agriculture ;
- La détérioration des conditions pluviométriques durant les cinquante dernières années ;
- La pression foncière liée à la croissance démographique .

Les principaux changements intervenus dans les pratiques agricoles depuis la fin des années soixante intègrent non seulement l'évolution des techniques et de l'organisation du travail, mais ils s'évaluent également en fonction de la productivité du travail et de la terre.

1.2. Synthèse bibliographique

La dégradation des terres est l'une des menaces majeures pour la production alimentaire au Sénégal. La raréfaction des pluies et la pauvreté des sols contribuent à la paupérisation des zones rurales. Ces populations sont ainsi entraînées dans un cercle vicieux où la dégradation des terres conduit à un manque de ressources pour générer des revenus et des opportunités qui permettraient d'empêcher ce processus de dégradation (Bationo et al. 2004) Il est donc urgent de mettre des moyens en œuvre pour combattre cette dégradation des terres et passer d'un cercle vicieux à un cercle vertueux.

Pour répondre à la demande alimentaire et pallier à la faible fertilité des sols sénégalais, l'utilisation d'intrants chimiques (engrais, pesticides, herbicides) reste la technologie généralement préconisée. Cette solution a fait ces preuves particulièrement pour les cultures de rentes comme l'arachide et le coton. Cependant, les petits producteurs de cultures vivrières font face à un accès limité aux intrants chimiques dû à leurs coûts financiers. La majorité de l'agriculture sénégalaise est donc dans un schéma d'agriculture minière (Stoorvogel et Smaling, 1990) qui appauvrit les sols et conduit à une diminution accrue de la productivité. Ainsi, la pratique qui consiste à brûler tous les résidus et végétaux présents dans les champs avant le semis est également une source de perte importante de carbone et d'azote. Enfin, l'exportation non compensée des récoltes (graines, pailles, racines) contribue à la baisse inéluctable de la fertilité des sols cultivés, surtout si les fanes d'arachide sont exportées vers les élevages urbains et périurbains, comme c'est souvent le cas (Khouma et al., 2005). La baisse de la fertilité du sol est donc due à de faibles réapprovisionnements. Badiane et al. (1997) montraient que les résidus de culture sont très rarement utilisés pour le sol dans cette région du Sénégal. Selon cet auteur, 60 à 100% des résidus sont utilisés pour le fourrage ou les besoins domestiques. D'autre part, dans les sols sableux tropicaux d'Afrique de l'Ouest les réserves d'azote minéral, qui représente la source majeure de nutrition pour les plantes, sont très faibles et entravent

la croissance de la plante. Le manque de fertilité des sols dans cette zone semble donc être plus limitante pour la production de fourrage et de graines que la pluviométrie.

L'agriculture avec de faibles intrants azotés (10kgN/ha) pratiquée dans les pays du Sahel entraîne une stagnation, voire une diminution de la productivité. L'azote apparaît alors comme un facteur déterminant pour augmenter la productivité des sols et la production céréalière de la zone tropicale sèche. Cet élément est impliqué dans de nombreux processus biologiques tels que :

- la minéralisation de l'azote,
- l'effet rhizosphérique ou la fixation de l'azote atmosphérique,
- des phénomènes de transfert dans les sols (lixiviation), en surface (érosion et ruissellement) et dans l'atmosphère (volatilisation et dénitrification), sur lesquels repose donc la productivité des sols sableux tropicaux.

Les légumineuses établissent des relations symbiotiques avec des microorganismes du sol de la famille *Rhizobiaceae* qui sont capables de fixer l'azote atmosphérique grâce aux nodosités des racines et ainsi d'apporter à la plante une grande partie de ses besoins en azote. Les légumineuses peuvent donc avoir un impact conséquent sur le cycle de l'azote et la productivité des sols. En effet, dans les systèmes de culture utilisant des rotations, l'azote fixé par les légumineuses peut être utilisé d'abord par les légumineuses, puis par les cultures suivantes. (Bado, 2002).

Les cultures succédant aux légumineuses peuvent bénéficier indirectement de l'azote fixé par l'entremise des résidus laissés par les légumineuses (Chalk, 1998). Ainsi, selon Danso (1995), l'azote de la fixation symbiotique aurait une contribution plus importante pour la croissance des plantes que les engrais azotés appliqués dans les pays en voie de développement, de par leur faible quantité. De nombreuses études montrent l'effet bénéfique des précédentes légumineuses sur l'augmentation du rendement des céréales subséquentes (Peoples et Crasswell, 1992 ; Stoop et Van Staveren, 1983). Kouyaté et al. (2000) ont également montré que malgré l'exportation des fanes, les précédents niébé peuvent augmenter les rendements en grains du mil et du sorgho de 18 à 27% (En revanche, si les résidus ne sont pas exportés, les augmentations de rendements peuvent atteindre 58 à 100%).

En améliorant la fertilité des sols, en produisant des grains et fourrages de qualité, la culture des légumineuses peut augmenter la productivité des cultures et augmenter le revenu brut en réduisant les charges en engrais grâce à la fixation de l'azote atmosphérique (Coulibaly et al., 2012) ; ces cultures peuvent donc avoir un rôle important sur la gestion de la fertilité du sol.

On rencontre par exemple les cultures de mil et de niébé en rotation, ce qui est intéressant car elles ont un effet bénéfique l'une sur l'autre : le précédent de mil peut limiter les populations de champignons responsables de la fonte des semis chez le niébé alors que ce dernier peut causer une germination « suicide » de *Striga hermonthica*, une plante parasite du mil et du sorgho qui ne s'attaque pas au niébé (Cissé et al., 2005).

Les associations céréales-légumineuses quant à elles visent à favoriser la fixation par la légumineuse et l'utilisation de l'azote du sol par la céréale (choix variétaux, potentiel mychorizien du sol, systèmes racinaires adaptés, adéquation entre l'offre et la demande en azote...). Ces techniques ont également pour but d'améliorer le statut organique, l'activité biologique et les propriétés physiques du sol (Khouma et al., 2005). L'association mil-niébé est une pratique ancienne au Sénégal, mais elle a fortement régressé avec la sécheresse puisque la plupart des variétés de niébé sélectionnées n'étaient pas adaptées à ces nouvelles conditions climatiques. L'avantage d'une telle association est d'abord d'éviter l'envahissement du mil par les adventices, puis d'améliorer les rendements du mil par cette élimination des adventices et par la fixation d'azote et, enfin, d'assurer une réserve en fourrage et en grains (variétés fourragères et mixtes de niébé) (Mandret, 1989).

Les associations céréales-légumineuses jouent également un rôle dans la gestion raisonnée des apports de matière organique. En effet, la fixation d'azote atmosphérique par la légumineuse peut être inhibée par le facteur « azote minéral du sol », mais cet effet peut être réduit par les cultures associées céréale-légumineuse dans lesquels la céréale joue le rôle de pompe à azote. Il est ainsi possible de réduire fortement les pertes d'azote en localisant l'engrais azoté sur la céréale et d'accroître l'offre en azote par une gestion plus efficace de la matière organique apportée. Il est de plus également possible d'accroître la fixation biologique de l'azote pour augmenter le pool d'azote mobilisable du sol, et d'augmenter ainsi sa part dans la satisfaction des besoins en azote de la céréale tout en limitant l'usage de l'engrais (Ganry et Guèye, 1991 ; Ndiaye, 1997).

Cependant, selon l'étude de Bado (2002) et selon d'autres recherches, un minimum d'engrais azoté est nécessaire dans les sols pauvres pour améliorer les rendements des légumineuses, ce qui peut s'expliquer par l'incapacité de la légumineuse à fixer l'azote au début de son cycle. La nodulation est un processus qui s'établit plus ou moins lentement et elle ne peut commencer que lorsque la plante a développé un enracinement permettant d'accueillir les rhizobiums. Pendant cette période, la légumineuse a un besoin en azote qui, s'il n'est pas comblé par le sol ou les engrais, peut limiter son développement et diminuer les rendements. En influençant le rendement, les éléments nutritifs influencent aussi probablement les capacités des légumineuses à fixer l'azote atmosphérique.

Lorsqu'elles sont associées à des espèces non fixatrices d'azote comme les céréales, les légumineuses mettent en jeu un processus de complémentarité de niche pour l'azote du milieu. En effet, plusieurs études ont démontré une augmentation de productivité avec les cultures mixtes comparativement aux monocultures (Diangar et al. 2004, Pelzer et al. 2012, Fadl 2013). Les légumineuses prélèvent moins d'azote dans le sol par rapport aux plantes non-fixatrices. On peut imaginer que dans le système d'association ou de rotation céréale-légumineuse dans lequel les deux plantes s'alimentent dans le même sol, la légumineuse « économiserait » de l'azote, ce qui peut favoriser la céréale suivante. Cet effet « économie d'azote » peut contribuer à expliquer l'effet bénéfique global de la légumineuse sur la céréale subséquente même dans les systèmes de culture dans lesquels les résidus sont exportés comme au Sénégal (Bado, 2002). Des phénomènes d'augmentation de la disponibilité du phosphore dans la rhizosphère ont aussi été démontrés dans les cultures en association avec une légumineuse comparativement aux cultures pures. La légumineuse, en fixant l'azote atmosphérique, doit acidifier sa rhizosphère et augmenter ainsi la taille du pool de phosphore disponible (en mobilisant une part de phosphore initialement non disponible).

L'utilisation des légumineuses dans les systèmes de cultures, que ce soit en cultures associées ou en rotation avec des céréales, semble apporter un avantage non négligeable concernant la productivité des cultures céréalières. D'autre part, dans un contexte où les intrants sont très faibles, il serait intéressant de construire un raisonnement de la gestion de la matière organique apportée en prenant en compte la présence de légumineuses dans les assolements.

De nombreuses questions se posent pour la mise en place des rotations ou associations :

- Jusqu'où doit-on aller dans une association pour permettre aux espèces de coexister et d'augmenter la production de biomasse ?
- Quelle est la densité de plantation nécessaire dans une association pour chaque espèce pour limiter la compétition pour les ressources et/ou améliorer la régulation des ravageurs ?
- Comment les espèces doivent-elles être organisées spatialement et temporellement ?
- Quelles sont les pratiques agricoles qui doivent être utilisées pour favoriser les services écosystémiques ?
- Les modèles étudiés sont-ils réellement faisables (en terme de disponibilité des machines, d'organisation du travail, de durabilité économique) ?

Il est nécessaire, pour tenter de répondre à ces questions, d'évaluer les systèmes actuellement en place afin de prendre en compte. Les effets agronomiques des légumineuses dans les systèmes de culture sont certes directement liés à leurs spécificités physiologiques, qui varient selon les espèces concernées et les conditions du milieu. Cependant, ils sont également étroitement dépendants de leur

mode de gestion, qui permet une expression plus ou moins forte de ces effets agronomiques, et leur valorisation dans la gestion des systèmes, que ce soit pendant la culture elle-même (éléments de l'itinéraire technique de culture (ITK)) ou dans les éléments du système dans son ensemble (choix des parcelles, du matériel, gestion des cultures précédentes et suivantes, gestion des résidus après récolte et de l'interculture, etc.).

