



COMPARAISON DE DEUX TERROIRS EN TERMES DE FLUX DE BIOMASSE ET DE BILANS AZOTES EN VUE DE PROPOSER DES VOIES D'INTENSIFICATION ECOLOGIQUE

Cas de Diohine et Barry Sine dans le Bassin
Arachidier du Sénégal

Elise AUDOUIN

Résumé

Le vieux bassin arachidier du Sénégal s'inscrit dans un contexte de changements physique et socio-économique, sources de compétition d'usage des ressources naturelles. En réaction, une transition agraire rapide a perturbé le système traditionnel Sereer et questionne la durabilité des systèmes actuels en termes de maintien de la fertilité des sols.

L'étude s'est penchée sur le cas de deux terroirs, l'un ayant un modèle relativement traditionnel qui conserve une jachère commune (Diohine), l'autre ayant adopté la pratique de l'embouche (Barry Sine). La durabilité des systèmes agricoles adoptés est évaluée sur la base de bilans de nutriments pluri-échelle à dire d'acteurs. Les perceptions et dynamiques de gestion de la fertilité sont appréciées lors d'ateliers participatifs.

Les deux villages importent de l'azote extérieur au terroir ($25\text{kgN}\cdot\text{ha}^{-1}$ à Barry Sine et $9\text{kgN}\cdot\text{ha}^{-1}$ à Diohine) sous forme de denrées alimentaires, de cheptel et de concentrés. Diohine pour sa part entretient de nombreux flux inter-foyers par le pâturage de saison des pluies, conditionné par le statut social (bilan azoté du foyer de $25\text{kgN}\cdot\text{ha}^{-1}$ à Barry Sine contre 13 à Diohine). Malgré l'importance du recours à la fertilisation minérale et organique pour Barry Sine et à la jachère pour Diohine, les villages puisent dans les réserves du sol avec des bilans azotés négatifs similaires ($-23\text{kgN}\cdot\text{ha}^{-1}$ à Barry Sine pour $-20\text{kgN}\cdot\text{ha}^{-1}$ à Diohine).

Les options d'amélioration de la fertilité des sols proposés par les villageois se sont concentrées sur l'intensification des pratiques par le biais d'un soutien extérieur. Cependant, des innovations et des financements internes sont envisagés. À Barry Sine par exemple, les agriculteurs considèrent qu'une meilleure valorisation de la fumure organique issue de l'activité d'embouche est possible. Cette option permettrait d'accroître le bilan N à l'échelle de la parcelle, l'efficacité d'utilisation de l'azote, la productivité et les revenus aux échelles du ménage et du terroir.

Mots-clés : bilans apparents d'azote pluri-échelle, flux de biomasse, fertilité des sols, atelier participatif, pays Sereer

Abstract

The former Senegalese groundnut basin suffered from physical and socio-economical changes leading to a stronger competition for natural resources. Then, a fast agrarian transition disrupted the traditional Sereer system and questions current systems' sustainability.

Two terroirs were studied, a traditional one that conserved common fallows (Diohine), the other one that adopted livestock fattening practice (Barry Sine). Agricultural systems' sustainability is assessed through multi-scale nutrient balances based on surveys. Participative workshops gathered local fertility management perceptions and dynamics.

Both villages import nitrogen ($25\text{kgN}\cdot\text{ha}^{-1}$ in Barry Sine for $9\text{kgN}\cdot\text{ha}^{-1}$ in Diohine) by means of foodstuff, livestock and concentrates for fattening. Diohine maintains large inter-household flows through rainy season grazing, determined by social status (household nitrogen balance equivalent to $25\text{kgN}\cdot\text{ha}^{-1}$ in Barry Sine for 13 in Diohine). Despite large resort to mineral and organic fertilization in Barry Sine and fallow in Diohine, villages are drawing on soils reserves with similar negative balances ($-23\text{kgN}\cdot\text{ha}^{-1}$ in Barry Sine for $-20\text{kgN}\cdot\text{ha}^{-1}$ in Diohine).

Soils fertility improvement options proposed by the villagers focused on practices' intensification and external support. Nevertheless, innovations and internal funding are considered. In Barry Sine, for example, manure from livestock fattening can be better recycled. This option would increase plot scale nitrogen balance, household and terroir scale nitrogen use efficiency, productivity and incomes.

Keywords : visible multi-scale nitrogen balance, biomass flows, soils fertility, participative workshop, Sereer terroir

Remerciements

Tout d'abord, je souhaite remercier sincèrement les villageois de Barry Sine pour leur accueil chaleureux, leur patience et leur disponibilité. Mon apprentissage aurait été moindre sans leur participation. Je suis tout particulièrement reconnaissante envers Djibril DIOUF, le chef de village et Gnilane DIOP.

Je souhaite également remercier mon maître de stage, Jonathan VAYSSIÈRES, pour l'opportunité qu'il m'a offerte et son soutien afin que je puisse effectuer ce stage. Je suis particulièrement reconnaissante pour la liberté et l'autonomie qu'il m'a déléguées et les conseils qu'il m'a prodigués.

Je remercie l'UMR SELMET et tout particulièrement Philippe LECOMTE, son directeur, pour avoir financé le projet.

Je souhaite remercier Dominique MASSE, directeur de l'équipe du LEMSAT pour son encadrement et l'importance donnée au partage au sein du LEMSAT. Je remercie l'équipe IRD de Niakhar, en particulier Valérie DELAUNAY et Émile NDIAYE, ainsi que Idy FAYE, Fatou FAYE et toute leur famille pour leur collaboration, pour nous avoir facilité l'accès et l'insertion dans le terrain, pour leurs précieux conseils et leur soutien.

Je remercie mon traducteur et conducteur, Seydina Ousmane FAYE pour son aide et le sérieux avec lequel il a considéré le travail effectué.

Je remercie Mamadou Lamine NDIAYE et Ibrahima THIAW les cartographes sans qui l'étude n'aurait pas pu prendre cette dimension spatiale. Je suis reconnaissante pour leur patience et leur sérieux de même que pour le travail consciencieux de Mariana ODRU à Diöhine.

Pour les ateliers participatifs, je souhaite remercier très sincèrement Jérémy BOURGOIN pour ses nombreux conseils dans la préparation des outils de communication et thèmes abordés ainsi que son investissement sur place mais aussi Patrick d'AQUINO pour le matériel fournit et ses précieux conseils. Je n'oublie pas les jeunes villageois francophones pour leur appui lors des ateliers.

Je souhaite également remercier l'équipe du LEMSAT de Bel Air et du PPZS de Hann, en particulier Abdrahmane WANE, son coordonnateur, et Christian CORNIAUX pour leur accueil et pour leur appui logistique.

Merci à tous ceux qui ont pris le temps de relire mon mémoire, en particulier, merci à Mme BISCH, M. DAYDE (mon tuteur de l'École d'Ingénieurs de Purpan) et M. WEZEL. Merci à mes professeurs et camarades de classe Norvégiens et Costa Ricains pour l'inspiration qu'ils m'ont insufflée.

Enfin merci à tous ceux qui ont rendu mon séjour au Sénégal si riche et intéressant tant sur le plan professionnel qu'humain. Merci en particulier aux familles FAYE de Toucar et Diöhine pour le partage, leur gentillesse et leur sagesse.

Je n'oublie pas ma famille pour leur soutien durant ces cinq années et dédie ce mémoire à Lucien AUDOUIN, Eloiç SALMON et Missael ROCHA MOLINA.

SOMMAIRE

SOMMAIRE	IV
Sigles et abréviations	V
Introduction générale	6
PARTIE 1 : La remise en cause du système agrosylvopastoral traditionnel Sereer justifiant l'intérêt de l'étude	7
1 Quel contexte a favorisé l'essor de l'embouche ?	8
2 Un cadre d'étude orienté vers le développement par l'élevage	15
3 Problématique de la zone d'étude n°2	17
PARTIE 2 : La « Soft System methodology » appliquée à l'approche systémique pluri-échelle et aux ateliers participatifs	19
1 Démarche globale	20
2 Le choix du modèle conceptuel	21
3 Construction du guide d'enquête	25
4 Base de données et indicateurs calculés	29
5 Spatialisation des résultats	31
6 Les ateliers participatifs pour explorer les possibilités d'amélioration de la fertilité des sols	32
PARTIE 3 : Résultats	39
1 Structure des villages	41
2 Pratiques et équipements	43
3 Bilans azotés	53
4 Voies d'améliorations et représentations des villageois	62
PARTIE 4 : Discussion et propositions d'amélioration	69
1 Comparaison multi-paramètres avec la littérature	70
2 Impact de la pratique d'embouche sur les résultats	72
3 Faisabilité des améliorations	73
4 Améliorations en termes de méthodologie	77
Conclusion générale	80
Références bibliographiques	82
Glossaire	90
Table des figures	91
Table des tableaux	93
Table des matières	94
Table des annexes	117

Sigles et abréviations

ACP : Analyse en Composantes Principales

ANOVA : ANalysis Of VAriance

CAH : Classification Ascendante Hiérarchique

CIRAD : Centre de coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement

CGIAR : Consultative Group on International Agricultural Research

ECO&SOLS : Écologie fonctionnelle et biogéochimie des Sols et des agro-écosystèmes

ES : Environnement et Sociétés

⁹ : voir la définition dans le glossaire

HJ : Homme Jour

IFPRI : International Food Policy Research Institute

IRD : Institut de Recherche pour le Développement

INRA : Institut National de la Recherche Agronomique

ISRA : Institut Sénégalais de Recherches Agricoles

KBBE: European Knowledge- Based Bio-Economy

LEMSAT : Laboratoire d'Ecologie Microbienne des Sols et Agro Système Tropicaux

MB : Matière Brute

MS : Matière sèche

NPA : Nouvelle Politique Agricole

PIB : Produit Intérieur Brut

PPZS : Pôle Pastoral Zone Sèche

SAU : Surface Agricole Utile

SELMET : Systèmes d'Élevage Méditerranéens et Tropicaux

SIG : Système d'Information Géographique

STT : Surface Totale du Terroir

UBT : Unité Bovin Tropical

UMR : Unité Mixte de Recherche

UN : Unité à Nourrir

UTH : Unité de Travail Humain

Introduction générale

L'agriculture au Sénégal rassemble à elle seule 60% des actifs sénégalais (NGOM, 2006). Cependant le pays ne couvre pas les besoins alimentaires de sa population et une part importante des denrées alimentaires est importée (FAO, 2010). De plus, le « Global Hunger Index » calculé par l'IFPRI (International Food Policy Research Institute) qualifie la situation du Sénégal de « grave » avec 17% de sous-nourris entre 2005 et 2007 (VON GREBMER *et al.*, 2011). La pauvreté touche plus de la moitié de la population et 34% vivent avec moins de 1\$ par jour. Le milieu rural est particulièrement impacté et cette situation tend à se pérenniser (FAO, 2010).

Dans un contexte de croissance démographique forte et d'exode rural (COURTIN et GUENGANT, 2011), les enjeux nationaux majeurs restent la sécurité alimentaire et l'amélioration des conditions de vie des populations rurales en particulier (CIRAD, 2013). En Afrique de l'Ouest (mis à part la zone sahélienne), les systèmes agrosylvopastoraux dominant largement (CIRAD, 2013 ; NGOM, 2006). La durabilité du «vieux bassin arachidier du Sénégal» était basée sur une forte complémentarité mil-bovins (LERICOLLAIS, 1999). Cependant, une déconnexion progressive entre les activités agricoles, sylviculturales et d'élevage s'est instaurée dans la zone (DELAUNAY et LALOU, 2012). Ce phénomène de transition agraire s'explique par une combinaison de mutations environnementales globales et locales telles que le changement climatique, la croissance démographique et la pression foncière croissante (VANDERMEERSCH *et al.*, 2013) qui ont conduit à une réduction de la surface des parcours et donc à une extension de la durée de la transhumance. Or, face au prix croissant des engrais minéraux, le maintien de la fertilité des terres et des rendements culturels est davantage tributaire de la fumure organique animale (SCHLECHT et HIERNAUX, 2004).

Puisque la qualité de vie des populations d'ethnie Sereer dépend principalement des activités d'agriculture et d'élevage, la recherche-développement doit se centrer sur une intensification écologique des systèmes agricoles (VANDERMEERSCH *et al.*, 2013). À la vue des nombreux travaux scientifiques ayant développé des technologies d'intensification écologique mais qui n'ont cependant pas été adoptées par les populations locales (FAO, 2003), il semble incontournable de tenir également compte des pratiques actuelles et des logiques des acteurs guidant ces pratiques pour imaginer les changements de demain (WEZEL et RATH, 2002).

Ainsi, l'objectif de ce stage de fin d'étude est de comparer deux villages aux trajectoires agricoles contrastées de la zone de Niakhar, l'un gardant un fonctionnement relativement traditionnel avec une jachère collective, l'autre développant une activité d'embouche⁹ ce qui traduit des logiques économiques individuelles fortes. La méthode a consisté à construire des bilans de nutriments apparents et pluri-échelles (parcelle, foyer, terroir⁹) afin d'évaluer la durabilité des systèmes agricoles actuels. Ces bilans sont basés sur l'inventaire des flux de biomasse par enquête auprès des agriculteurs en adoptant une approche systémique. Nous tenterons d'explicitier les différences de fonctionnement des terroirs par les différences de perceptions, les règles collectives de gestion des ressources et les stratégies individuelles des acteurs en vue de proposer un certain nombre de voies d'intensification écologique.

Dans un premier temps les trajectoires divergentes adoptées par les deux terroirs seront décrites ; elles nous permettront de mieux cerner l'intérêt d'une comparaison de ces deux terroirs. Le cadre de l'étude nous permettra de mieux situer le projet dans les activités et projets du commanditaire, le CIRAD. Dans un second temps, nous décrirons la méthodologie employée, les concepts et les outils utilisés ainsi que les raisons pour lesquelles nous les avons sélectionnés. Les résultats obtenus compareront, pour les deux villages, les systèmes de productions, les bilans de nutriments, la perception des agriculteurs ainsi que les options qu'ils proposent pour améliorer la fertilité de leurs terres et accroître leurs productions. Enfin, des propositions d'amélioration seront exposées et leur pertinence selon les deux terroirs sera discutée.

**PARTIE 1 : La remise en cause du système agrosylvopastoral
traditionnel Sereer justifiant l'intérêt de l'étude**

1 Quel contexte a favorisé l'essor de l'embouche ?

Les raisons du développement de l'embouche seront traitées en premier lieu, compte tenu des différentes stratégies d'adaptation observées dans la zone de Niakhar. Ces stratégies répondent à l'évolution du vieux bassin arachidier dans la région du Sine. Les facteurs de développement de cette pratique sont d'ordre environnemental, économique et social.

1.1 Les raisons d'ordre environnemental

1.1.1 L'impact de la pression démographique croissante sur le système de culture Sereer

Si en 1961, le Sénégal comptait 3 millions d'habitants, 20 ans plus tard, la population avait déjà doublé atteignant les 6 millions d'habitants. LERICOLLAIS A., spécialiste de la culture Sereer et du bassin arachidier, estimait dans les années 90 que le terroir était dès lors saturé et que la population sénégalaise allait dépasser les 8 millions en 2000. En effet, à l'heure actuelle, elle s'élève à 9,3 millions d'habitants (FAO, 2013) avec une moyenne de 6 enfants par femme (DELAUNAY et LALOU, 2012). S'il est vrai que Dakar a absorbé une part importante de cette croissance démographique, le milieu rural et la zone étudiée en particulier ont suivi la tendance nationale en passant de 100 habitants/km² en 1963 à 200 habitants/km² en 2009 (Figure 1) (COURTIN et GUENGANT, 2011)¹.

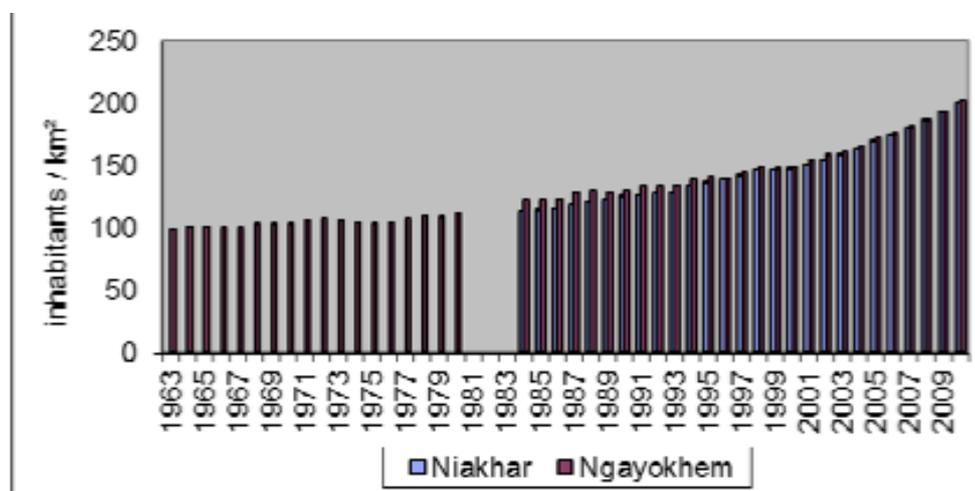


Figure 1 : Évolution de la densité de population dans la zone de Ngayokhem et dans la zone de Niakhar entre 1963 et 2009

Source : DELAUNAY et LALOU, 2012

Cette augmentation de la pression démographique entraîne une extension des zones cultivées afin de répondre aux besoins alimentaires de la population. En effet, seuls les sols *dior^g* et *deck-dior^g* étaient cultivés traditionnellement alors que désormais, les systèmes de culture se sont étendus aux sols *deck^g* moins malléables (JOUVE, 2001 ; REIFF et GROS, 2004). L'extension de la surface agricole s'est soldée par une baisse de la superficie des forêts et des jachères (BADIANE, 2006 ; BECKER, 1984 ; DELAUNAY et LALOU, 2012 ; JOUVE, 2001 ; LALOU et GRÉMONT, 2012 ; LERICOLLAIS 1999 ; REIFF et GROS, 2004).

¹ données issues de la station IRD de Niakhar, le plus ancien système de surveillance sanitaire et démographique d'Afrique. Son implantation remonte à 1962 et fournit un suivi régulier de l'évolution démographique de la zone en plus de ses recherches sur les changements sociétaux et agricoles (IRD, 2013)

1.1.2 Une forte compétition entre les besoins humains et ceux du bétail

Le bassin arachidier présente l'une des plus grandes densités animales de la zone sahélo-soudanaise de l'Afrique de l'Ouest (BADIANE, 2006). Dès 1959, elle dépassait sa capacité théorique d'accueil des troupeaux bovins, estimée à 8 vaches/ha (LERICOLLAIS et FAYE, 1994) et a poursuivi sa croissance suivant le modèle démographique (COURTIN et GUENGANT, 2011). Ces effectifs de bétail ont nécessité de plus grandes ressources fourragères.

La strate arborée constituait dans le système traditionnel un élément essentiel de l'alimentation du bétail en période de soudure⁹ animale (COURTIN et GUENGANT, 2011 ; FALL-TOURÉ *et al.*, 1997). L'*Acacia albida* a un rôle prédominant dans l'alimentation animale grâce à son cycle phénologique inversé. En effet, il perd ses feuilles en saison des pluies et fournit du fourrage en saison sèche et ainsi, n'entre pas en compétition avec l'agriculture pour la photosynthèse (FALL-TOURÉ *et al.*, 1997).

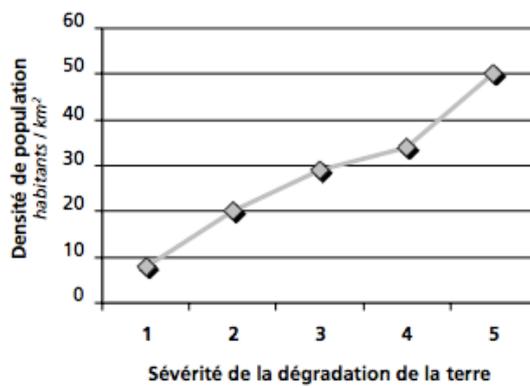
Cependant, cette ressource s'amenuise du fait de la surexploitation des arbres mûres pour la production énergétique et de la destruction des jeunes plants par les équipements agricoles. En conséquence, la durée de la transhumance s'est allongée puisque le terroir ne pouvait plus accueillir les troupeaux dans les jachères lors de la saison des pluies dont les surfaces ont été réquisitionnées pour les cultures vivrières (BADIANE, 2006 ; DIA *et al.*, 1999 ; GARIN *et al.*, 1990 ; LALOU et GRÉMONT, 2012 ; LERICOLLAIS et FAYE, 1994). L'éloignement des troupeaux réduit la disponibilité de la seconde ressource énergétique des foyers après le bois : les bouses sèches utilisées comme combustible pour l'élaboration des repas. Le besoin accru en bois de feu a ainsi augmenté la pression sur la strate arborée (BADIANE, 2006 ; DIA *et al.*, 1999 ; GARIN *et al.*, 1990 ; LERICOLLAIS, 1999 ; REIFF et GROS, 2004).

De nombreux programmes se sont développés autour du reboisement en installant des pépinières villageoises dans la zone de Niakhar mais ont été abandonnés par la suite (NGOM, 2006).

1.1.3 Épuisement des sols

La dissociation de l'élevage, des cultures et du parc arboré a sévèrement impacté la fertilité des sols, de pauvres conditions physiques et chimiques à la base (SCHLECHT *et al.*, 2006). L'*Acacia albida* est un facteur principal des transferts verticaux de biomasse (LERICOLLAIS, 1999) tandis que le bétail génère des flux de biomasse horizontaux. La diminution quantitative de fumure a été aggravée par l'érosion éolienne due à l'exposition des sols nus (suscitée par le ramassage des pailles pour l'alimentation du bétail en période de soudure). Sa diminution qualitative s'explique par le fait que le fumier était traditionnellement amélioré par l'ingestion d'*Acacia albida* dont l'usage dans les rations animales a diminué (FALL-TOURÉ *et al.*, 1997 ; LERICOLLAIS, 1999 ; RABOT, 1990 ; SIDIBÉ, 1978).

Finalement, la qualité des sols s'est détériorée par l'intensification agricole afin d'assurer les besoins vivriers des populations locales et par le biais d'un accès facilité aux machines agricoles pour développer la culture de rente avec le soutien de l'Etat. Elle s'est notamment traduite par la conversion de la jachère en arachide dans les rotations (JOUVE, 2001) (Figure 2).