2. Objectifs du travail

Le projet de recherche du LMI IESOL/ECO&SOL est de mieux connaître le fonctionnement écologique de l'écosystème sol et de contribuer au développement de nouvelles pratiques agricoles, en mettant au point des indicateurs pertinents pour évaluer les propriétés des sols dans un cadre de changements d'usage des terres et de changements climatiques. Le LMI développe cette expertise face aux défis rencontrés en Afrique de l'Ouest.

L'intensification écologique des systèmes de culture a pour objectif de répondre aux besoins d'innovations en termes de pratiques agricoles pour une meilleure gestion de la fertilité des sols et adaptation face aux changements d'usage des terres ou aux changements climatiques. Les recherches s'inspirent des connaissances du fonctionnement des sols en milieu naturel mais prennent en compte également une analyse des pratiques agricoles traditionnelles, sources de compréhension du fonctionnement des systèmes actuels tout en conditionnant la mise en place d'innovations.

Différents leviers pertinents sont testés pour gérer les flux de matière et de nutriments. Ces leviers sont en lien avec la gestion des intrants organiques et minéraux, avec le recours à des peuplements complexes (cultures associées, mélange de génotypes ou plantations mixtes), au choix du matériel végétal et des microorganismes rhizosphériques associés (intensification des fonctions de fixation d'azote atmosphérique ou des symbioses mycorhiziennes).

Mon travail dans cette étude a été de **rendre compte de la place des légumineuses dans les systèmes de cultures en réalisant une étude comparée de trois terroirs - Diohine, Barry Sine et Sob - situés dans le Pays Sereer au Sénégal**. L'objectif est de mettre en relation les modes de cultures des légumineuses et les mécanismes connus dans le but d'étudier l'impact de ces modes de cultures sur la gestion de la fertilité du sol. L'intérêt se portera en grande partie sur le rôle de la fixation azotée dans l'élaboration d'un apport plus raisonné des engrais azotés, dans le contexte de baisse de fertilité des sols qui a été décrit.

Les questions posées sont les suivantes : Quel est l'état des modes de culture des légumineuses dans cette zone ? Comment s'intègrent-ils dans les systèmes de culture qui sont aujourd'hui en place ? Ces modes de culture impactent-ils la gestion de la fertilité du sol ? Quelles sont les perspectives et les limites de l'utilisation des légumineuses dans la gestion de la fertilité du sol ?

3. Matériel et Méthodes

L'étude s'intéresse aux modalités de gestion de la fertilité du sol via l'utilisation des légumineuses dans les systèmes de culture.

La mise en place d'un guide d'entretien a eu pour objectif de décrire les pratiques agricoles. Celles-ci représentent un choix de l'agriculteur, prenant en compte ses objectifs et sa situation, mais elles peuvent aussi être considérées comme résultant à la fois de l'histoire et de la société, et dépendantes des conditions du milieu et des moyens techniques. Les objectifs sous-jacents sont de bien comprendre ces choix et surtout ce qui les détermine.

L'enquête sera menée sur trois villages différents du Pays Sereer dans la région de Fatick : Diohine, Barry Sine et Sob (Figure 2), dans le but de comparer les différentes pratiques agricoles et de faire le lien avec les différents terroirs. Le choix d'investigations sur trois terroirs contrastés, est justifié par la recherche de traits communs et de divergences selon ces particularités locales.

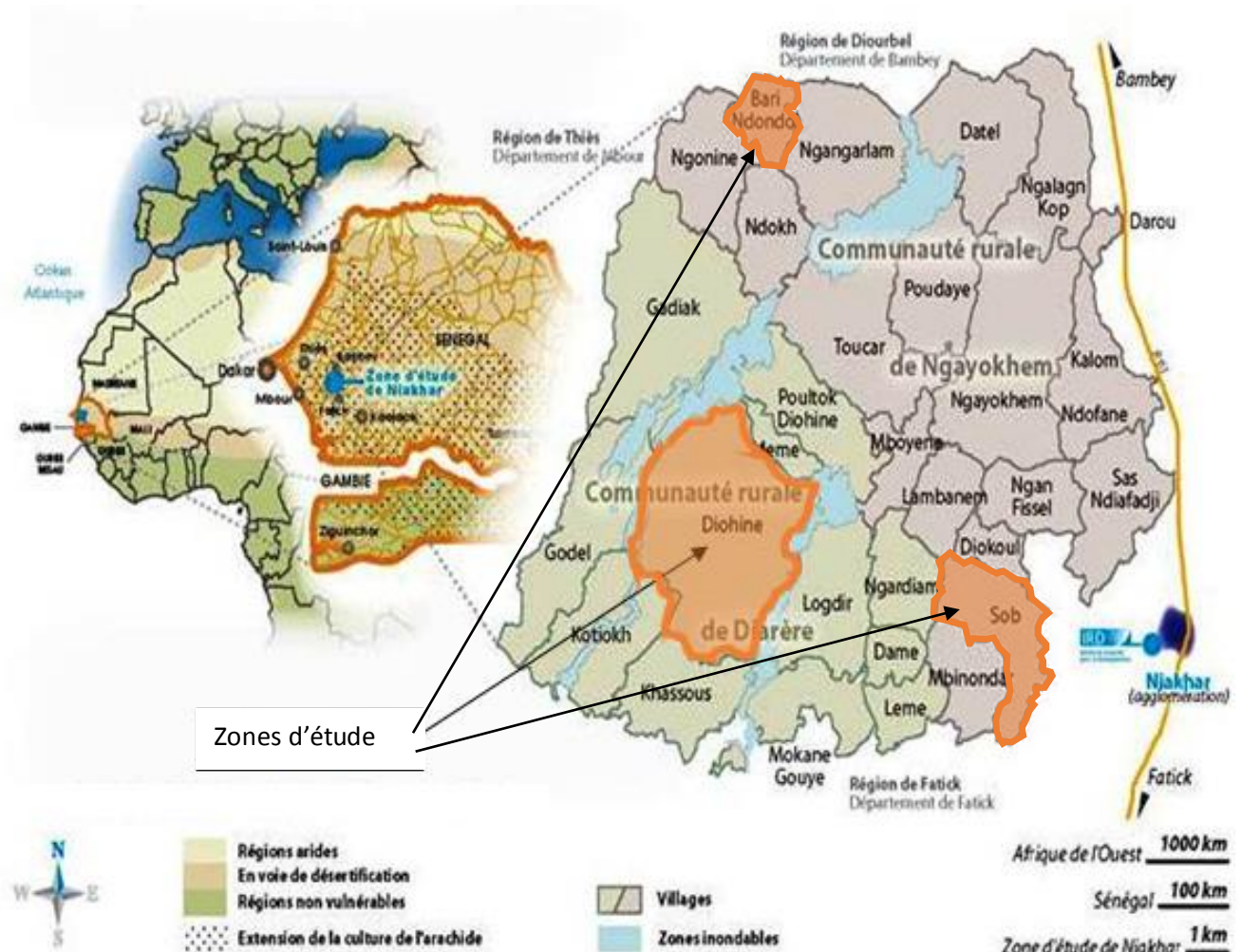


Figure 2 : Situation de la zone d'étude : villages de Diohine, Barry Sine et Sob Source : IRD

La méthode utilisée est celle d'une enquête semi directive auprès des propriétaires et utilisateurs de champs préalablement sélectionnés. Pour des raisons de limite de temps, nous ne pourrons pas réaliser une enquête auprès de l'ensemble des agriculteurs, nous avons donc choisi de limiter l'échantillonnage.

L'enquête se fera donc auprès d'une trentaine de ménages, également répartis sur les trois villages, choisis selon des critères particuliers. L'organisation temporelle de l'enquête, des saisons et des principaux travaux culturels est schématisée dans la figure 3.

De par l'appartenance des villages à l'observatoire de l'IRD, nous avons pu disposer de données précises sur la composition des foyers, ainsi que d'une étude faite en 2013 sur le flux de biomasse sur l'ensemble du terroir par Odru (2013) et Audouin (2013), respectivement sur Diohine et Barry Sine. Ces données ont été utiles pour appréhender les foyers à enquêter, l'organisation des systèmes culturels etc.

Nous avons donc sélectionné quinze agriculteurs à Diohine et Barry Sine en se basant sur les types d'assolement qu'ils avaient eu l'habitude de réaliser sur les années 2010 à 2013 et en essayant de privilégier d'abord ceux qui seraient susceptibles de cultiver des légumineuses en 2015 et ensuite ceux qui avaient l'habitude de réaliser des associations de cultures.

Pour sélectionner les agriculteurs de Sob, nous nous sommes basés sur le travail de Dugy et Saunier-Zoltobroda en cours de réalisation en 2015, et qui ont pu nous indiquer les agriculteurs répondant le mieux aux critères recherchés et qui selon eux seraient les plus à même de répondre au questionnaire.

Les questions porteront sur le type de cultures que l'agriculteur réalise (et plus particulièrement sur les légumineuses), ainsi que sur les dates de semis et récoltes, les apports organiques ou minéraux, les différents types d'assolements, la présence de résidus et l'impact des modes de culture sur les rendements. Le pas de temps considéré prend en compte les cultures de 2014 et de 2015. Nous nous intéresserons également aux *Faidherbia albida* (L.) présents sur les parcelles et à leur utilisation dans les systèmes de cultures.

Le guide d'entretien a eu pour objectif principal la production de données qualitatives à dire d'acteurs. Le seul paramètre quantitatif qui peut nous intéresser est la surface allouée aux légumineuses, mais c'est un paramètre qui sera difficile à évaluer concernant des cultures principalement menées en association avec une ou plusieurs autres cultures.

Des questions plus ouvertes ont aussi été posées afin de donner des informations sur les déterminants de ces pratiques.