Sévérité de la dégradation de la terre: 1 = non dégradée; 2 = légère; 3 = modérée; 4 = sévère; 5 = très sévère

Figure 2 : Sévérité de la dégradation des sols et densité de population en Afrique subsaharienne

Source : FAO, 2003

L'appauvrissement des sols a participé à la baisse des rendements (JOUVE, 2001) mais n'a pas été le seul facteur aggravant.

1.1.4 La pression démographique accentuée par des problèmes hydriques

La baisse des rendements est également liée à la baisse de la pluviosité dans les années 80. En effet, l'ancien bassin arachidier est passé de 600mm à 400mm de précipitations annuelles en 50 ans (BADIANE, 2006). Puisque le système de culture dominant est pluvial (Annexe 1), cette transition a provoqué une fragilisation de la production végétale au nord. On observe par ailleurs un déplacement de l'isohyète⁹ «400mm» de 100 km vers le sud entre 1930 et 1990 générant une translation du bassin arachidier (Figure 3).

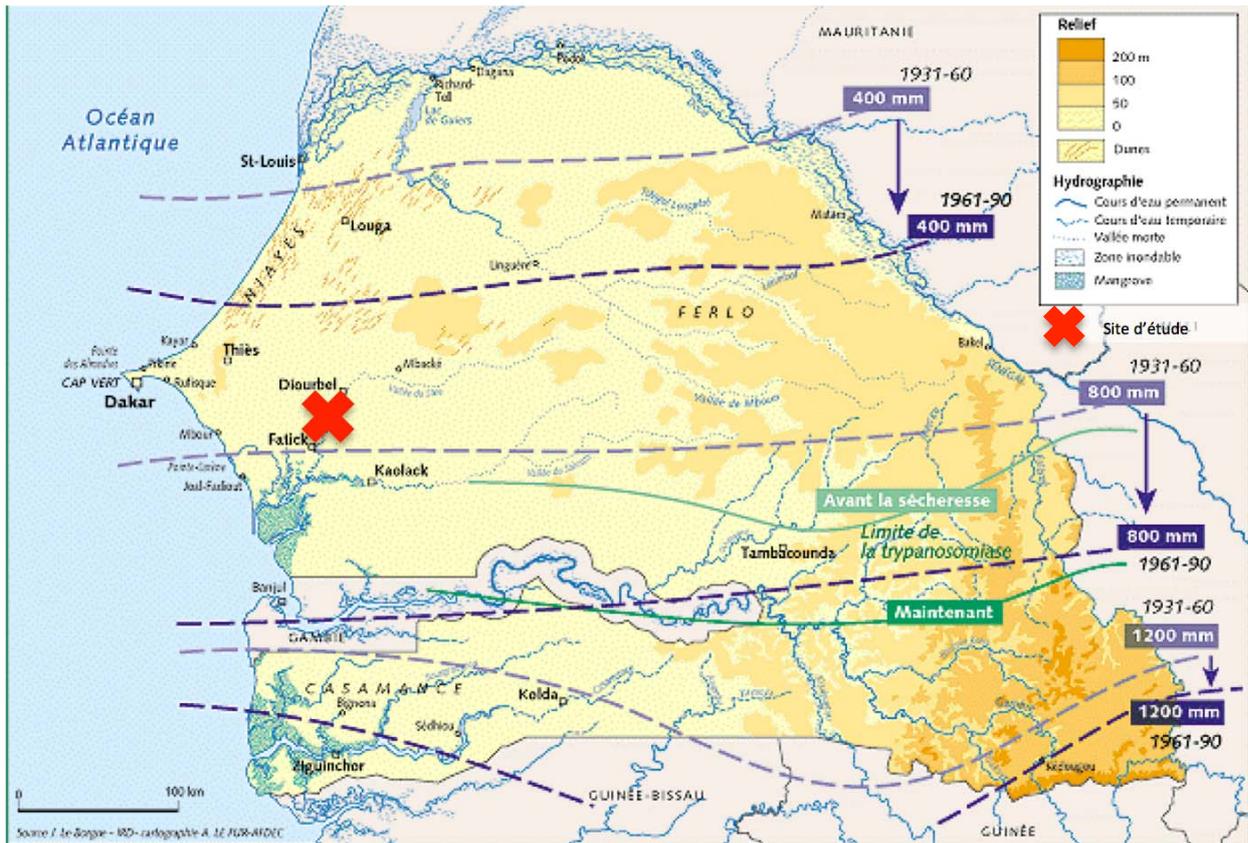


Figure 3 : Translation des isohyètes pendant la période de sécheresse de 1961-1990 en référence à la période de 1931-1960

Source : CORMIER *et al.*, 2000

Cette évolution climatique a impacté à la fois la sécurité alimentaire et l'atelier d'élevage par la raréfaction des fourrages, ce qui a amplifié les besoins en superficie pour les productions vivrières (BADIANE, 2006 ; BULDGEN *et al.*, 1992).

En plus de la quantité, la production agricole dépend également de la qualité de l'eau. La zone de Niakhar, présente une salinité très élevée pouvant atteindre 0,5 à 3g de sel par litre dans les bas-fonds (BADIANE, 2006). Les nappes les plus superficielles, de 10 à 35 mètres de profondeur, sont saumâtres voire salées. Des aménagements coûteux sont nécessaires chaque année pour accéder à l'eau douce (NGOM, 2006).

Certains terroirs⁹ villageois présentent une salinité plus élevée, ce qui limite leur activité maraîchère (BADIANE, 2006 ; DIA *et al.*, 1999 ; NGOM, 2006). Ainsi une part d'entre eux développent d'autres activités rémunératrices durant la saison sèche et mettent ainsi à profit la main d'œuvre disponible à cette période de l'année (LERICOLLAIS et FAYE, 1994).

Face au défi de conjuguer les besoins alimentaires croissants avec l'appauvrissement des sols et avec les contraintes climatiques changeantes sur une surface agricole limitée, l'embouche a été perçue comme une solution possible dans certains villages. En effet, elle n'entre pas en compétition avec les cultures vivrières puisque les animaux sont gardés au sein de la concession durant toute la période d'engraissement. Leur alimentation est basée sur les résidus de récolte pour les fourrages et sur des aliments importés (tels que le son de riz, le son de mil, et l'«aliment bétail»²). Contrairement aux troupeaux traditionnels⁹ et transhumants⁹, l'embouche est moins tributaire de la strate arborée. Cette activité est donc moins soumise aux aléas climatiques (LERICOLLAIS, 1999). Étant donné que les engrais minéraux sont peu accessibles économiquement (SCHLECHT *et al.*, 2006) et que le fumier des troupeaux transhumants se raréfie du fait du raccourcissement de leur temps de présence dans le terroir, l'embouche s'est présentée comme l'opportunité de réintroduire des sources de fumure dans les villages sans nécessiter de surfaces supplémentaires.

1.2 Des raisons d'ordre socio-politique

L'utilisation des sols et les pratiques agricoles n'ont pas uniquement été modelées par les conditions environnementales mais aussi par les politiques sénégalaises.

1.2.1 Des politiques défavorables au système traditionnel

Le déclin des jachères n'a pas seulement été le résultat des besoins croissants en surfaces vivrières mais aussi de la législation. En 1964, la loi sur le Domaine National établit qu'une terre doit être exploitée dans les 2 ans. Dans le cas contraire, sa propriété est réattribuée par la Communauté Rurale. Ainsi, de nombreuses jachères ont été mises en culture par peur de perdre la propriété de la terre (GARIN *et al.*, 1990 ; LALOU et GRÉMONT, 2012 ; REIFF et GROS, 2004).

Le bassin arachidier a longtemps été très encadré par l'État et les institutions internationales. Le centre ISRA de Bambey, créé en 1921 à proximité de la zone d'étude, accueillait de nombreux centres de recherche en provenance d'autres pays et en particulier d'origine française compte tenu du passé colonial du pays. À cette époque, un nombre conséquent de programmes de recherche se sont développés autour de la culture de l'arachide.

Depuis 1967, L'État démarra un processus de désengagement du secteur agricole en annulant les prix préférentiels (LERICOLLAIS, 1999). En 1978, l'approvisionnement en semences cessa et en 1980 les coopératives furent dissoutes (REIFF et GROS, 2004). Dès lors, l'encadrement institutionnel, l'accompagnement des agriculteurs et des éleveurs

² terme utilisé par les enquêtes qui désigne un concentré composé notamment de maïs, tourteau d'arachide, mélasse de canne

ainsi que l'apport financier des ONG régressèrent (NGOM, 2006 ; REIFF et GROS, 2004). Le centre de Bambey est désormais beaucoup moins actif que par le passé. Les habitants de la région du Sine ont donc dû trouver par eux mêmes des alternatives à cette transition agraire impulsée par les autorités politiques.

À l'échelle nationale, l'État impacta également les activités d'élevage. Entre 1960 et 1995, la disponibilité de viande *per capita* est passée de 20 à 10kg puisque l'augmentation de la production n'a pas su compenser la croissance démographique. L'importation de viande ne permet pas non plus de répondre à la demande croissante puisqu'elle a été divisée par quatre entre 1992 et 1994. Le pays orienta ses politiques vers une intensification de la filière viande afin d'atteindre un objectif de 13kg *per capita* en 2000 (FALL-TOURÉ *et al.*, 1997). Cette incitation politique a pu être suivie en milieu Sereer indirectement grâce à des projets de développement. En effet, en 1970, une société d'encadrement, qui souhaitait développer la traction bovine, a introduit des bœufs dans le vieux bassin arachidier. Cependant leur usage a été détourné pour l'embouche. La pratique s'est alors pérennisée et étendue (GARIN *et al.*, 1990).

Les politiques n'auraient cependant pas pu impacter l'agriculture sans changements sociaux adjacents.

1.2.2 De la culture Sereer à l'islamisation

La culture Sereer confère une valeur spirituelle au troupeau transhumant considéré comme un indicateur social majeur. Il s'agit d'un bien d'accumulation sacré destiné à la capitalisation sur pied et qui ne se commercialise qu'en dernier recours. Il ponctue les étapes de la vie Sereer comme dot pour la mariée et comme sacrifice lors des unions, des baptêmes, de la circoncision et des enterrements. Le lait était un bien d'hospitalité offert aux invités lorsque les troupeaux restaient dans les jachères en saison des pluies (BADIANE, 2006 ; LERICOLLAIS et FAYE, 1994).

L'extension de l'islam au Sénégal, désormais adopté par 76,5% de ses habitants a apporté la notion de commerce et plus particulièrement dans le cadre de l'élevage ovin. En effet, pour les fêtes religieuses et en particulier dans le cas de la Tabaski (connue comme l'Aïd El Khebir dans le reste de l'Afrique de l'Ouest) chaque famille musulmane doit se munir d'un mouton. La pratique d'embouche est ainsi amplifiée dans les deux mois précédent cet événement (BULDGEN *et al.*, 1992 ; NGOM, 2006 ; REIFF et GROS, 2004).

Aux côtés des pratiques sociales de l'embouche, de nouvelles stratégies commerciales à l'échelle individuelle se sont développées et ont impacté la gestion communautaire du terroir.

1.2.3 Vers une individualisation des ménages

L'organisation sociale traditionnelle des villages, contrainte par les changements de son environnement explique en partie le choix de l'embouche comme activité commerciale.

Historiquement, les Sereers se regroupent dans le village par concession. Chaque concession, délimitée par une palissade, est dirigée par le chef de concession. Au sein d'une concession peuvent se regrouper plusieurs ménages, aussi appelés foyers ou cuisines puisqu'ils partagent leur repas quotidien. Chaque foyer rassemble le chef de ménage, ses femmes, ses enfants et parfois d'autres membres de la famille tels que les neveux, les cousins, la mère ou les sœurs (REIFF et GROS, 2004).

Depuis le développement de la culture de rente, une certaine individualisation de la société Sereer a vu le jour. Avec l'essor de l'arachide les échanges se sont monétarisés, les jeunes hommes et les femmes ont accédé à des revenus indépendants en cultivant leurs propres parcelles (JOUVE, 2001). Depuis 1967, le commerce de l'arachide décline, de nombreux ménages se divisent en familles nucléaires (NGOM, 2006) réduisant ainsi la surface agricole utile (SAU) de chaque foyer et multipliant les

tensions autour de la gestion des biens communs. Cette individualisation des pratiques s'est traduite par la disparition progressive de certaines règles traditionnelles. Par exemple, la fertilisation est passée de l'état collectif avec la vaine pâture⁹ des troupeaux transhumants à l'état individuel (par l'utilisation des engrais minéraux). La transmission du troupeau de l'oncle au neveu est abandonnée (BADIANE, 2006). Les éleveurs transhumants sont peu à peu exclus du système agraire Sereer avec l'apparition de couloirs de circulation du bétail (JOUVE, 2001).

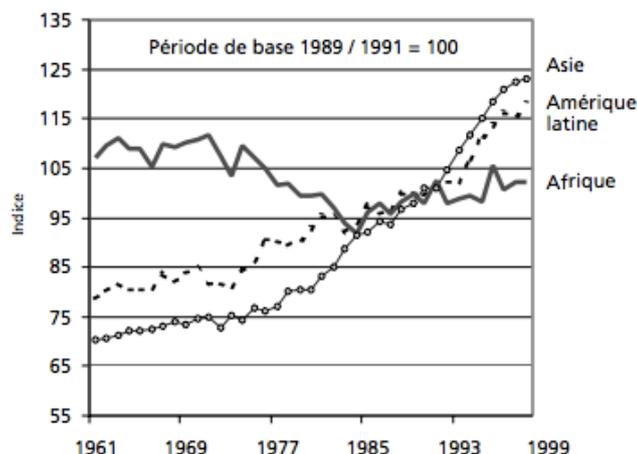
Cette individualisation des ménages a favorisé le développement de la pratique commerciale de l'embouche. Elle permet de générer des plus-values très intéressantes pour les foyers contrairement aux troupeaux transhumants qui appartiennent généralement au matrilineage ou à la concession (et non au foyer) et dont la vente est socialement proscrite.

1.3 Des raisons d'ordre économique

L'individualisation des ménages répondit à des besoins monétaires croissants. En effet, si la surface agricole a augmenté de 15% en 20 ans, la population rurale pour sa part a augmenté de 50% ce qui conduit le système à s'ouvrir à l'importation de produits végétaux (LERICOLLAIS, 1999).

1.3.1 L'ouverture du système

Le régime alimentaire des sénégalais a beaucoup évolué. Précédemment basé sur le mil et le sorgho, l'autosuffisance du système régresse avec la culture de l'arachide pour l'exportation. L'augmentation des superficies dédiées à l'arachide a dû être compensée par de fortes importations alimentaires. La population est désormais dépendante du blé et des brisures de riz, aliments qui sont désormais bien ancrés dans les habitudes alimentaires et la culture sénégalaises comme l'indique le plat national : le ceebu dien (FAO, 2010). Ce nouveau régime alimentaire crée une demande complètement déconnectée de l'offre locale (LERICOLLAIS, 1999). En conséquence, le riz est importé d'Asie dont l'essor de sa production agricole *per capita* est considérable comparé au continent africain (Figure 4).



Source: FAO, Service d'Analyse Statistique, 2000

Figure 4 : Tendances régionales de la production alimentaire par habitant de 1961 à 1999

Source : FAO, 2003

Il est important de signaler que les nouvelles habitudes alimentaires créent un besoin de génération de liquidité pour l'achat de ces denrées (LERICOLLAIS, 1999 ; NGOM, 2006), d'autant plus qu'elles sont très sujettes à la volatilité des cours mondiaux (FAO, 2010).

1.3.2 Un attrait économique majeur facilité par une position stratégique des terroirs étudiés

L'embouche, pratiquée depuis 50 ans, est avant tout une activité très intéressante financièrement puisqu'elle représente la 1^{ère} source de revenu des foyers de la zone de Niakhar (LALOU et GRÉMONT, 2012 ; VANDERMEERSCH *et al.*, 2013). Elle permet un retour rapide sur investissements (LERICOLLAIS, 1999).

Le développement de l'embouche s'est vu favorisé par la position stratégique du bassin arachidier qui facilite son activité commerciale. La zone d'étude est située entre deux grands centres urbains (Bambey et Fatick) et permet à ses habitants d'accéder à de nombreux marchés hebdomadaires : Bambey, Diourbel, Sandiara, Niakhar, Fatick, Diahine, Patar, Mbfaye, Dara Djolof et Toucar (BADIANE, 2006) (Figure 5).

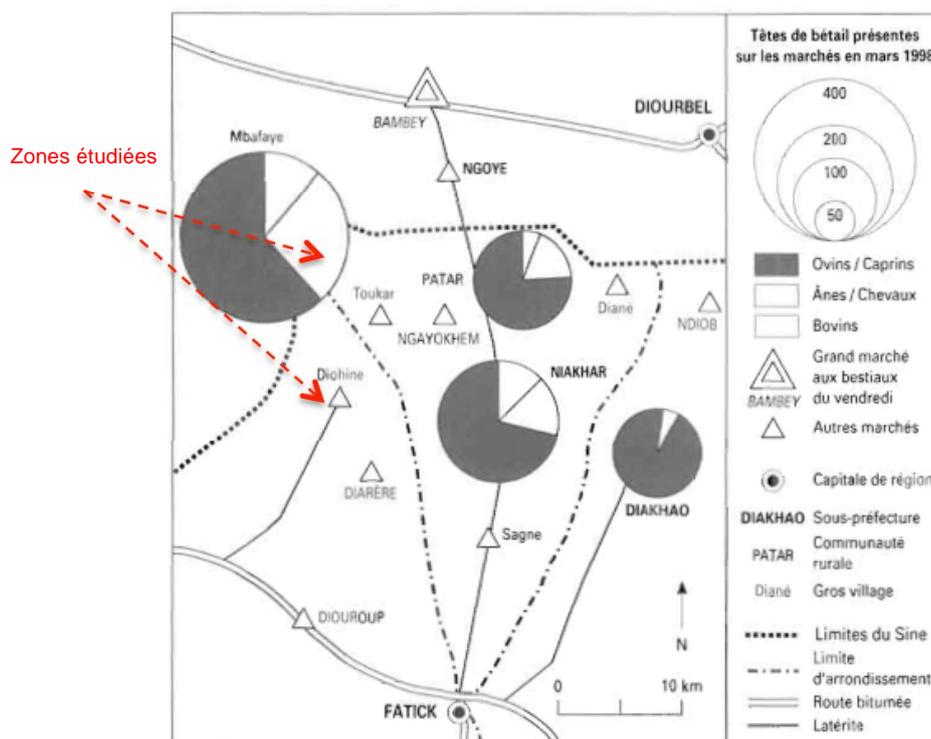


Figure 5 : Les marchés hebdomadaires du Sine pour la vente de bétail en 1998

Source : d'après LERICOLLAIS, 1999

La zone bénéficie d'infrastructures de transport relativement élevées avec le bitumage des axes Fatick-Niakhar, Niakhar-Bambey et Diahine-Keur-Martin (NGOM, 2006) qui permettent des voyages quotidiens entre la zone de Niakhar et Dakar. Par ailleurs, les villages sont à proximité du principal axe de transport du bétail de Mauritanie vers Dakar et peut donc bénéficier de ce réseau pour la vente de ses animaux.

1.3.3 Des investissements possibles grâce à la migration

Même si l'embouche nécessite de hauts investissements initiaux, l'emplacement des terroirs étudiés a également favorisé l'achat d'animaux à engraisser par le biais de la migration. La mobilité des Sereers (au second rang après les Peuls) a été d'autant plus prononcée par la translation des isohyètes (CORMIER *et al.*, 2000), facteur de réduction de la biomasse (BADIANE, 2006). Pour faire face à l'insécurité alimentaire, les jeunes de la zone travaillent à Dakar une partie de l'année (FAO, 2010). Ils envoient alors une grande partie de leurs revenus dans leur village natal. Ces fonds aident à l'achat d'animaux et de concentrés pour l'embouche (DIA *et al.*, 1999 ; NGOM, 2006).

2 Un cadre d'étude orienté vers le développement par l'élevage

L'essor de l'embouche dans la zone de Niakhar fournit au CIRAD (Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement) un cas d'étude particulièrement intéressant par sa dynamique locale d'innovation associant l'agriculture et l'élevage.

2.1 Le PPZS (Pôle Pastoral Zone Sèche) au sein du CIRAD

Le CIRAD est un établissement public à caractère industriel et commercial. Il est implanté dans plus de 90 pays et rassemble 1800 agents dont 800 chercheurs. Il est placé sous la tutelle du Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche et du Ministère des affaires étrangères et européennes (CIRAD, 2009b).

Ses missions consistent à produire et transmettre de nouvelles connaissances pour le développement agricole dans les pays du Sud ce qui lui permet par ailleurs de participer aux débats sur les enjeux agronomiques actuels et à venir. Ses activités de recherche se développent autour de 4 axes majeurs : la sécurité alimentaire, la pauvreté, les inégalités et la gestion des ressources naturelles. Le CIRAD est divisé en trois départements scientifiques : «Systèmes biologiques» (Bios), «Performance des systèmes de production et de transformation tropicaux» (Persyst) et «Environnement et sociétés» (ES) (CIRAD, 2009b).

Le projet décrit dans ce mémoire s'inscrit dans le département scientifique Environnement et Sociétés (ES) qui s'intéresse au lien entre l'agriculture, la gestion des ressources, les dynamiques sociales et les politiques publiques. La coordination entre acteurs et les processus d'innovation sont notamment évalués grâce à des outils tels que l'approche territoriale et les enquêtes de terrain. Ce département scientifique est divisé en 11 unités mixtes de recherche (UMR) (CIRAD, 2009a) dont le SELMET (Systèmes d'Élevage Méditerranéens et Tropicaux) qui a encadré ce stage. Sa principale préoccupation est d'étudier les possibles intensifications écologiques par le biais de l'élevage (CIRAD, 2012a).

Le Pôle Pastoral Zone Sèche (PPZS) est basé à Dakar et travaille en proche collaboration avec l'ISRA (Institut Sénégalais de Recherches Agricoles). Ses activités de recherche visent l'amélioration de la gestion des ressources pastorales, des performances économiques et des conditions de vie des producteurs (CIRAD, 2012b).