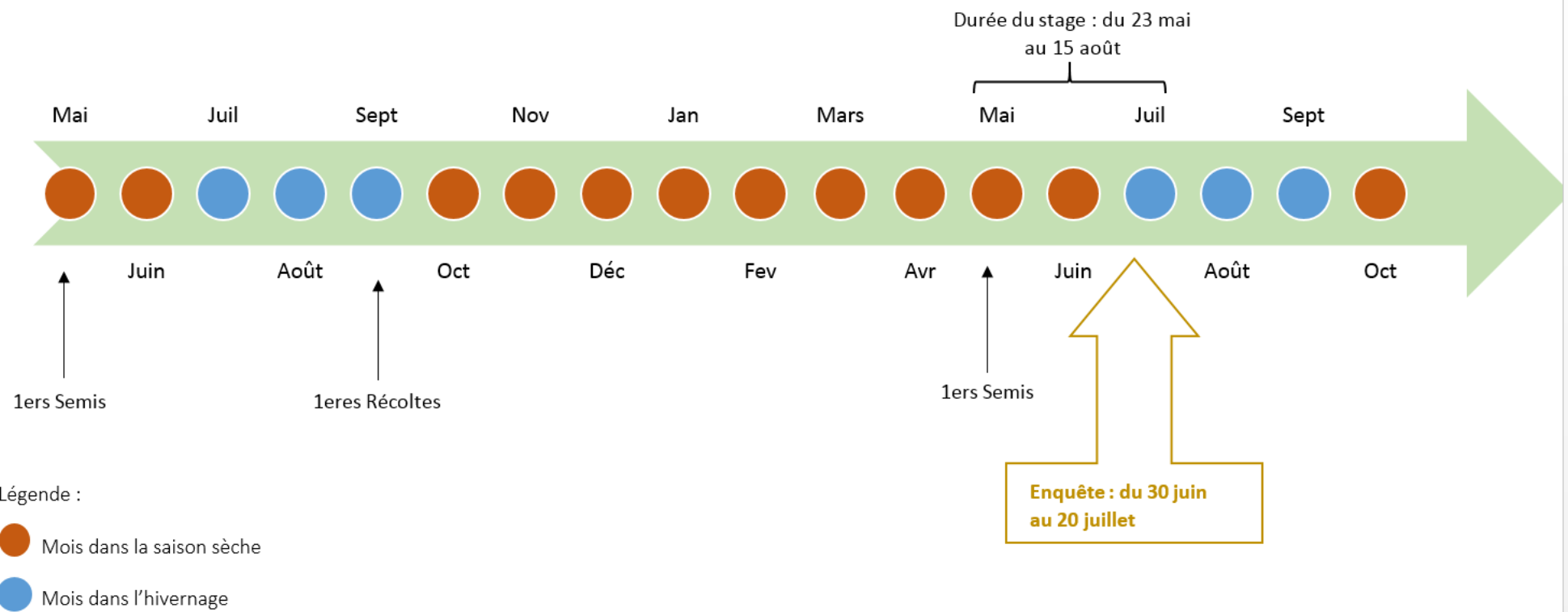


Figure 3 : chronologie des saisons, dates des premiers semis et récoltes et organisation du travail
 Source : Auteur

4. Résultats et discussion

Les graphiques et les tableaux sur lesquels sera basée l'analyse présentée ont été réalisés à partir des données récoltées concernant l'année culturale de 2014.

Le paysage est une campagne aménagée, un espace totalement exploité. On distingue dans l'organisation des systèmes de culture deux types de parcelles, déterminés en fonction de leur distance au foyer : celles qui sont situées sur les champs de case (CdC) qui sont proches des habitations et celles sur les champs de brousse (CdB) qui en sont plus éloignés.

Les mils évoqués dans cette étude font partie de l'espèce *Pennisetum glaucum* (L.) ; deux variétés sont cultivées : le petit mil, ou mil à cycle court, de la variété Souna ; il est appelé *pod* en Sereer.

L'autre variété est une variété plus ancienne à cycle long, le mil Sanio, appelé *matye* en Sereer. Il avait disparu des systèmes de culture depuis les épisodes de sécheresse mais les agriculteurs recommencent à le cultiver même si sa proportion reste faible face au petit mil. Le sorgho et le maïs (qui est cultivé sur de très faibles surfaces par quelques agriculteurs, pour la consommation personnelle ou pour la vente d'épis grillés) sont considérés par les agriculteurs comme des espèces de mils.

Hypothèses :

Pour ce qui est des modes culturaux liés aux légumineuses et d'après la littérature scientifique, on s'attend à ce que l'arachide soit plutôt cultivée seule puisque que c'est historiquement une culture commerciale. Quant au niébé, il est traditionnellement cultivé en association et ne semble pas être prédominant dans les habitudes alimentaires des agriculteurs Sereer. Par conséquent, il pourrait ne pas être présent chaque année dans les systèmes de culture contrairement à l'arachide qui représenterait la majeure partie des revenus de l'agriculteur.

Les trois villages apparaîtront comme un facteur pouvant influencer l'utilisation des légumineuses dans les systèmes de cultures. Ils diffèrent en effet, non pas par leurs ethnies ou les types de sol, mais par l'organisation de leurs cultures et par les activités agricoles dominantes : Diohine aurait conservé la jachère traditionnelle collective ainsi que la rotation mil-arachide-jachère, tandis que Sob et Barry Sine présenteraient des modes de cultures plus intensifs, par l'introduction de la culture de la pastèque (qui a besoin de beaucoup de soins et d'engrais) et de l'embouche bovine avec le remplacement de la jachère par la culture d'arachide, respectivement.

On s'attend également à ce que les cultures de légumineuses aient un impact positif sur la fertilité du sol, on essaiera de s'en rendre compte à dire d'acteur en essayant de comparer les niveaux de production. Il est cependant attendu que ces cultures ne soient pas prises en compte par les agriculteurs dans leurs manières de gérer la fertilité de leurs champs.

4.1. Importance des légumineuses

Le village de Sob se détache des 2 autres villages avec seulement 50% de parcelles cultivées où l'on note la présence d'une culture de légumineuse alors que Diohine et Barry Sine ont des chiffres de 77,8 et 91,2%, respectivement (tableau 1). Ce résultat peut être expliqué par l'importance de la culture de la pastèque à Sob, qui occupait en 2014 18% des terres cultivées selon les données récoltées, et laisse donc moins de place à la mise en place de cultures de légumineuses qui présente une plus faible valeur ajoutée que la culture de pastèque. En revanche, on remarque que c'est le village de Sob qui possède le plus grand nombre de parcelles cultivées en arachide + niébé (figure 4), culture qui représente plus de 80% des parcelles cultivées avec des légumineuses à Sob. Plus généralement, les cultures d'arachide + niébé et mil + niébé sont les plus répandues dans les trois villages. A Barry Sine, elles représentent 91,4% des parcelles allouées aux légumineuses et 83,4% de l'ensemble des parcelles. Diohine semble alors être le village possédant la plus grande diversité en ce qui concerne les modes de culture des légumineuses, même si les parcelles en arachide + niébé, mil + niébé et mil + niébé tardif sont majoritaires.

Le niébé est plus souvent cultivé seul que l'arachide, 4 champs contre 1 au total, en rassemblant les parcelles cultivées en niébé tardif et en niébé précoce. Cependant, la culture associée d'arachide et de niébé ne présente qu'une très faible dose de niébé (0,5kg de semences de niébé pour 100kg de semences d'arachide), on pourrait presque parler de parcelles d'arachide en pur. Le niébé est donc présent sur un plus grand nombre de parcelles que l'arachide, mais toujours en très petite quantité par rapport à la culture avec laquelle il est associé (voir partie 4.2.).

		Nb_Parcelles_D	%_D	Nb_Parcelles_B	%_B	Nb_Parcelles_S	%_S	Nb_Parcelles_tot	%_Tot
Arachide		1	0,9	2	2,6	0	0,0	3	1,1
Niébé	précoce	0,5	0,5	1,5	1,9	2	2,0	4	1,4
	tardif	3,5	3,2	1	1,3	2,5	2,5	7	2,5
Arachide + Niébé		17,5	16,2	28,5	37,0	41	41,4	87	30,6
Mil + Niébé	précoce	22	20,4	35,75	46,4	0	0,0	57,75	20,3
	tardif	22,5	20,8	1	1,3	1	1,0	24,5	8,6
Mil + Matye + Niébé	précoce	3	2,8	0	0,0	0	0,0	3	1,1
	tardif	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Sorgho + Niébé	précoce	2	1,9	0	0,0	0	0,0	2	0,7
	tardif	3	2,8	0,5	0,6	0	0,0	3,5	1,2
Matye + Niébé	précoce	1	0,9	0	0,0	0	0,0	1	0,4
	tardif	2	1,9	0	0,0	0	0,0	2	0,7
Mil + Sorgho + Niébé	précoce	3	2,8	0	0,0	0	0,0	3	1,1
	tardif	3	2,8	0	0,0	2	2,0	5	1,8
Arachide + Sorgho		0	0,0	0	0,0	1	1,0	1	0,4
Total Parcelles avec Légumineuse		84	77,8	70,25	91,2	49,5	50,0	203,75	71,7
Total Parcelles		108		77		99		284	

Tableau 1 : Nombre de champs alloués aux légumineuses selon les différents terroirs et modes de culture et leur part dans les systèmes de culture à Diohine (D), Barry Sine (B) et Sob (S) en 2014. Les champs sont dénombrés sur la base de l'enquête réalisée. 0,5 représente la moitié d'une parcelle Source : Auteur

Graphes en camembert ??

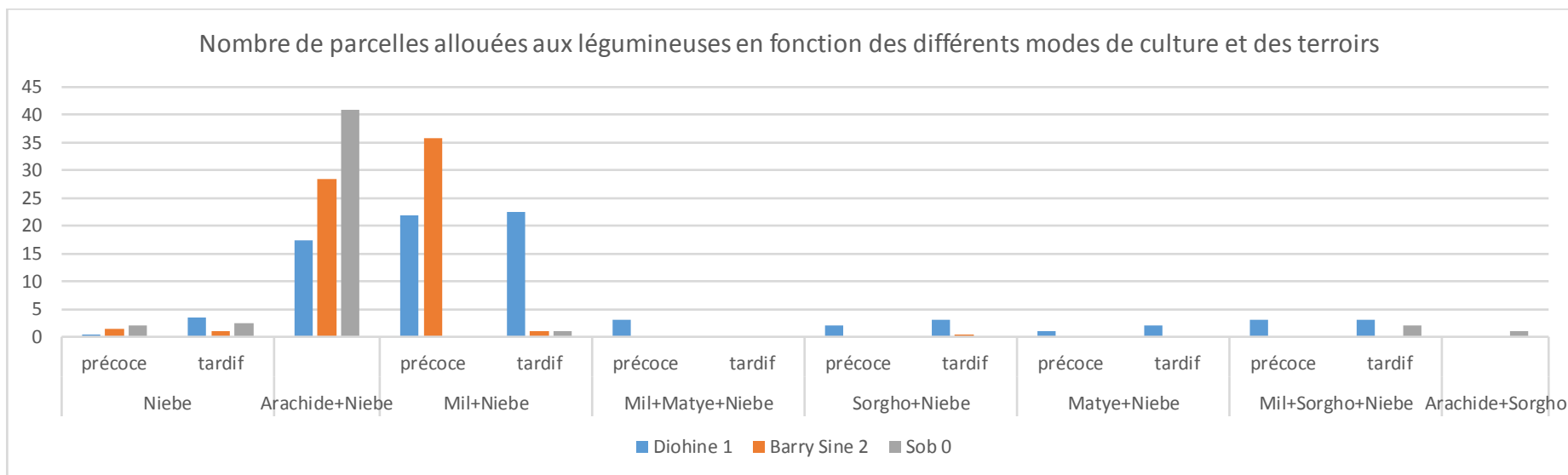


Figure 4 : Modes de culture des légumineuses et leur part dans les systèmes de culture des différents terroirs de Diohine, Barry Sine et Diohine en 2014 Source : Auteur

4.1.1. Modes de culture du niébé et de l'arachide

Selon les informations récoltées, il existe deux types de niébé : le niébé précoce et le niébé tardif. Le niébé précoce est semé aux premières pluies tandis que le niébé tardif est semé après le deuxième sarclage du mil. Le niébé tardif est une variété à vocation fourragère tandis qu'il existe différents types de variétés de niébé précoce, qui sont cultivées soit pour leur grains soit pour leur fourrage. La culture de niébé est réalisée par les femmes, elles peuvent en vendre une partie s'il y a un besoin urgent d'argent mais la plupart du temps tout est autoconsommé (fourrage pour les animaux et grains pour la cuisine ou les semences). Le niébé est un très bon apport protéique ; les agriculteurs le considèrent comme un aliment de base très important pour nourrir leurs enfants (« peut remplacer la viande »). L'arachide, elle, est semée après les premières pluies. Elle est cultivée à la fois pour les grains et le fourrage. On met les plus beaux grains de côté pour les semences de l'année suivante, le reste (une fois décortiqué) est pressé localement pour récupérer l'huile et faire des tourteaux, qui serviront soit à nourrir les animaux, soit pour la cuisine. L'arachide peut être vendue si la récolte est suffisamment grande, ce qui était rarement le cas en 2014, tout a en général été autoconsommé. L'arachide n'était donc plus vraiment une culture de rente.

4.1.2. Les assolements

Tous les agriculteurs interrogés à Diohine pratiquent la jachère. Nous avons vu apparaître une rotation privilégiée dans la grande majorité des assolements : jachère/arachide/mil ou jachère/mil/arachide. Cette rotation est effectuée sur les champs de brousse uniquement mais jamais sur plus de 2 ou 3 parcelles. Tous les agriculteurs reconnaissent que l'arachide est un très bon précédent pour la culture du mil.

Certains ne pratiquent pas cette rotation soit par manque de place (pas assez de champs pour faire de la jachère) ou bien par manque d'argent pour l'achat des semences d'arachide.

Nous avons vu également d'autres types de rotations, plus marginales – pratiquées par pas plus d'un ou deux agriculteurs à chaque fois – comme les rotations mil/jachère, mil/niébé ou mil/arachide.

Dans tous les cas, les agriculteurs reconnaissent tous que le mil pousse beaucoup mieux lorsqu'une légumineuse a été cultivée précédemment sur la parcelle.

Nous avons pu remarquer à Barry Sine et à Sob une disparition de la jachère collective traditionnelle observée à Diohine. A Barry Sine, elle est en général remplacée par de l'arachide; la rotation la plus fréquente qui est observée est alors la rotation mil/arachide. Bien que les agriculteurs reconnaissent toujours que l'arachide est un excellent précédent pour la culture de mil, nous avons pu observer un agriculteur qui faisait une rotation niébé/pastèque sur un de ses champs sans remarquer d'effet positif de la légumineuse sur la culture subséquente. Étant donné que la pastèque est une culture qui

a besoin de beaucoup de soins et d'engrais, on peut faire l'hypothèse que le précédent niébé n'a pas été effectif. En effet, si le sol a été largement fertilisé, ceci impacte la légumineuse en limitant le processus de fixation de l'azote atmosphérique.

La particularité du terroir de Sob est la présence de la culture intensive de pastèques. La rotation mil/arachide est observée chez tous les agriculteurs dans leurs champs personnels, chez certains dans les champs de brousse comme dans les champs de case. La culture de pastèque entre en rotation avec les autres cultures (mil, arachide, niébé, sorgho).

4.1.3. Apports organiques et minéraux

Nous avons voulu évaluer la logique des apports azotés (matière organique ou engrais minéraux) sur les trois terroirs étudiés. Les légumineuses étant capables d'utiliser l'azote atmosphérique, reçoivent-elles moins d'apports azotés que les champs cultivés en céréales ?

Les apports de matière organique sont toujours plus importants en champs de brousse (CdB) qu'en champs de case (CdC) en ce qui concerne le parcage (Tableau 2). Pour les apports de fumier en revanche, bien qu'ils soient toujours plus importants en CdB qu'en CdC sur le terroir de Sob, les chiffres sont presque les mêmes pour les deux types de champs à Diohine et à Barry Sine.

Il faut savoir que les champs de case bénéficient toujours des apports des déchets de cours ou de cuisine, ainsi que des déjections humaines, ce qui les rend plus fertiles que les champs de brousse. Le fumier se compose ensuite des déjections animales, des résidus pailleux, du refus alimentaire des animaux ainsi que des déchets de cours, le tout mélangé.

La localisation de l'apport du fumier n'est pas raisonnée en fonction du type de culture qui sera présente sur le champ pendant l'année et l'hivernage à venir, mais en fonction des productions obtenues lors de la dernière récolte. Les agriculteurs choisiront les champs qu'ils qualifieront de moins fertiles, c'est-à-dire ceux qui ont eu les plus mauvais rendements, pour épandre leur fumier. Les apports sont donc en général réalisés sur les champs de brousse mais il arrive que certains agriculteurs ne puissent pas épandre de fumier sur les parcelles les plus éloignées car ils ne possèdent pas de charrette ; seulement les champs de case sont alors fertilisés. L'agriculteur choisit soit un champ non fertile, soit les parcelles peu fertiles sur différents champs, mais il est rare qu'au total un exploitant puisse fertiliser plus d'une parcelle par an avec le fumier.

	Diohine		Barry Sine		Sob		Total	
	CdC	CdB	CdC	CdB	CdC	CdB	CdC	CdB
Fumier	7,5	9,5	6,75	5,25	2	15,35	16,25	30,1
Parcage	0,5	5,5	0	2	2	7,5	2,5	15

Tableau 2 : Localisation des apports de matière organique représentée en nombre de parcelles situées en champs de case (CdC) ou de champs de brousse (CdB) en fonction des différents terroirs en 2014.

Source : Auteur

Diohine		Barry Sine		Sob	
CdC	CdB	CdC	CdB	CdC	CdB
Mil	Arachide + Niébé	Arachide	Arachide + Niébé	Mil	Arachide + Niébé
Mil + Niébé	Jachère	Arachide + Niébé	Arachide + Niébé préc + Niébé tard	Mil + Sorgho	Arachide + Sorgho
Mil + Sorgho + Niébé	Maraîchage	Arachide + Niébé préc + Niébé tard	Mil	Mil + Sorgho + Niébé tard	Mil
	Matye	Maïs	Mil + Niébé		Mil + Niébé tard
	Matye + Niébé	Mil	Niébé		Mil + Sorgho
	Mil + Niébé	Mil + Niébé	Niébé tard		Niébé
	Mil + Sorgho + Niébé	Niébé	Sorgho		Niébé tard
	Niébé	Pastèque	Sorgho + Niébé tard		Pastèque
	Niébé tard	Sorgho			Mil + Matye
	Mil + Matye + Niébé				Sorgho
	Sorgho				
	Sorgho + Niébé				

Tableau 3 : Répartition des cultures en fonction de la distance au foyer (CdC ou CdB) et des différents terroirs en 2014.

Source : Auteur

Le parcage (qui se fait durant la saison sèche sur les champs cultivés et pendant l'hivernage sur les champs en jachère) et l'apport de fumier se font sur des parcelles ou des morceaux de parcelles différents. Les parcelles qui reçoivent un apport de matière organique changent chaque année.

En ce qui concerne les engrais chimique, les agriculteurs appliquent soit du N, P, K soit de l'urée (*Quantités*). A Diohine, très peu d'agriculteurs utilisent des engrais minéraux par manque de moyens ; si les agriculteurs réussissent à en obtenir, ils le mettent préférentiellement sur les champs en mil et mil + niébé. A Barry Sine et à Sob, un plus grand nombre d'agriculteurs utilisent des engrais minéraux. A Sob, les champs cultivés en pastèques reçoivent tous du N, P, K et dans les deux villages, l'engrais est plutôt mis sur le mil (en association ou non), puis sur l'arachide s'il en reste suffisamment.

La répartition des cultures sur les différents types de champs est semblable à Diohine et à Sob mais se démarque à Barry Sine (Tableau 3). Dans les deux premiers villages, on trouve seulement du mil sur les champs de case, associé ou non à une autre culture, tandis que les cultures présentes sur ces champs sont beaucoup plus variées dans le troisième village. On y trouve notamment de l'arachide, de la pastèque, du sorgho et du maïs en plus des champs de mil.

Nous avons remarqué que les apports de fumier étaient beaucoup plus importants en CdB qu'en CdC à Sob : cela peut s'expliquer par la présence des champs de pastèque uniquement en CdB. Cette culture demande en effet des apports très importants en azote et reçoit systématiquement une fertilisation organique. Cela pourrait représenter un risque pour le système si de la matière organique est détournée des champs de case vers les champs les plus éloignés au profit de la culture de pastèque.

4.2. Légumineuses et cultures associées

Alors que le niébé est cultivé en association avec de diverses autres cultures, et notamment des céréales, l'arachide elle est presque exclusivement cultivée en association avec une autre légumineuse, soit le niébé lui-même. La très grande majorité des légumineuses sont cultivées en association, tous terroirs confondus, soit 93% d'entre elles au total (Tableau 4).

	Diohine	Bary Sine	Sob	Total
Nb_champs_asso	79	65,75	45	189,75
%_leg_asso	94,0	93,6	90,9	93,1

Tableau 4 : Importance des associations culturales dans la culture de légumineuse en fonction des différents terroirs en 2014

Source : Auteur

Les associations céréales légumineuses que l'on retrouve sont très variées, même si certaines tendent à être majoritaires. L'association majoritaire est le niébé (tardif ou précoce) associé au mil. On retrouve différentes géométries (représentées sur la figure 6) :

- Niébé précoce semé entre les poquets de mil (1.et 2.)
- Niébé précoce semé entre les poquets de mil, niébé tardif semé de la même manière avec une ligne de décalage. (3.)
- Niébé tardif semé en ligne (4.)
- Niébé tardif semé à la dérobée (après la levée du mil, on sème le niébé dans les poquets qui n'ont pas poussés). (5.)

Pour les autres types d'associations céréales-légumineuses, les mêmes géométries sont utilisées. Pour l'association mil-sorgho-niébé par exemple, on retrouve la forme 1 en remplaçant les semis de niébé par du sorgho une ligne sur deux.

Le niébé tardif étant semé après le deuxième sarclage du mil, les deux cultures ne se développent pas vraiment en même temps, le terme de cultures associées n'est donc peut-être pas adapté.