Le stage s'est déroulé dans les locaux de l'IRD (Institut de Recherche pour le Développement) et de l'ISRA au sein du LEMSAT (Laboratoire d'Ecologie Microbienne des Sols et Agro Système Tropicaux). La structure a été créée et est coordonnée par des chercheurs de l'IRD de l'UMR ECO&SOLS (Écologie fonctionnelle et biogéochimie des Sols et des agro-écosystèmes). Des chercheurs du CIRAD (dont Jonathan VAYSSIÈRES le maître de stage) sont également accueillis au sein du LEMSAT dans le cadre d'un partenariat IRD-CIRAD et de ses collaborations scientifiques avec l'UMR ECO&SOLS.

2.2 Le projet de financement « AnimalChange » et Cerao

Le projet européen KBBE (European Knowledge-Based Bio-Economy) AnimalChange (An Integration of Mitigation and Adaptation Options for Sustainable Livestock Production under Climate Change) qui finance cette étude a pour principal objectif l'étude des interactions entre l'élevage et le changement climatique à différentes échelles. Il élabore des modèles et des outils pour le développement d'un élevage plus durable (ANIMALCHANGE, 2011).

Ce stage s'inscrit également dans le cadre des activités du projet ANR Cerao (même si ce dernier n'a pas financé cette étude). Ce projet (2014-2017) étudie l'adaptation des agroécosystèmes face aux changements globaux. Sa finalité porte sur l'intensification écologique des systèmes mixtes céréales-élevage dans les zones de

savane de l'Afrique de l'ouest. Il associe des chercheurs de l'IRD, du CIRAD, de l'INRA (Institut National de la Recherche Agronomique), de l'ISRA et de l'UCAD (Université Cheikh Anta Diop) (ANR, 2013).

2.3 Les sites d'intervention : Haute Casamance, bassin arachidier et Ferlo

Les sites d'intervention du CIRAD UMR SELMET ont été sélectionnés afin de couvrir la diversité des systèmes agricoles rencontrés au Sénégal et d'observer un gradient écologique. Ainsi la première étude s'est déroulée aux alentours de Kolda en zone climatique soudanienne. Les deux suivantes (décrites dans ce mémoire) se situent entre Fatick et Diourbel en zone climatique soudano-sahélienne. Enfin, une troisième étude de ce type est en cours dans la zone du Ferlo en zone climatique sahélienne (Figure 6).

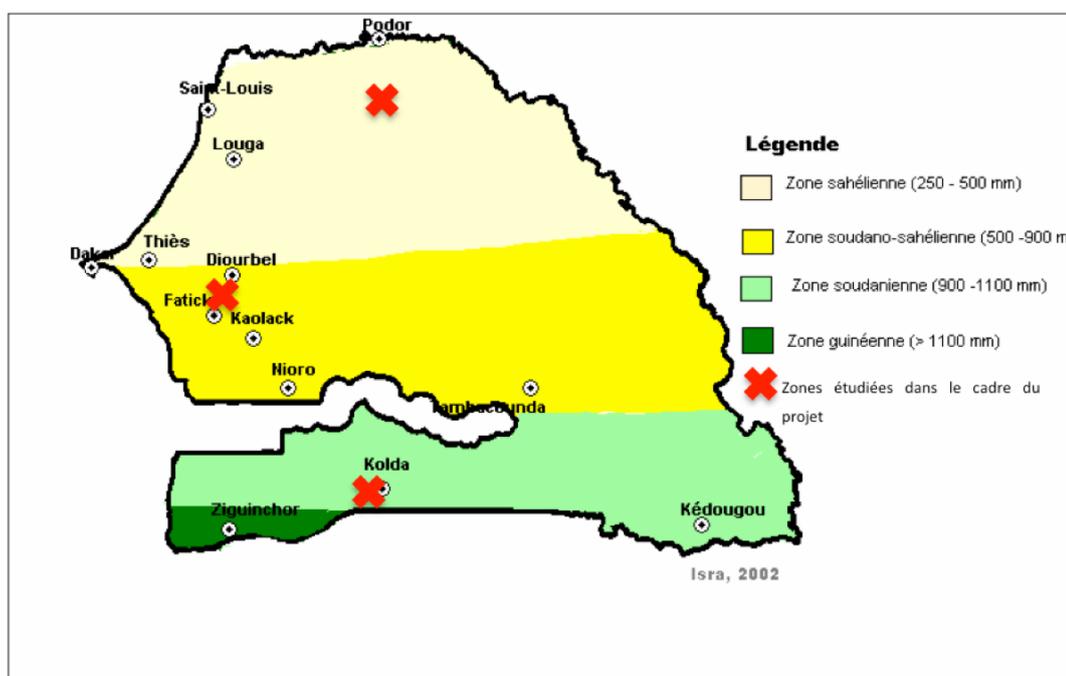


Figure 6 : Localisation des 3 principaux sites d'intervention du CIRAD UMR SELMET sélectionnés selon un zonage climatique

Source : d'après CISSE et HALL, 2002

En plus de la diversité climatique, les sites d'intervention divergent par leurs pratiques agricoles. Le site de Kolda présente un système agraire assez proche du modèle traditionnel basé sur un transfert de fertilité des parcours vers les cultures orchestré par les troupeaux (MANLAY, 2001). Le deuxième site d'intervention, situé entre Fatick et Diourbel dans le bassin arachidier, est plus proche de Dakar et de Thiès. Il a donc connu une transition agraire plus rapide et plus importante avec une disparition progressive de l'élevage mobile extensif. Dans certains terroirs villageois de ce second site, un élevage intensif nourri à l'auge et peu mobile s'est développé récemment. Enfin, la troisième zone d'intervention, le Ferlo, est caractérisée par un système agraire spécialisé dans l'élevage pastoral compte-tenu des très fortes contraintes climatiques de la zone sahélienne.

Les zones 2 et 3 sont complémentaires en termes d'activités d'élevage. Elles présentent un modèle de fonctionnement de type source/puit pour la biomasse animale. En effet, le Ferlo est la zone de reproduction et de naissance du bétail privilégiée et le bassin arachidier est le lieu d'engraissement d'une partie des animaux du Ferlo en vue de fournir les marchés des grandes villes du Sénégal. De plus le parcours des troupeaux

transhumants se répartit entre le bassin arachidier et le Ferlo selon les saisons et leur disponibilité respective en biomasse végétale.

L'étude de chacune des zones et de leurs systèmes d'élevage distincts, est donc une phase nécessaire à la compréhension de leurs différences de fonctionnement, de leurs interrelations ainsi que de leurs durabilités respectives.

3 Problématique de la zone d'étude n°2

Le bassin arachidier a connu une transition agraire rapide et importante depuis les années 1960 (LERICOLLAIS, 1999). Comme évoqué précédemment, les évolutions ont été guidées par des mutations de l'environnement physique, social et économique. Dans la zone d'intervention du CIRAD, deux terroirs villageois différents ont été étudiés pour leurs réactions distinctes face à un même environnement changeant. Il s'agit de Diohine³ et de Barry Sine. À Diohine, la jachère traditionnelle villageoise a été conservée, permettant le maintien au long de l'année d'un élevage relativement traditionnel extensif basé sur la divagation et la valorisation des ressources locales. À l'inverse, à Barry Sine la jachère est quasiment absente et les habitants pratiquent très majoritairement l'embouche en contre-saison culturale (80% des concessions contre 12% seulement à Diohine) (Figure 7).

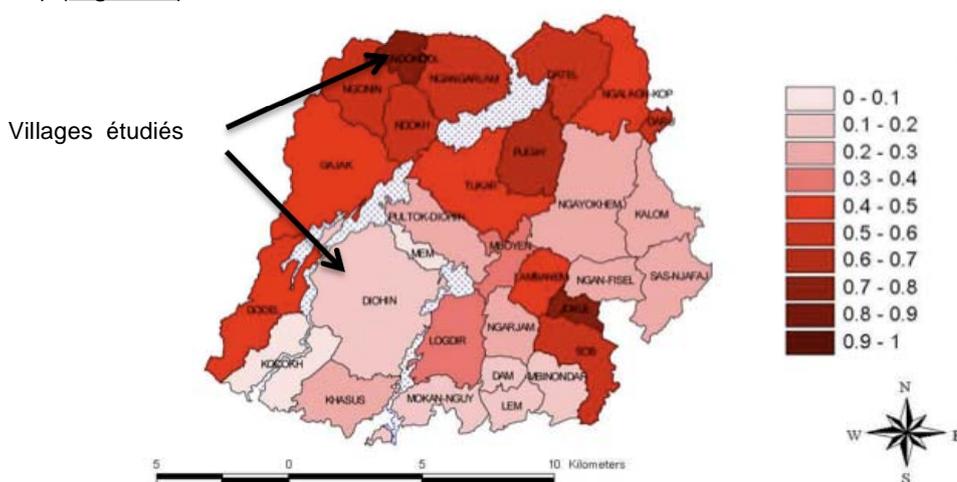


Figure 7 : Fréquence des concessions pratiquant l'embouche en 2012 dans les différents terroirs de l'observatoire démographique IRD de Niakhar

Source : DELAUNAY et LALOU, 2012

D'un point de vue biophysique, la baisse passée des précipitations, l'épuisement des sols par intensification agricole, la disparition progressive des parcours et des jachères (GARIN *et al.*, 1990 ; LALOU et GRÉMONT, 2012 ; NGOM, 2006 ; REIFF ET GROS, 2004) ont accéléré les tensions autour des ressources locales et fourragères en particulier. En effet, les troupeaux, en plus de leur fonction sociale essentielle, assurent la fumure organique de la sole en vue d'assurer les récoltes en mil de l'année suivante. La transhumance réduit la sole bénéficiant de cette fumure organique, augmente la présence d'adventices (comme le *Striga hermonthica*) et accroît l'érosion éolienne. L'embouche a donc été l'opportunité de maintenir une activité d'élevage dans un terroir aux ressources locales limitées par la mobilisation de ressources extérieures au terroir (aliments concentrés importés) (Annexe 2).

D'un point de vue social, le développement de l'embouche s'est vu favorisé par l'islamisation (98,1% des habitants à Barry Sine pour 40,8% dans le quartier de Sassem à

³ assimilé ici au quartier Sassem pour considérer un même nombre de concessions qu'à Barry Sine. Ce quartier agricole a la particularité de posséder des parcelles adjacentes du centre du village jusqu'au bas-fond

Diohine (IRD 2013)) qui a introduit l'élevage ovin à des fins rituelles et commerciales dans les mœurs. Par ailleurs, l'individualisation des ménages, l'augmentation de la pression démographique et les changements d'habitudes alimentaires qui s'orientent vers l'import de denrées ont accru les besoins monétaires des ménages.

Finalement d'un point de vue économique, le déclin de l'arachide, causé par le désengagement étatique de la production agricole, n'a pas été compensé par le développement de la culture maraîchère en contre-saison à Barry Sine (du fait de la forte salinité des sols qui empêche l'irrigation). L'activité d'embouche a donc permis de créer une nouvelle activité rémunératrice dans ce contexte à Barry Sine. Même si cette activité suppose des investissements de départ importants (achat d'animaux à engraisser) et des besoins en trésorerie réguliers (achat de concentrés alimentaires), ce village a pu dépasser cette contrainte grâce une part importante de jeunes vivants à Dakar qui retournent une partie de leur salaire dans leur village natal. Par ailleurs, la zone est idéalement placée pour profiter de l'offre et répondre à la demande des marchés locaux de bétail connectés aux grandes villes sénégalaises de Dakar et de Thiès.