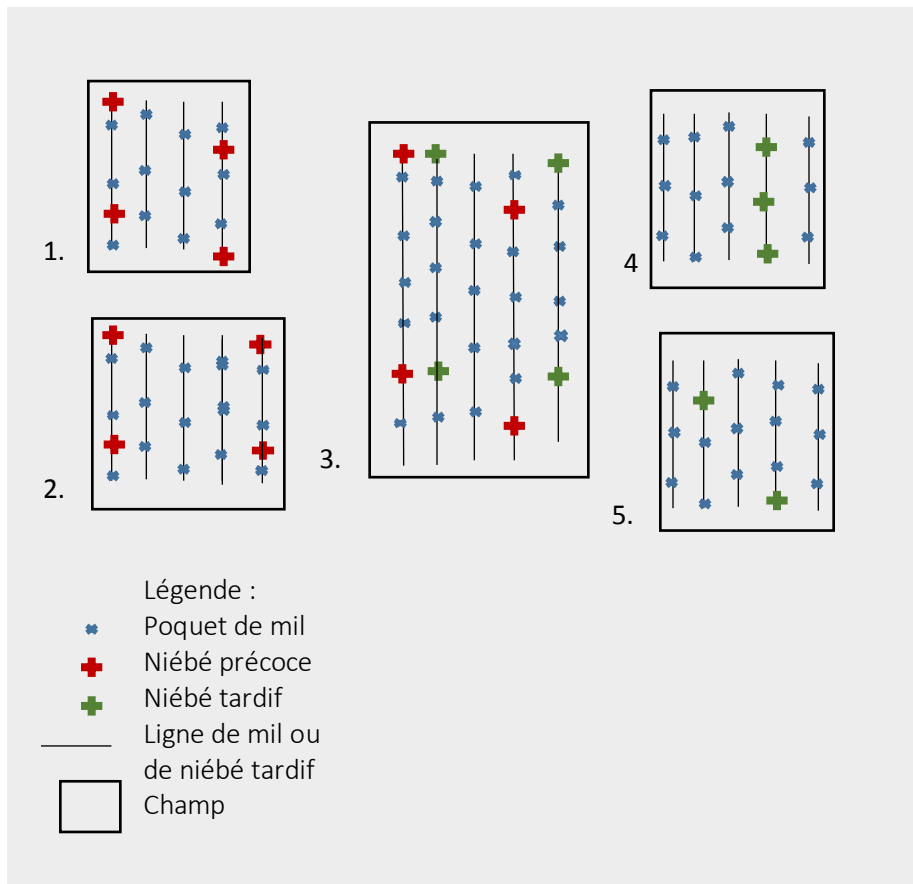


Figure 5 : Représentation graphique de l'organisation spatiale des semis pour les associations entre le mil et le niébé précoce ou tardif. Source : Auteur

4.3. Perceptions des légumineuses

Nous nous attendions à ce que les agriculteurs aient une bonne perception de cette association, dû aux services écosystémiques remarquables qu'elle pourrait rendre (Figure 6). Mais nous pouvons noter que les perceptions sont surtout neutres à Diohine et Barry Sine, ce qui peut s'expliquer par le fait que les associations sont réalisées à cause du manque de terre et non par choix. Les perceptions sont surtout négatives à Sob à cause de la difficulté de la récolte du mil lorsqu'il est associé avec le niébé – les tiges du niébé s'enroulent autour de celles du mil et gêne leur coupe.

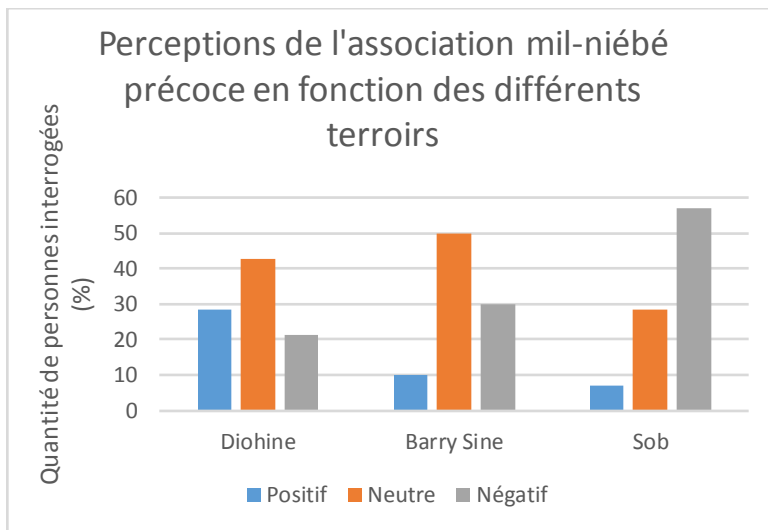


Figure 6 : Qualité de la perception des agriculteurs de Diohine, Barry Sine et Sob quant à l'association mil-niébé précoce en 2015
Source : Auteur

4.4. Quantité d'azote potentiellement apportée par la fixation symbiotique et quantité d'azote disponible pour la culture suivante.

La variabilité de la quantité d'azote qui pourrait être fourni à la culture suivante par une culture préalable de légumineuse est en partie expliquée par ses performances. Jeuffroy et al. (2015) définissent le « solde azoté » comme la différence entre les entrées, à savoir les semences et la fixation, et les sorties, à savoir l'azote exporté dans les grains et l'azote lixivié en profondeur. Plus la plante repose sur la fixation symbiotique pour assurer ses besoins, plus elle peut contribuer à l'enrichissement du pool N du sol ; plus la part d'azote accumulé dans les compartiments exportés est forte par rapport à l'azote total accumulé par la plante, plus les restitutions au sol seront faibles. Le solde azoté est donc un indicateur de l'influence de la contribution de la légumineuse à l'enrichissement du pool azoté pour les cultures suivantes. Cependant, il est difficile de prévoir précisément les valeurs de la fixation azotée en parcelle agricole, ce qui limite notre capacité à adapter précisément la fertilisation de la culture suivante aux caractéristiques de la culture légumineuse précédente.

Nous avons cependant tenté d'estimer, à partir des données d'Odru et Audouin (2013), les quantités d'azote produites par la fixation biologique pour l'arachide et le niébé (les données concernent les villages de Barry Sine et Diohine et se basent sur l'année culturale de 2012). Les parts de l'azote fixé par rapport à l'azote produit ont été calculées en faisant une moyenne des différentes données trouvées dans la bibliographie : 57% de l'azote produit par le niébé serait originaire de la fixation de l'azote atmosphérique, tandis que ce chiffre ne serait que de 23% pour l'arachide (Ndiaye, 1986 ; Traore, 2012 ; Dugje et al., 2009)

	Fixation Niébé		Fixation Arachide	
	Barry Sine	Diohine	Barry Sine	Diohine
	kgN/ha	kgN/ha	kgN/ha	kgN/ha
moyenne	2,33	3,81	4,30	6,13
min	0,01	0,02	0,10	0,36
max	63,87	23,51	26,57	29,53
écart type	4,95	3,17	3,94	6,31
1e quartile	0,56	1,69	1,70	2,16
2e quartile	1,02	2,99	3,23	4,58
3e quartile	2,42	4,84	5,82	6,80

Tableau 5 : Quantité d'azote originaire de la fixation symbiotique de l'arachide et du niébé par hectare sur les terroirs de Barry Sine et Diohine en 2012 Source : Auteur

La part d'azote fixé est plus faible pour l'arachide que pour le niébé selon la littérature, mais ces données (tableau 5 et annexes X) montrent que la quantité d'azote fixée par l'arachide est supérieure que celle fixée pour le niébé sur l'ensemble des terroirs. Selon un test de Kruskal-Wallis, les deux facteurs village et culture ont une influence significative sur la fixation azotée ($p < 0,05$). De plus, en réalisant un graphique des interactions (figure 7), nous pouvons faire l'hypothèse qu'il y a une interaction entre les deux facteurs, c'est-à-dire que l'influence du type de culture sur la fixation azotée sera différente à Barry Sine et à Diohine.

Ceci peut être expliqué par des différences potentielles des sols entre les terroirs de Barry Sine et Diohine, qui ont un impact sur la fixation azotée (richesse en N, en P, salinité, pH...)

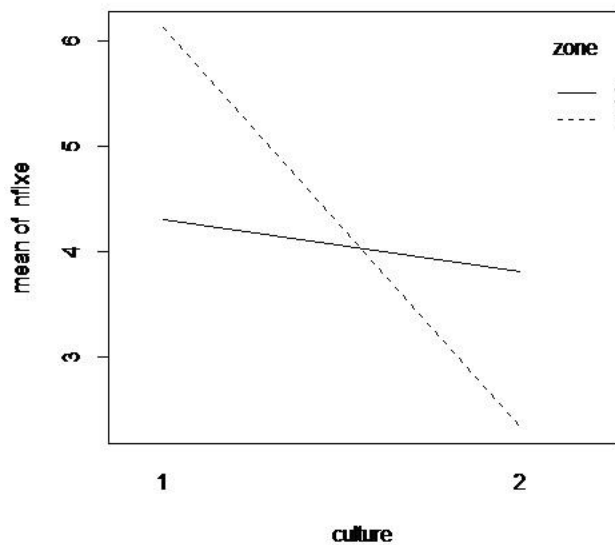


Figure 7 : Graphique des interactions entre les facteurs 'culture' et 'village' pour la variable 'quantité d'azote atmosphérique fixé', réalisé sous R,

Source : Auteur

Zone 1 : Diohine

Zone 2 : Barry sine

Culture 1 : Arachide

Culture 2 : Niébé

Les deux droites se coupent : on peut supposer qu'il y a une interaction entre les deux facteurs.

Les graphiques réalisés sous R (boxplots et résumés numériques en annexe) confirment que l'arachide accumule une plus grande quantité d'azote d'origine atmosphérique par hectare que le niébé ; nous pouvons également affirmer que les chiffres sont plus élevés pour Barry Sine que pour Diohine – lorsqu'on calcule les moyennes et quartiles pour les deux cultures confondues-, ce qui n'apparaît pas dans la figure 10 lorsqu'on sépare les deux cultures.

Le niébé ayant un meilleur taux de fixation de l'azote atmosphérique, il serait donc plus autonome et pourrait être cultivé avec de meilleures chances de réussite sur des sols pauvres en azote. L'arachide quant à elle aurait besoin de plus d'intrants azotés mais aurait une teneur en azote plus élevée que le niébé.

La littérature (Badiane, 1993) et les résultats de l'enquête effectuée montrent que les cultures sont presque exclusivement exportées : les grains servent à l'alimentation du foyer ou la vente et les fanes servent de fourrage pour les animaux. La pratique d'enfouissement des résidus ne constituerait donc pas une technique culturale adaptée pour augmenter la fertilité du sol ; on pourra cependant se demander quelles seraient les quantités d'azote qui pourraient potentiellement être apportées via cette méthode.

Les quantités d'azote présentes dans les résidus de culture sont les suivantes (tableau 6) : pour le niébé, les chiffres sont surévalués car la base de donnée ne fait pas de différence entre les variétés fourragère ou non. Pour une variété fourragère, les fanes constituent le produit principal que l'on souhaite obtenir et ne devraient pas être prises en compte dans les résidus de culture.

	Diohine	Barry	Diohine	Barry Sine
	Résidus Arachide		Résidus Niébé	
Moyenne	12,7	30,9	12,3	13,9
Min	2,1	19,1	7,6	7,6
Max	60,1	68,4	27,3	67,4
Ecart type	11,5	12,0	4,5	11,8
1e quartile	6,2	23,3	8,4	7,9
2e quartile	8,9	25,9	11,7	9,5
3e quartile	12,7	36,6	14,3	14,6

*Tableau 6: Teneur en azote des fanes de niébé et d'arachide sur les terroirs de Diohine et Barry Sine en 2012
Source : Auteur*

Selon un test de Kruskal-Wallis, le facteur village n'a pas d'influence sur la quantité d'azote présente dans les résidus ($p > 0,05$) tandis que le facteur culture aurait une influence ($p < 0,05$). La réalisation d'un graphique des interactions montre qu'il n'y a priori pas d'interaction entre les deux facteurs (figure 13), donc le type de culture a la même influence sur la quantité d'azote présente dans les résidus à Barry Sine et à Diohine.

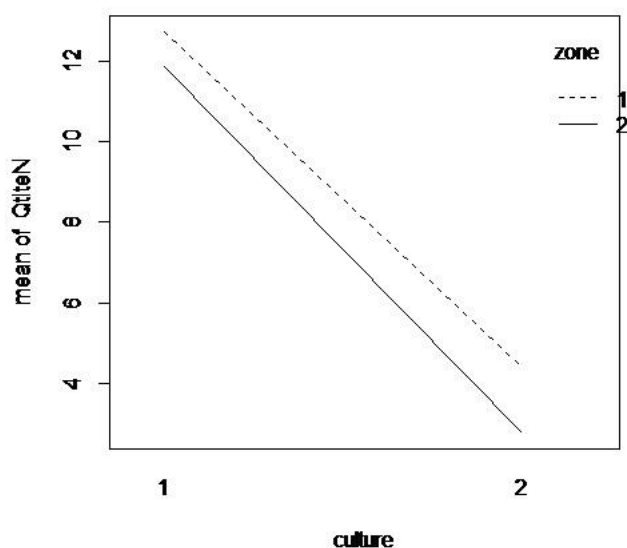


Figure 8 : Graphique des interactions entre les facteurs 'culture' et 'village' pour la variable 'quantité d'azote présente dans les résidus', réalisé sous R,

Source : Auteur

Zone 1 : Diohine

Zone 2 : Barry Sine

Culture 1 : Arachide

Culture 2 : Niébé

Les droites ne se coupent pas, on peut supposer qu'il n'y a pas d'interaction entre les deux facteurs.

Selon les graphiques réalisés sous R (boxplots et résumés numériques), l'arachide présente une quantité beaucoup plus élevée d'azote dans les résidus que le niébé, ce qui était évident pour les données de Barry Sine mais moins pour les données de Diohine dans la figure 12. Comme il n'y a pas d'interaction entre les deux facteurs, on peut affirmer qu'il n'y a pas de différence quant à l'influence de l'arachide sur la quantité d'azote des résidus entre les terroirs de Diohine et Barry Sine.

Ce résultat est cohérent avec l'analyse précédente montrant que grâce à une présence plus

importante de l'arachide dans les rotations culturales, cette plante apporterait une plus grande quantité d'azote d'origine atmosphérique que la culture de niébé.

Ces données montrent que la technique d'enfouissement des résidus de légumineuse serait plus efficace avec la culture d'arachide qu'avec la culture de niébé. Nous avons d'autre part relevé que les agriculteurs reconnaissent l'arachide comme un meilleur précédent cultural pour le mil que le niébé, même si nous avons montré que celle-ci avait des besoins plus élevés en azote que le niébé. En effet elle prélève une plus grande quantité d'azote dans l'atmosphère mais cela ne représente que 23% de ses besoins, contre 57% pour le niébé ; elle prélève donc également une plus grande quantité d'azote dans le sol que le niébé. Nous pouvons faire l'hypothèse qu'une partie de l'azote présent dans les cultures considérées serait restituée et disponible pour la culture suivante, l'arachide restituerait donc plus d'azote par hectare que le niébé, ce qui en ferait un meilleur précédent cultural.

Les agriculteurs affirment que certains résidus, comme les premières feuilles qui jaunissent et tombent ou les racines de niébé et certains débris de culture, restent dans les champs après la récolte. Une partie est mangée par les animaux lors de la divagation en saison sèche. Une autre partie a le temps de se décomposer, avec la présence de pluies tardives ou non.

Selon l'étude de Schneider et Huyghe (2015), les micro-racines trop fines pour être récoltées et les débris racinaires en décomposition représentent la majeure partie de l'azote rhizodéposé. La quantité d'azote contenue dans la partie souterraine d'une culture représenterait une part conséquente de l'azote de la plante entière (env. 30%), et doit donc être prise en compte dans une gestion optimale de l'azote dans le système de culture.

4.5. Discussion générale

D'après la littérature scientifique, il pourrait y avoir un transfert direct ou une facilitation d'accès aux nutriments de la légumineuse envers la céréale pendant le développement des cultures (Sarr et al., 2007), dus à la fixation de l'azote atmosphérique par la légumineuse. Cependant, la quantité d'azote fixée par une légumineuse peut largement varier sous l'influence de plusieurs facteurs. En effet, de nombreux facteurs de l'environnement modifient la croissance de la plante et ont un effet indirect sur le niveau de la fixation symbiotique d'azote. La fixation symbiotique peut ainsi être limitée par un déficit hydrique, un excès d'eau, une alimentation minérale déficiente en P et K, un état structural du sol dégradé ou des maladies et ravageurs (Voisin et Gastal, 2015). Tous ces facteurs affectent l'installation des nodosités et/ou leur fonctionnement, avec des conséquences sur la fixation symbiotique d'azote. Une limitation de l'absorption d'azote minéral par les racines peut également avoir lieu, du fait d'un système racinaire peu développé, conséquence par exemple d'un état

structural dégradé ou du fait de la faible disponibilité en nitrate du sol (faible minéralisation, manque d'eau...). Dans ces conditions, l'absorption d'azote minéral ne permet pas de compenser la déficience de la fixation symbiotique, conduisant ainsi à une nutrition azotée limitante. Ainsi, malgré la complémentarité potentielle entre les deux voies d'acquisition de l'azote au cours du temps, les cultures de légumineuses présentent fréquemment des carences azotées en situation agricole. Un stress azoté prolongé diminue la production de matière sèche avec des effets immédiats sur la production fourragère et la teneur en protéine du fourrage (Doré et al., 1998).

La disponibilité en eau est l'un des facteurs de croissance qui limite probablement le plus, et le plus souvent, la fixation, par une diminution de la croissance globale de la plante (Schubert, 1995). Les températures élevées affectent la survie des bactéries dans le sol, et plus généralement l'ensemble des processus physiologiques, dont le fonctionnement de la nitrogénase. Le seuil de température maximale varie chez les légumineuses tropicales entre 27 et 40°C selon les espèces, mais la tolérance des bactéries pourrait être plus faible (Voisin et Gastal, 2015). Certaines populations de rhizobium ne tolèrent pas la salinité des sols qui affecte aussi la croissance de la plante. L'acidité des sols ($\text{pH} < 5$) a ainsi un effet inhibiteur sur la fixation symbiotique, lié non seulement aux protons mais aussi à une augmentation de la solubilisation d'ions toxiques comme l'aluminium et le manganèse (Ndiaye, 1986 ; Voisin et Gastal, 2015).

Il apparaît alors que les sols dior ne se situent pas dans les meilleures conditions permettant de favoriser la fixation symbiotique, le pH de ce sol étant compris entre 5,4 et 6,1.

Ceci pourrait expliquer les résultats obtenus quant à la perception des agriculteurs face à l'association mil – niébé qui dénote pas d'observation quand à un effet positif de la légumineuse grâce à la fixation de l'azote atmosphérique.

En ce qui concerne notre étude, un des buts était de faire le lien entre les modes de culture des légumineuses et leurs impacts sur la gestion de la fertilité des sols. Nous avons pu établir une certaine logique des apports organiques et minéraux dans les systèmes de culture mais il aurait été pertinent d'étudier plus profondément les liens entre la mise en place des symbioses légumineuse-rhizobium et l'apport de fertilisant ; l'objectif étant d'optimiser l'apport des engrais grâce à la fixation azotée des légumineuses. Selon Schneider et Huyghe (2015), à l'échelle des systèmes de culture, les besoins en phosphore des légumineuses peuvent nécessiter une fertilisation phosphatée. Dans le cas des associations légumineuse + non-légumineuse, la fertilisation phosphatée et potassique des productions végétales favorise en général les légumineuses tandis que la fertilisation azotée favorise les autres espèces.

Mis à part la fixation de l'azote atmosphérique, d'autres facteurs sont à prendre en compte et devraient être quantifiés pour une meilleure analyse de la gestion des apports azotés. En effet,

concernant les cultures annuelles, il y a de vrais risques de lixiviation (Francis et al., 1994), même en climat sec. Il est nécessaire d'adapter la fertilisation des cultures qui suivent une culture de légumineuses pour ne pas accentuer les risques au cours de l'année qui suit la présence de la légumineuse.

Les fanes (de niébé) servent à nourrir le bétail qui est assez important et dont le problème d'alimentation se pose. Ainsi, par son double emploi, le niébé permet un équilibre alimentaire pour l'homme et le bétail. De plus sa culture augmente la productivité de la terre dans une zone où, sous l'effet de la pression démographique, les terres ont tendance à manquer.

En revanche, les chances de réussite de cette culture dérobée sont diminuées par le facteur climat. Ce type de culture génère un épuisement des réserves hydriques du sol ; c'est donc un système qui ne coûte pas cher et donne des résultats satisfaisants mais qui demande le respect de certaines pratiques culturales telles que des techniques de conservation d'eau, l'adoption d'une bonne géométrie de culture... (Miangje, 1979).

Néanmoins, en cas de conduite intensive de ces associations, les bénéfices attendus – notamment en terme de meilleure valorisation des ressources – sont réduits, voire annulés (Bedoussac et Justes, 2010 ; Pelzer et al., 2012).

La densité de chaque espèce et la fertilisation azotée appliquée à l'association peuvent être adaptées selon les objectifs de production visés et la disponibilité attendue d'azote dans le milieu, afin de favoriser l'une ou l'autre des cultures dans la récolte (Corre-Hellou et al., 2013) : plus la disponibilité en azote minéral est élevée, plus la céréale est favorisée au détriment de la légumineuse.

5. Conclusion et perspectives

Les seules légumineuses cultivées dans les zones étudiées sont l'arachide et le niébé. L'acacia n'est pas cultivé mais il a un impact positif sur la fertilité des sols cultivés (annexe 5). La gestion des légumineuses au sein du système de culture dans lequel elle est insérée demande la prise en compte de certaines caractéristiques. L'organisation du travail, le type d'agencement, l'exigence modérée en intrant par rapport à d'autres cultures majoritaires... Certains leviers favorisant un bon fonctionnement peuvent être actionnés à l'échelle du système, via l'organisation des cultures dans le temps et l'espace, en adaptant les itinéraires techniques selon les objectifs visés.

Le principal résultat concernant les modes de culture des légumineuses sur les terroirs de Diohine, Sob et Barry Sine concerne les associations culturales. 93% des champs cultivés en légumineuse sont en association, soit avec une autre légumineuse, soit avec une céréale. La principale raison donnée par les agriculteurs pour la présence des associations est le manque de terre. On relève également d'autres associations de cultures de céréales comme l'association mil-sorgho.

La part des champs en légumineuses est plus faible à Sob qu'à Barry Sine et Diohine, mais sur ces champs, la part en arachide + niébé est plus grande à Sob que dans les deux autres villages. Or, on a vu que l'arachide accumule des quantités en azote plus importante que le niébé, même avec un taux de fixation atmosphérique plus faible que ce dernier. L'arachide a donc un besoin plus important en termes d'apport de matière organique mais elle serait, à dire d'acteur, un meilleur précédent cultural que le niébé. Nous avons vu que même si la quantité de résidus laissée dans les champs après une culture de légumineuse est très faible, les débris racinaires qu'on ne peut pas récolter représenteraient une part non négligeable de l'azote contenue dans la culture (environ 30%). Cela peut expliquer le fait que tous les agriculteurs reconnaissent que le mil donne de meilleurs résultats après une culture d'arachide qu'après toute autre culture. La culture d'arachide rentre par ailleurs en rotation avec le mil dans les trois villages – avec ou sans la présence de jachère -, le mil étant la culture représentant la base de l'alimentation des paysans Sereer. Il serait intéressant de développer des cultures de niébé car elles sont plus productives en terme de fixation, la densité de niébé pourrait par exemple être augmentée.