Dans un contexte de croissance démographique, de changement climatique, de mondialisation des marchés, de détérioration de l'environnement et face à l'insécurité alimentaire du pays, il apparaît primordial d'orienter les activités de recherche-développement vers l'exploration des voies d'intensification des productions agricoles. À une échelle plus locale, les populations doivent également faire face à la dégradation des sols, la stagnation des rendements culturels, le bouleversement de la gestion de la fertilité par le recul progressif des troupeaux de bovins extensifs dans le bassin arachidier. Il est alors pertinent de se demander comment les différentes stratégies agricoles adoptées par les villages de Barry Sine et de Diohine impactent la durabilité environnementale du terroir. Il est donc approprié de questionner aujourd'hui l'intérêt de i) maintenir un système relativement traditionnel adapté aux nouvelles contraintes environnementales (cas de Diohine) et de ii) favoriser l'essor de nouveaux modes de gestion de la fertilité articulés autour de l'embouche (cas de Barry Sine). Ces modes de gestion divergeant impactent les flux de biomasse et de nutriments de manière différente selon l'échelle d'analyse : la parcelle, le ménage et le terroir. L'analyse des flux de biomasse et de nutriments à chacune de ces échelles renseigne à la fois sur le fonctionnement et la durabilité des systèmes et sous-systèmes étudiés (ROY *et al.*, 2005). Autrement dit, nous nous pencherons sur les effets de l'ouverture du système ou de la conservation d'un modèle plus traditionnel vis-à-vis de leur bilan de nutriments selon trois échelles et par une approche systémique.

Afin d'envisager le futur agricole de l'ancien bassin arachidier, il est primordial de s'intéresser à la perception des acteurs vis-à-vis de l'évolution de la fertilité des sols du terroir. Leur propre connaissance du terroir nous amène à nous intéresser aux dynamiques d'évolution des pratiques de gestion de cette fertilité développées pour accroître la production de leurs terroirs. À cet effet, un regard croisé distinguant les deux terroirs (Barry Sine et Diohine) et le genre (hommes et femmes) sera nécessaire pour tenir compte des différences de statuts sociaux, de rôles au sein du ménage et dans les activités agricoles. Leurs propositions seront alors étudiées afin d'en révéler la faisabilité et leur intérêt environnemental, social et économique.

Afin de répondre à cette problématique nous avons fixé un certain nombre de missions. Les concepts et outils utilisés pour répondre à ces missions sont expliqués dans la partie suivante.

PARTIE 2 : La « Soft System methodology » appliquée à l'approche systémique pluri-échelle et aux ateliers participatifs

1 Démarche globale

Afin d'étudier les bilans de fertilité aux différentes échelles et d'envisager les voies d'amélioration de la gestion de la fertilité des sols, pour pérenniser les systèmes agraires locaux et améliorer la sécurité alimentaire locale, les missions de ce projet ont consisté à :

- Mission 1 : Récolter les données quantitatives nécessaires à l'élaboration d'un bilan des flux de biomasse et d'azote à l'échelle de la parcelle, du foyer et du terroir pour le village de Barry Sine (un travail similaire ayant déjà été réalisé pour Diöhine dans le cadre d'un autre stage)
- Mission 2 : Traiter les données de Barry Sine sous la forme d'un bilan apparent de l'azote aux 3 échelles (un travail similaire ayant déjà été réalisé pour Diöhine dans le cadre d'un autre stage)
- Mission 3 : Comparer les bilans de flux de biomasse et d'azote obtenus pour les villages de Barry Sine et de Diöhine
- Mission 4 : Restituer les résultats de ces bilans pluri-échelles, capter la perception qualitative de chaque terroir et collecter les voies d'amélioration envisagées par les acteurs de chacun des deux terroirs
- Mission 5 : Analyser les perceptions des hommes et des femmes dans chacun des deux terroirs vis à vis de la gestion actuelle et future de la fertilité des terres (avec comparaison inter-terroir et inter-genre des perceptions des agriculteurs).

La méthodologie utilisée pour répondre à ces missions est explicitée dans la figure suivante.

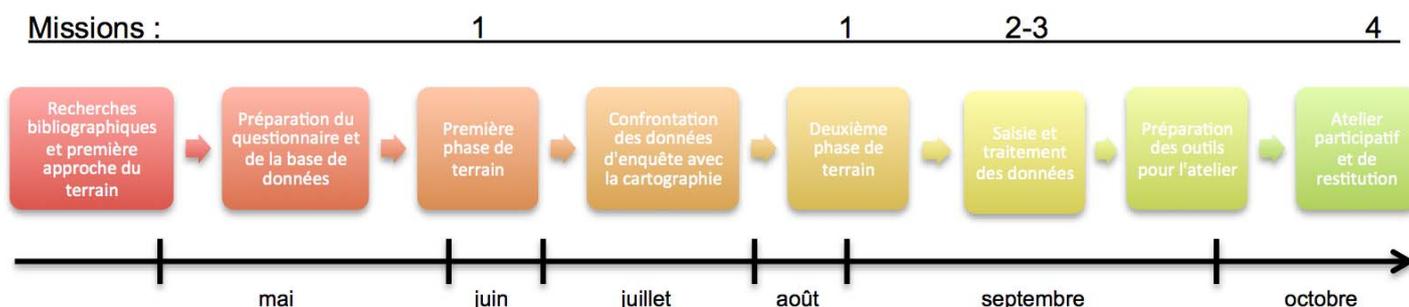


Figure 8 : Répartition chronologique des travaux en vue d'accomplir les missions assignées

Le projet s'est déroulé sur une période de 6 mois. La recherche bibliographique préparatoire de la phase de terrain s'est focalisée sur les pratiques agricoles du bassin arachidier et leur évolution ainsi que sur les différentes formes de modélisation des systèmes agraires. Elle a été entrecoupée de 4 jours de mission sur le terrain qui nous ont permis de présenter le projet aux autorités locales, aux chefs de villages ainsi qu'aux enquêteurs de l'IRD qui travaillaient déjà dans la zone. D'après nos observations dans les deux villages et d'après la bibliographie, nous avons pu adapter le guide d'enquête et la base de donnée au contexte local.

La première mission (collecte des données) a été découpée en deux étapes. Lors de la phase de terrain initiale, le guide d'enquête a été administré aux 73 ménages. En parallèle un étudiant géographe sénégalais a recueilli des informations sur les parcelles ainsi que leurs points GPS de manière indépendante. Les données recueillies ont été comparées et les données manquantes ou incohérentes ont guidé les objectifs de la seconde phase de terrain.

La deuxième mission (saisie et de traitement des données) a servi de base pour la comparaison des deux villages (3^{ème} mission). Les résultats obtenus ont été utilisés en

vue de créer des outils de communication pour les ateliers participatifs (4^{ème} mission). Ces outils facilitent les interactions avec les acteurs afin de capter leurs perceptions de la gestion actuelle et future de la fertilité des sols (Figure 8).

La 5^{ème} mission (comparaison des résultats des ateliers participatifs obtenus par village et par genre) s'est effectuée à la suite de ces 6 mois au sein du CIRAD.

2 Le choix du modèle conceptuel

Le choix du modèle conceptuel a été précédé d'une revue littéraire des différentes modélisations et représentations possibles des flux de biomasse. Nous avons par la suite opté pour les solutions les mieux adaptées aux terroirs étudiés.

2.1 Les différents types de modèles conceptuels

Les représentations des systèmes agricoles sont des simplifications de systèmes complexes afin de les rendre intelligibles et analysables. Ainsi un même système bénéficie de différentes possibilités de modélisation selon l'objectif de la communication.

Il peut se baser sur des modèles mathématiques, des processus ou des acteurs (BELEM *et al.*, 2011). Dans le cas des modèles de transfert de fertilité ces derniers doivent nécessairement faire référence :

- au vecteur (support du flux)
- à la zone de départ et à la zone d'arrivée de la matière
- aux quantités prélevées et restituées
- aux transformations intermédiaires et à la qualité des éléments restitués
- aux effets induits (RABOT, 1990)

Ces flux s'étudient de manière distincte à chaque échelle considérée afin de mieux cerner lesquelles constituent des sources ou des puits de fertilité.

2.1.1 Échelle de la parcelle, de l'individu ou du troupeau

L'échelle de la parcelle, de l'individu ou du troupeau se compose de sous-modèles détaillés (ou modèles «laboratoires») et de boîtes noires (SCHLECHT et HIERNAUX, 2004 ; THORNTON et HERRERO, 2001 ; VAYSSIÈRES *et al.*, 2009b). Les simplifications du système les plus fréquentes concernent les intrants liés aux excréments humains (SCHLECHT et HIERNAUX, 2004), l'atelier du sylvopastoralisme (surtout en ce qui concerne l'apport de matière organique par l'élagage) (ILCA, 1998), ainsi que certaines pratiques telles que le mulch ou les engrais verts. Pour ce qui est des sous-systèmes, les mécanismes biophysiques sont simplifiés excluant généralement des phénomènes tels que l'exsudation et la décomposition des racines, la production de litière dans les jachères, l'érosion, le ruissellement, la lixiviation, la déposition atmosphérique, la fixation biologique de l'azote, les pertes gazeuses (MANLAY *et al.*, 2004) et l'érosion éolienne (SCHLECHT et HIERNAUX, 2004).

L'échelle de la parcelle, de l'individu ou du troupeau est souvent renseignée par des données expérimentales. Cette échelle ne transcrit donc pas les trois sous-systèmes sociaux, économiques et environnementaux apparents à l'échelle de l'exploitation (THORNTON et HERRERO, 2001). Cette simplification explique pourquoi la stratégie de la parcelle est difficile à généraliser (TITTONELL *et al.*, 2006) et montre le besoin d'une analyse pluri-échelles.

2.1.2 Échelle de l'exploitation

Le découpage du foyer agricole en ateliers est une échelle d'analyse permettant d'intégrer de façon plus précise les 3 sous systèmes sociaux, économiques et environnementaux. Selon les approches disciplinaires privilégiées ou selon la thématique traitée dans la modélisation, le découpage du foyer en ateliers et leur niveau de détail diffèrent.

Pour une approche agronomique, l'atelier «sol» est détaché du système foyer et détaille les flux entre la zone agricole et la zone d'habitation ainsi que les processus biologiques du sol. À l'échelle du foyer, la somme des bilans des parcelles sera comptabilisée en internalisant certains flux, comme les récoltes autoconsommées, selon les études (LISSON *et al.*, 2010 ; SCHLECHT *et al.*, 2004 ; SCHLECHT et HIERNAUX, 2004 ; THORNTON et HERRERO, 2001). Certains auteurs procèdent à une extrapolation au *pro rata* de la surface (SCHLECHT *et al.*, 2004) ou à la somme des champs appartenant au foyer (THORNTON et HERRERO, 2001). Ces études se basent généralement sur la théorie selon laquelle «le tout est la somme des parties», elles intègrent alors difficilement les flux inter-foyers. Les interactions entre foyers dus à la vaine pâture sont pourtant primordiales dans ces systèmes agraires et particulièrement pertinents aux échelles de l'exploitation ou du terroir (SCHLECHT et HIERNAUX, 2004).

Dans une approche anthropisée, l'atelier du foyer est isolé et des paramètres sociaux seront inclus (tels que la disponibilité de la main d'œuvre (BELEM *et al.*, 2011 ; LISSON *et al.*, 2010 ; THORNTON et HERRERO, 2001)), ainsi que des critères qualitatifs qui transcrivent la prédictibilité du comportement du producteur et les facteurs décisionnels (les saisons pratiques ou les options de gestion (THORNTON et HERRERO, 2001 ; VAYSSIÈRES *et al.*, 2009b)). Ces approches permettent de construire des modèles de terrain (VAYSSIÈRES *et al.*, 2009a) ou modèles d'action (VAYSSIÈRES *et al.*, 2009b). Cependant certaines activités humaines, basées sur la valorisation de biomasse du terroir, sont rarement considérées (telles que la combustion ou l'artisanat) (DUGUÉ, 1985). L'autoconsommation est souvent simplifiée : les produits secondaires (capsules de coton, gousses d'arachides, bois de construction) ne sont pas considérés (MANLAY *et al.*, 2004). Les moyens de productions, tels que le matériel agricole, sont rarement inclus dans la modélisation (ILCA, 1998).

Une approche économique élargira les limites du système considéré et permet d'insérer les revenus non agricoles (LISSON *et al.*, 2010).

Dans ces études, le vocabulaire utilisé pour décrire le foyer est hétérogène. Ce dernier est parfois désigné en tant que «système agricole» sans en définir les limites (THORNTON et HERRERO, 2001). Certaines modélisations font un usage indifférencié des termes d'«échelle de la concession ou de la communauté». Par exemple, le modèle «TAMU Beef» s'applique sans distinction à l'échelle de l'exploitation ou du village (THORNTON et HERRERO, 2001), la considération des interactions entre les exploitations n'est donc pas garantie. D'autres s'intéressent explicitement aux flux entre acteurs au sein du terroir selon une typologie de foyers. Cette typologie différencie les éleveurs des agriculteurs ou les éleveurs sédentaires des transhumants pour marquer l'influence de la taille du troupeau de l'éleveur sur la biomasse végétale des agriculteurs au sein d'un même terroir (DUGUÉ, 1985 ; MANLAY *et al.*, 2004).

2.1.3 Échelle du terroir

2.1.3.1 Une définition du terroir qui varie d'une discipline à l'autre

L'approche disciplinaire adoptée est décisive dans la détermination des limites du système. Pour les géographes, il correspond à l'«ensemble des parcelles homogènes caractérisées par une même structure et une même dynamique écologique, ainsi que par un même aménagement agricole». La notion de terroir est donc fonction de la capacité de production, de la proximité de l'habitation ainsi que de la collectivité pour la prise de décision (RABOT, 1990).

Pour les africanistes, le terroir correspond à un «espace cultivé et exploité par une communauté villageoise» (RABOT, 1990).

Pour les agronomes, il s'agit d'un potentiel de rendement. Le terroir est alors séparé par zones écologiques (bas-fonds, piémonts, glacis...). Dans le cas d'un milieu homogène, la notion de terroir est déterminée en fonction de l'éloignement de la parcelle du lieu d'habitat.

En termes administratifs, le terroir est défini par ses limites administratives. Cependant cette approche est limitée, spécialement en Afrique puisque le foncier n'est pas toujours une bonne représentation des limites de l'utilisation du sol qui sont plutôt marquées par des éléments symboliques (RABOT, 1990).

2.1.3.2 Sous-division de l'échelle du terroir

Les résultats relatifs au terroir peuvent être représentés différemment selon la volonté de se focaliser sur les entités ou sur les unités spatiales.

La représentation par entité approche le terroir comme un ensemble. Généralement, les foyers sont échantillonnés (aléatoirement, par type de foyer ou par les extrêmes) puis les résultats sont extrapolés (la méthode reste très peu explicitée dans les articles scientifiques) (DUGUÉ, 1985 ; LISSON *et al.*, 2010 ; RUFINO *et al.*, 2010 ; SCHLECHT *et al.*, 2004 ; TITTONELL *et al.*, 2006 ; VAYSSIÈRES *et al.*, 2009a).

La représentation basée sur les unités spatiales favorise l'analyse des interactions entre unités agroécologiques. La déposition de matière organique par les troupeaux lors de la vaine pâture peut être distribuée de manière proportionnelle à la SAU du foyer ou, de manière plus précise, selon le parcours réel des troupeaux (RUFINO *et al.*, 2010 ; SCHLECHT *et al.*, 2004). La spatialisation des flux gérés par l'Homme peut se répartir par zones agroécologiques (Figure 9) ou selon la distance à la concession (champs de case et champs de brousse) (TITTONELL *et al.*, 2006).

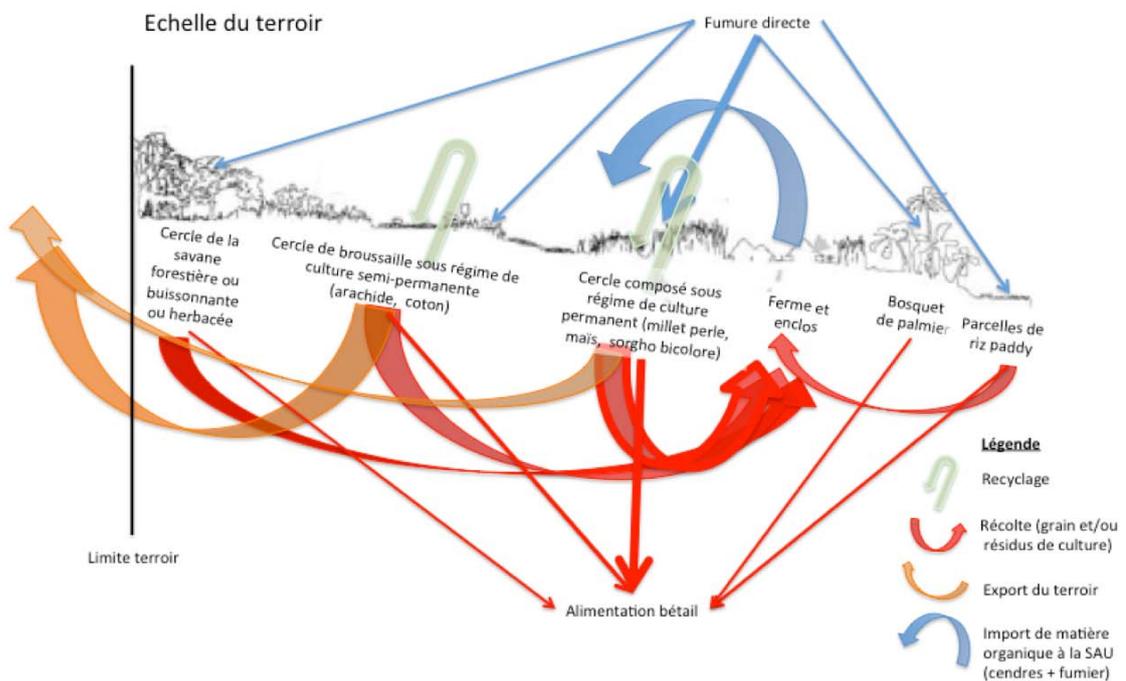


Figure 9 : Résumé de la spatialisation des flux de biomasse

Source : d'après MANLAY *et al.*, 2004

2.2 Le modèle conceptuel choisi

Considérant les différentes options de représentation des flux de biomasse nous avons opté pour le modèle ci-dessous (Figure 10).

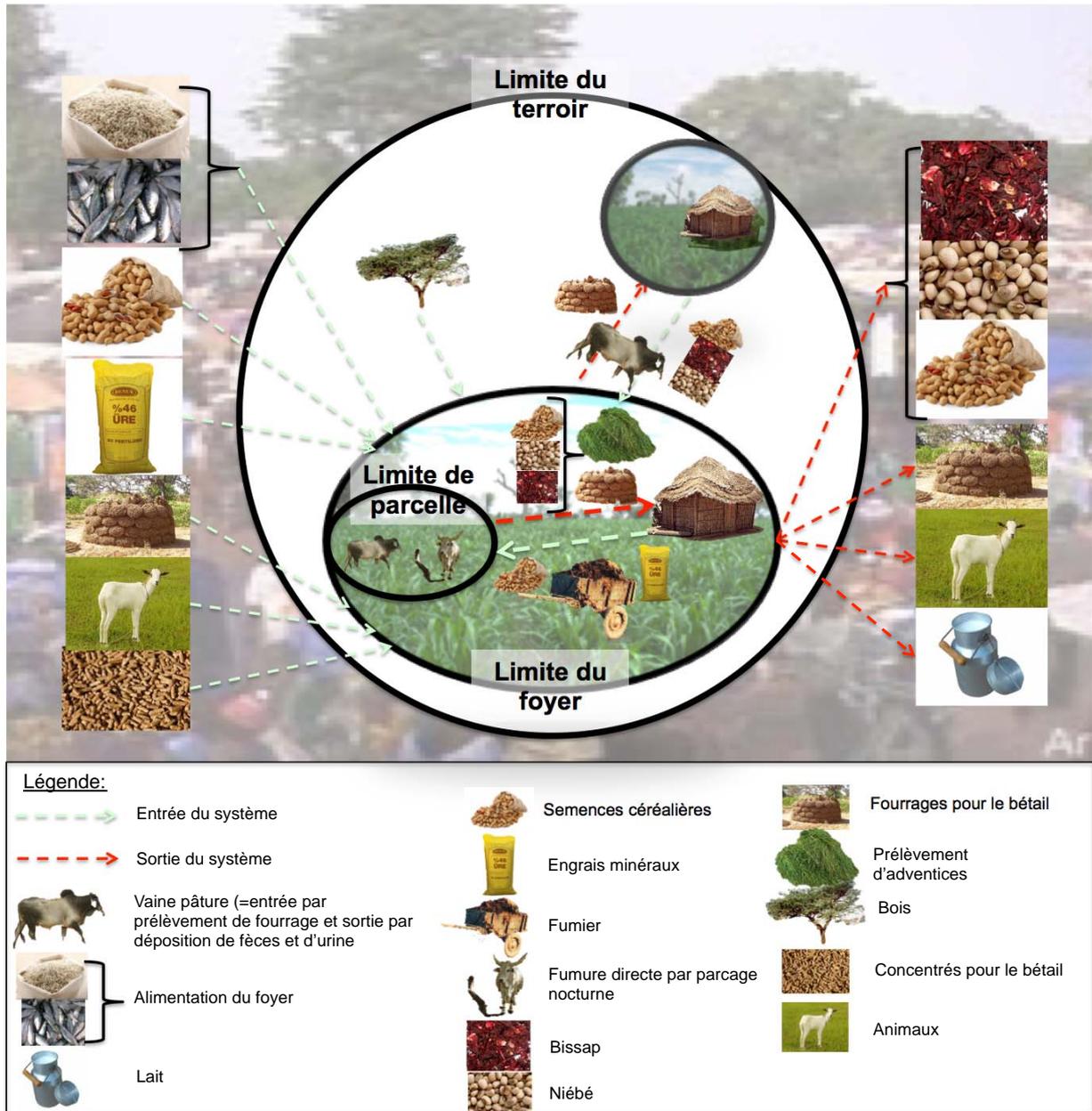


Figure 10 : Résumé de la spatialisation des flux de biomasse pluri-échelles

2.2.1 Limites du système

En privilégiant une approche systémique, nous avons sélectionné la définition africaniste du terroir : «espace cultivé et exploité par une communauté villageoise» (RABOT, 1990). Les limites du système étudié ont été fixées lors d'une phase de terrain préparatoire. Elles ont été déterminées en accord avec le chef du village qui nous a indiqué les limites traditionnelles du village. La totalité des ménages inclus dans ces limites a été interrogé.