Les légumineuses sont essentiellement cultivées pour l'autoconsommation, en fourrage et pour la cuisine. Il n'y a de vente que si les besoins pour l'autoconsommation ont été satisfaits. La vente concerne principalement les graines. L'arachide n'est donc plus une culture de rentre comme elle a pu l'être pendant la période coloniale.

Du point de vue des apports de matière azotée, nous n'avons pas pu montrer l'impact des types de culture, il faudrait mesurer pour chaque champ la quantité de fumier et d'engrais apportée et la mettre en relation avec le type de culture qui précédait cet apport. Cela permettrait de rendre compte d'un éventuel impact significatif de la culture des légumineuses sur la fertilité des sols.

Cette étude pourrait être complétée par l'étude de prélèvements de nodules, afin d'étudier l'impact des modes de culture des légumineuses sur la fixation de l'azote atmosphérique.

Bibliographie

- Audouin E. (2014)** Comparaison de deux terroirs en termes de flux de biomasse et de bilans azotés en vue de proposer des voies d'intensification écologique. Cas de Diohine et Barry Sine dans le Bassin Arachidier du Sénégal. PURPAN, PPZS, CIRAD.
- Badiane A.N., Szempruch B., Fernandes P., Lesage B. (1997)** Rapport de synthèse : opération fixation de l'azote et recyclage de la matière organique. ISRA, CNRA Bambey.
- Bado V. (2002)** Rôle des légumineuses sur la fertilité des sols ferrugineux tropicaux des zones guinéennes et soudaniennes du Burkina Faso. Département des sols et de génie agroalimentaire. Lieu de soutenance : Faculté des sciences de l'agriculture et de l'alimentation, Université Laval, Québec.
- Becker C. et Mbodj M. (1999)** La dynamique du peuplement Sereer. Les Sereer du Sine. Dans : Paysans Sereer. Dynamiques agraires et mobilités au Sénégal, Lericollais, pp40-73.
- Boulier F. et Jouve P. (1990)** Evolution des systèmes de production sahéliens et leur adaptation à la sécheresse. CIRAD.
- Chalk, P.M. (1998)** Dynamics of biologically fixed N in legume-cereal rotations: a review. Aust. J. Res., 49 : 303-316. Cité dans: Bado V. (2002) Rôle des légumineuses sur la fertilité des sols ferrugineux tropicaux des zones guinéennes et soudaniennes du Burkina Faso. International Crop Institute for Semi-Arid Tropics.
- Charreau C. et Vidal P. (1965)** Influence de l'*Acacia albida* sur le sol, la nutrition minérale et les rendements des mils *pennisetum* au Sénégal. Institut de Recherches Agronomiques Tropicales et des Cultures Vivrière, CNRA Bambey.
- Corre-Hellou G. et Crozat Y. (2005)** N₂ fixation and N supply in organic pea (*Pisum sativum* L.) cropping systems as affected by weeds and pea weevil (*Sitona lineatus* L.). Europ. J. Agronomy, 22 (4), 449-458.
- Coulibaly K., Vall E., Autfray P., Sedogo P.M. (2012)** Performance technico-économique des associations maïs-niébé et maïs-mucuna en situation réelle au Burkina Faso : potentiels et contraintes. Tropicultura.
- Danso S.K.A (1995)** Assessment of biological nitrogen fixation. Fertilizer research 42 : 33-41. Cité dans: Bado V. (2002) Rôle des légumineuses sur la fertilité des sols ferrugineux tropicaux des zones guinéennes et soudaniennes du Burkina Faso. International Crop Institute for Semi-Arid Tropics.
- Depesse J-L., Noyoux V., Yzèbe T. (2015)** GéoGuide Sénégal, pp10-53.
- Doré T., Meynard J.M., Sebillotte M. (1998)** The role of grain number, nitrogen nutrition and stem number in limiting pea crop (*Pisum sativum*) yields under agricultural conditions. Eur. J. Agron., 8, 29-37. Cité dans : Schneider A. et Huyghe C. (2015) Les légumineuses pour des systèmes agricoles et alimentaires durables (Coord.) Editions Quae.

Dugje I.Y., Omoigui L.O., Ekeleme F., Kamara A.Y. et Ajugbe H. (2009) Production du niébé en Afrique de l'Ouest, guide du paysan.

Francis G.S., Haynes R.J., William P.H. (1994) Nitrogen mineralization, nitrate leaching and crop growth after ploughing-in leguminous and non-leguminous grain crop residues. *J. Agric. Sci.*, 123, 81-87. Cité dans : Schneider A. et Huyghe C. (2015) Les légumineuses pour des systèmes agricoles et alimentaires durables (Coord.) Editions Quae.

Ganry F. et Guèye F. (1991) Fiches techniques d'étude et de préparation des composts et composts-fumiers en zone soudano-sahélienne. IRAT, CIRAD, ISRA.

International Institute of Tropical Agriculture (IITA) (2010) Des centaines de scientifiques se retrouvent au Sénégal pour lutter contre la faim en Afrique, Archives de l'IITA 2010 [En ligne :

http://www.iita.org/2010-press-releases/-/asset_publisher/CxA7/content/des-centaines-de-scientifiques-se-retrouvent-au-senegal-pour-lutter-contre-la-faim-en-afrique;jsessionid=06AE01FEA1EF873A4A28854BA8474CF5?redirect=%2F2010-press-releases#.VczFb_n1ako, consulté le 10/08/15]

Jeuffroy M-H., Biarnès V., Cohan J-P., Corre-Hellou G., Gastal F., Jouffret P., Justes E., Landé N., Louarn G., Plantureux S., Schneider A., Thiébeau P., Valentin-Morison M., Vertès F. (2015) Performances agronomiques et gestion des légumineuses dans les systèmes de productions végétales. Dans : Les légumineuses pour des systèmes agricoles et alimentaires durables, Schneider A. et Huyghe C. (Coord.) pp139-223.

Khouma M., Les grands types de sols au Sénégal, ISRA CNRA de Bambay, Archives de document de la FAO, [en ligne : <http://www.fao.org/docrep/005/y3948f/y3948f07.htm>, consulté le 27/07/15]

Khouma M., Guèye M., Ganry F., Badiane A., Ndiaye J-P., Sène M. (2005) Les sols. Dans : Bilan de la recherche agricole et agroalimentaire au Sénégal. ISRA, ITA, CIRAD.

Kouyaté Z., Franzluebber K., Juo-Anthony S.R., Hossner-Lloyd R. (2000) Tillage, crop residue, legume rotation and green manure effects on sorghum and millet yields in the semiarid tropics of Mali. *Plant and Soil* 225 (1-2): 141-151.

Lericollais A. (1999) Paysans Sereer. Dynamiques agraires et mobilités au Sénégal. IRD éditions.

Mandret G. (1989) Le niébé dans l'association légumineuses fourragères – céréales au Sénégal. ISRA/LNERV.

Miangje N.D. (1979) Intérêt du système cultural mil-niébé dérobé. ISRA.

Ndiaye M. (1986) Fixation biologique d'azote par la symbiose rhizobium arachide : acquis et perspectives de recherche, CNRA Bambey

Ndiaye J.P. (1997) Contribution des légumineuses arbustives à l'alimentation azotée du maïs : cas d'un système de cultures en allées dans le centre-sud du Sénégal. INPL. Cité dans : Khouma M., Guèye M.,

Ganry F., Badiane A., Ndiaye J-P., Sène M. (2005) Les sols. Dans : Bilan de la recherche agricole et agroalimentaire au Sénégal. ISRA, ITA, CIRAD.

Odru M. (2013) Flux de biomasse et renouvellement de la fertilité des sols à l'échelle du terroir. Etude de cas d'un terroir villageois Sereer au Sénégal. ISTOM, CIRAD.

Pélissier P. (1966) Les paysans du Sénégal. Les civilisations agraires du Cayor à la Casamance. Version électronique de l'ouvrage paru sous le même titre, Dakar, UCAD – Département d'Histoire, 2008. [en ligne : http://www.histoire-ucad.org/archives/index.php?option=com_remository&Itemid=60&func=select&id=22, consulté le 15/07/15]

Peoples M.B. et Crasswell E.T. (1992) Biological nitrogen fixation: investment, expectation and actual contribution to agriculture. Plant and Soil 141: 13-39.

Sarr P.S., Khouma M., Sene M., Guisse A., Badiane A.N., Yamakawa T. (2007) Effect of pearl millet-cowpea cropping systems on nitrogen recovery, nitrogen use efficiency and biological fixation using the 15N tracer technique . Soil Science and Plant Nutrition 54 (2008), 142-146.

Schneider A. et Huyghe C. (2015) Les légumineuses pour des systèmes agricoles et alimentaires durables (Coord.) Editions Quae.

Schubert S. (1995) Nitrogen assimilation by legumes – processes and ecological limitations. Fertilizer Re., 42, 99-107. Cité dans: Schneider A. et Huyghe C. (2015) Les légumineuses pour des systèmes agricoles et alimentaires durables (Coord.) Editions Quae.

Stoop W.A. et Van Staveren J.P. (1983) Effect of cowpea in cereal rotations on subsequent crop yields under semiarid conditions in Uper Volta. Dans : Biological Nitrogen Fixation (BNF) Technology for Tropical Agriculture. CIAT, Cali Colombia pp: 653-657.

Thiaw S. (1992) Agronomie du niébé dans les zones nord et centre nord du Sénégal, acquis et perspectives. ISRA.

Traore O. Y. A. (2012) Etude de la fixation symbiotique de l'azote atmosphérique par le niébé avec la méthode de l'abondance naturelle en 15N sous diverses pratiques culturales dans le Centre Ouest du Burkina Faso.

Voisin A-S. et Gastal F. (2015) Nutrition azotée et fonctionnement agrophysiologique spécifique des légumineuses. Dans : Les légumineuses pour des systèmes agricoles et alimentaires durables, Schneider a. et Huyghe C. pp79-138

Annexes

Annexe 1: Diverses photos de l'agriculture en pays Sereer



Jeunes pousses d'arachide. Source: Auteur



Limb et Nadio. Source: Auteur



Feidherbia albida et semis de niébé par une femme à Diohine. Source : Auteur.



Epannage du fumier sur des parcelles d'essai à Diohine. Source : Auteur.

Annexe 2 : Graphiques réalisés sous R

Boxplots réalisés sous R pour les variables quantité d'azote originaire de la fixation symbiotique (ligne 1) et quantité d'azote présent dans les résidus (ligne 2) soumis aux facteurs type de culture (colonne 1) et village (colonne 2).

Légende :

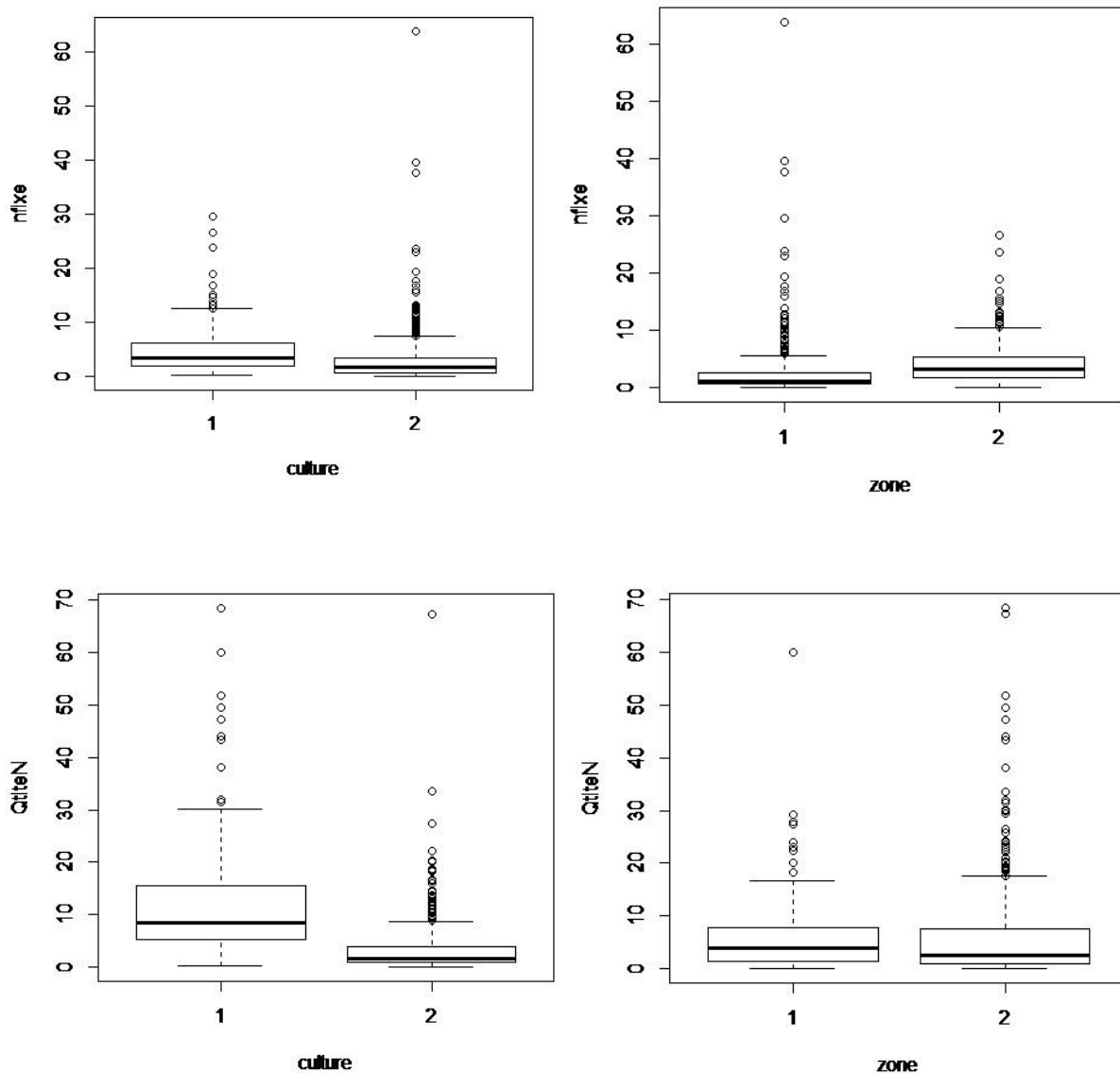
Zone 1 : Diohine

Zone 2 : Barry Sine

Culture 1 : Arachide

Culture 2 : Niébé

Source : Auteur



Annexe 3 : Résumés numériques réalisés sous R

Résumés numériques des boxplots présentés en annexe 2, réalisés sous R.

Source : Auteur

Tableau 1 : Résumé numérique concernant la quantité d'azote originare de la fixation symbiotique (correspondant aux boxplots de la ligne 1)

	Diohine	Barry Sine	Arachide	Niébé
Min	0.01398	0.02261	0.1027	0.01398
1e quartile	0.58470	1.69800	1.7750	0.65800
Mediane	1.04700	3.10200	3.3770	1.57300
Moyenne	2.60500	4.04300	4.5810	2.80500
3e quartile	2.57400	5.18000	6.0440	3.33700
Max	63.87000	26.57000	29.5300	63.87000

Tableau 2 : Résumé numérique concernant la quantité d'azote présent dans les résidus (correspondant aux boxplots de la ligne 2)

	Diohine	Barry Sine	Arachide	Niébé
Min	0.100	0.100	0.200	0.100
1e quartile	1.300	1.000	5.375	0.900
Mediane	3.900	2.500	8.350	1.600
Moyenne	5.732	5.924	11.970	3.323
3e quartile	7.800	7.600	15.420	4.000
Max	60.100	68.400	68.400	67.400

Annexe 4 : La place du niébé dans les systèmes agricoles et alimentaires : bref aperçu des acquis et perspectives.

La place du niébé peut être envisagée dans différents systèmes de cultures associées : niébé mixte (grains et fourrage) en une association avec une céréale, niébé fourrager en association avec une céréale, niébé en dérobé avec une variété fourragère à cycle très court... Certaines études envisagent également un niébé à cycle court en engrais vert en tête d'assolement (Khouma et al., 2005). Le niébé en culture pure reste en revanche très minoritaire, que ce soit dans l'agriculture du Pays Sereer ou bien dans la littérature scientifique concernant d'autres zones.

L'étude de Miangje (1979) s'intéresse aux avantages et inconvénients du système cultural mil-niébé en dérobé. De nombreux avantages sont mis en évidence : le niébé dérobé est une culture d'appoint qui représente une sorte de garantie pour l'agriculteur en cas de mauvaise récolte du mil. Il représente également une source de protéines dont le taux élevé et l'excellente qualité l'oblige à jouer un rôle capital dans l'équilibre nutritionnel des populations et plus particulièrement dans la lutte contre les carences protéiques des enfants.

La culture du niébé tiens une place essentielle dans l'effort visant à rechercher la sécurité alimentaire des populations. Le 27 septembre 2010, s'est tenue à Dakar la cinquième Conférence mondiale de la recherche sur le niébé, durant laquelle « des centaines de scientifiques du monde entier » se sont réunis pour débattre d'« une culture longtemps négligée et qui a le potentiel de mettre un terme à la faim des millions de gens en Afrique, de pérenniser la révolution de l'élevage en cours dans les pays en voie de développement, de renouveler les sols lessivés de nutriments » (IITA, 2010).

Cependant, les superficies emblavées en cette légumineuse et les rendements obtenus par unité de surface sont encore relativement faibles (Miangje, 1979). Le niébé n'est pas destiné à remplacer le mil ou l'arachide, mais dans un souci d'équilibre nutritionnel, il serait souhaitable que cette légumineuse, dont la teneur en protéine varie entre 22 et 25% (Thiaw, 1992), puisse jouer un rôle important, en mélange avec les céréales, dans la satisfaction des besoins alimentaires des populations.

Une des raisons pour laquelle le niébé n'est pas aussi largement cultivées comme le maïs ou le riz est que le stockage de pois secs est compliqué par un coléoptère minuscule, la bruche du niébé, qui se reproduit rapidement dans des sacs de céréales traditionnelles et rend la nourriture immangeable (IITA, 2010). Des équipes scientifiques au Sénégal, aux Etats-Unis et au Niger font des recherches sur une technologie de stockage simple pour agriculteurs africains, destinée à limiter les populations de charançons.

Annexe 5 : Résultats d'enquête sur l'*Acacia albida* ou *Faidherbia albida*

Le parc arboré des terroirs se différencie en auréoles concentriques. Au centre, la place du village émerge avec les baobabs de tous âges et de toutes tailles, les nims (*Azadirachta Indica*), et quelques rôniers. L'auréole périphérique au village se démarque par la prédominance et la densité des *Faidherbia albida* dans les champs parfaitement dégagés de tout arbuste et de toute repousse. Cette légumineuse ligneuse est l'espèce dominante ; sa présence est due aux paysans et à leurs troupeaux sédentaires. Les feuilles et fruits servent de fourrage pendant la période de soudure ; les gousses digérées par le bétail peuvent germer, puis les arbustes sont protégés et taillés par les paysans. Cette espèce est importante pour les cultures et le bétail. Les cultures se développent mieux sous le couvert de ses arbres. Les agronomes et les forestiers sont unanimes à souligner son effet sur le sol qui se traduit par un relèvement général des composantes de la fertilité (Lericollais, 1999). Il influence favorablement tous les processus se déroulant dans le sol, qu'ils soient physique, chimiques ou microbiologiques (Charreau et Vidal, 1965). Des densités de 10 à 30 arbres l'hectare, qui autrefois étaient habituelles dans la campagne serer, fertilisaient 10 à 50% de la terre cultivée. Mais au cours des dernières décennies, les effectifs de la strate arborée ont nettement diminués, actuellement, le parc vieillit sans régénération et l'exploitation des arbres fourragers est maximale. Les processus à l'œuvre, qui peuvent expliquer cette dégradation progressive du parc arboré serer, relèvent à la fois de la sahélistation, de la surexploitation et d'un certain abandon (Lericollais, 1999).

L'*Acacia* est la seule légumineuse à être très bien perçue par les agriculteurs à Diohine, Barry Sine et Sob. Cet arbre est par ailleurs la seule légumineuse qui n'est pas entièrement exportée. On observe beaucoup d'*Acacias* dans le parc arboré du Pays Sereer même s'ils représentent une source de fourrage pour les animaux.

Tous les agriculteurs possèdent un ou plusieurs *Acacia* (*Sas* en Sereer, *Kad* en Wolof) sur leurs champs et tous cultivent dessous. Ils réalisent tous la même culture sous l'arbre que dans le reste du champ, mais souvent les femmes vont planter le Limb ou le Nadio au pied de l'arbre. Ce sont des courges, qui se développent soit en grimpant sur l'arbre pour donner de plus petits fruits qui servent pour la cuisine et pour faire des cuillères, soit en rampant sur le sol pour donner de plus gros fruits qui serviront de Calebasses (Photos de limb en annexe). Un agriculteur affirmait que les Limb poussaient encore mieux si la culture du champ où se trouvait l'arbre est de l'arachide et non du mil.

La très grande majorité des agriculteurs protègent les jeunes pousses d'*Acacia* qui se trouvent sur leurs champs pour leur permettre de bien pousser, en les entourant de barrières avec des branches à épines, en mettant un tuteur, ou simplement en les évitant avec les machines lors des travaux dans les champs. Seuls deux agriculteurs avouaient ne pas faire attention et déraciner les jeunes pousses avec

leur machines, même s'ils reconnaissent l'apport de fertilité que ces arbres représentent dans un champ. Les agriculteurs interrogés affirment également que cette fertilité persiste après la mort de l'arbre, au moins 5ans et parfois jusqu'à 10ans après.