L'échelle de l'exploitation, assimilée à l'échelle du foyer comporte des entrées et des sorties d'origine et de destination extérieures au terroir (comme les achats sur les marchés), ainsi que des échanges intra-village tels que les flux marchands ou les flux liés à la vaine pâture (entrée de biomasse végétale et sortie de fèces et d'urine). Les bilans de

nutriments se basent sur une analyse «farm-gate», ce système inclut donc les parcelles utilisées par le foyer dans ses limites et, en conséquence, il ne représente pas les flux entre l'habitat et les champs (Figure 10).

Pour l'échelle des parcelles, c'est l'ensemble des champs utilisés par les ménages pour l'année 2012 qui sont considérés (tant pour les cultures que pour les jachères). En effet, dans le cas de Barry Sine, les limites traditionnelles du village ne comportent que des champs de case (et non les parcelles de brousse) ce qui nous a poussé à étendre les limites du terroir considéré. Les parcelles peuvent être la propriété du foyer ou bien être empruntées. En revanche, les parcours traversés par les troupeaux lors de la transhumance sont exclus des limites du terroir.

2.2.2 L'approche spatiale

Nous avons choisi de considérer l'approche spatiale des flux de biomasse car les transferts de fertilité dans l'espace sont capitaux en zone soudano-sahélienne (RABOT, 1990). En effet, nous souhaitons observer le critère d'éloignement de la parcelle dans la gestion de la fertilité à l'aide de l'analyse spatiale et la représentation cartographique.

La question de la vaine pâture est traitée par zone agroécologique, selon sa fréquentation par les UBT et au *pro rata* de la surface. En revanche, la précision de la représentation des bilans azotés se situe à l'échelle de la parcelle.

2.2.3 Les ateliers considérés à l'échelle du foyer

Les ateliers «Culture» et «Bétail» ont été séparés puisque Barry Sine pratique non seulement l'élevage des troupeaux transhumants mais aussi l'embouche, apparentée à un élevage hors sol qui repose sur de nombreuses importations. Les troupeaux ont été considérés par lots possédés ou bien partagés par le foyer en 2012.

La démarche participative appliquée sur deux terroirs pédoclimatiques relativement homogènes, à 4km de distance, nous a permis de ne pas isoler d'atelier «sol».

L'atelier de l'«Habitat» est isolé pour favoriser une approche anthropisée. Ainsi, nous pouvons classer les foyers non seulement selon leur durabilité écologique (bilans azotés) mais aussi en fonction de leurs caractéristiques sociales et économiques. Nous considérons notamment la structure du foyer et ses équipements agricoles disponibles qui sont déterminants pour les flux de matière organique. Nous pouvons aussi jauger l'autosuffisance des familles puisque le système est très ouvert en matière de flux de denrées alimentaires, de bétail et de concentrés.

À la vue de l'importance de la ressource fourragère en période de soudure, notamment l'*Acacia Albida*, le parc arboré est considéré en parallèle.

3 Construction du guide d'enquête

3.1 Structure du guide d'enquête

Le guide d'enquête administré aux ménages a été structuré autour des cinq sous-systèmes du modèle conceptuel (Annexe 3).

3.1.1 Structure du Foyer

Pour appliquer une démarche agroécologique et mieux considérer les facteurs économiques ou sociaux dans la typologie des foyers lors de l'analyse de leurs bilans de fertilité, les questions autour de la structure du foyer s'intéressent à :

- l'âge du chef de foyer
- l'ancienneté du ménage
- la population qui le compose, reflet de la main d'œuvre disponible et des besoins alimentaires.

Comme la population est très mobile les effectifs sont comptés par mois et ramenés à l'année (la conversion en unité de travail humain (UTH) et en unité à nourrir (UN) est

donnée en [Annexe 4](#)). Une seconde partie inventorie les biens du ménage à la date de l'enquête. Ils comprennent :

- le matériel agricole disponible
- les parcelles utilisées en 2012
- le cheptel appartenant au foyer ou confié (reçu ou donné).

Enfin, la dernière partie questionne les achats de denrées alimentaires du foyer.

3.1.2 Système de culture

Pour le système de culture, l'ensemble des intrants (semences, engrais minéraux, fumier, parcage nocturne⁹) et des produits (grains, pailles, produits secondaires) sont renseignés pour chaque parcelle recensée lors de la phase portant sur le foyer. La provenance et la destination des flux ainsi que la nature de l'échange sont indiqués (don, achat ou échange) pour mieux refléter les flux inter-foyers. Dans le cas des pailles nous différencions la part destinée à l'alimentation animale de celle prévue pour la construction (toits et palissades). Dans le cas des jachères, nous nous intéressons à leur ancienneté ainsi qu'aux motifs de leur mise en place.

3.1.3 Système d'élevage

À partir des données recueillies lors de la phase portant sur la structure du foyer, les flux animaux sont renseignés par saison pratique et par lot. Les saisons pratiques découpent l'année pour chaque changement de localisation ou d'alimentation du troupeau dans chaque terroir. Ces flux sont composés des achats, dons et ventes (bétail et lait), ainsi que leur provenance et leur destination. La répartition des naissances, de la mortalité et des vols du bétail dans le temps permet une meilleure précision des effectifs au long des saisons pratiques. L'évolution des effectifs au cours de l'année est ensuite convertie en UBT (Unité Bovin Tropical) ([Annexe 5](#)).

Pour ajouter une précision spatiale aux parcours des troupeaux et donc aux échanges dus à la vaine pâture, nous suivons aussi les mouvements du troupeau dans les zones agroécologiques (champs de case ou de brousse, transhumance) au long de l'année.

Finalement, les rations journalières en termes de quantité et de qualité (nature et origine) permettent de calculer les besoins alimentaires qui sont complétés par vaine pâture lorsque le lot n'est pas entravé dans la concession.

3.1.4 Système de gestion des effluents

Pour la matière organique végétale et animale destinée à la fertilisation des parcelles, nous nous intéressons à son mode de stockage. Ainsi, le foyer nous indique si la matière a été apportée directement sur la parcelle ou stockée.

Pour les déchets ménagers issus du balayage de la cours, nous nous intéressons à la zone agroécologique où ils ont été déversés, voire la parcelle si l'information est disponible.

3.1.5 Les arbres

Nous recensons la composition et la densité des essences arborées de chaque parcelle. Elle sera utile par la suite pour mieux identifier les champs. L'alimentation des animaux ainsi que les récoltes de bois comme combustible pour la préparation des repas nous indiquent l'exploitation de la ressource fourragère et ligneuse arborée.

3.2 Administration du guide d'enquête

Afin d'appliquer une démarche de « Soft System Methodology⁹ », l'administration du guide d'enquête a été adaptée aux conditions locales.

3.2.1 La compréhension du système par l'immersion

Les deux phases de terrain se sont déroulées sur une période de 3 mois, soit la moitié de la durée totale du stage. L'hébergement à Dihine nous a permis de mieux comprendre les conditions de vie locales (PRETTY, 1995) et les contraintes inhérentes au système (WEZEL et RATH, 2002).

Le guide d'entretien a été appliqué à l'ensemble des 73 foyers en binôme avec un traducteur français/sereer/wolof. Le contact direct avec les producteurs permet de mieux appréhender le système dans sa globalité, de mieux cerner les choix de gestion du terroir en incluant les facteurs sociaux, économiques et environnementaux (PRETTY, 1995 ; WEZEL et RATH, 2002). L'analyse du système peut alors se baser sur les connaissances locales des acteurs (SRISKANDARAJAH *et al.*, 1991 ; WEZEL et RATH, 2002).

3.2.2 Période d'entretien

La majeure partie des guides d'enquête a été administrée de mai à juillet, ce qui correspond à la période de travaux agricoles la moins chargée. En effet, à ce moment, les ménages sont plus libres de répondre aux enquêtes puisque seuls le ratissage et les brûlis des résidus de récolte sont effectués.

La seconde phase de terrain s'est déroulée en août. Ainsi, nous avons donc pu observer l'évolution du couvert végétal entre mai (fin de la saison sèche) et août (milieu de la saison des pluies) ([Annexe 1](#)).

3.2.3 Présentation du projet

La zone de Niakhar comporte un centre IRD dévolu au suivi démographique. La population est donc régulièrement sollicitée pour des enquêtes (tous les trimestres). La présentation du projet est donc une phase primordiale pour le bon déroulé de l'entretien. Elle justifie la sollicitation supplémentaire des populations locales et expose leur intérêt dans la démarche.

Dans un premier temps, nous présentons les objectifs de l'étude en précisant bien que la contrepartie obtenue est sous forme de restitution des résultats et non de distribution de biens. En effet, l'espoir d'obtenir des engrais minéraux, des animaux ou des denrées alimentaires peut conduire les participants à sous-estimer leurs récoltes, leur cheptel ou leur utilisation d'intrants.

Afin de renforcer notre légitimité et d'intéresser les acteurs dans la démarche, nous commençons par leur présenter une carte du village et nous y situons leur concession. Cette étape nous permet de les familiariser avec ce type de support ce qui sera utile lors des ateliers participatifs. Des informations très pertinentes sur la gestion du terroir sont également obtenues lors de leur lecture de la carte.

Le partenariat avec l'IRD nous a permis de présenter l'arbre généalogique familial à la personne enquêtée. Ainsi, les ménages ont un premier retour des travaux de recherche effectués dans la zone avant la restitution par ateliers. Cette étape facilite les questions portant sur la composition du foyer. En effet, il est difficile pour le chef de ménage de dénombrer entièrement les personnes composant son foyer. Vu la durée de l'entretien, cette approche permet non seulement de faciliter notre insertion dans le milieu en signifiant notre respect envers la famille mais aussi d'intéresser un peu plus les acteurs dans notre démarche.

3.2.4 Choix des interlocuteurs

Les hommes connaissent mal les activités des femmes et des enfants (VANDERMEERSCH *et al.*, 2013). Partant de ce constat et dans un souci d'obtenir des informations les plus précises possible, le guide d'enquête a été divisé en plusieurs parties. Les questions portant sur l'aviculture, le bissap, le niébé et la récolte du bois sont administrées aux femmes. Les questions portant sur les autres cultures (dont la fane de niébé), les autres formes d'élevages et les achats sont posées aux hommes.

Nous commençons par interroger le chef de ménage afin de respecter les règles sociales. La phase d'enquête des femmes est volontairement allégée puisque leur emploi du temps est largement occupé par les tâches ménagères et agricoles et qu'elles ne peuvent fournir des informations sans l'aval du chef de ménage.

Dans le cas où les femmes nous fournissent des informations contradictoires quant aux parcelles cultivées en niébé ou en bissap, nous conservons la réponse fournie par la personne spécialisée dans la culture. En effet, il arrive que la femme n'obtienne pas l'autorisation de semer une parcelle et que le mari ne souhaite pas nous en aviser. Parfois, l'époux ne sait pas exactement quelles parcelles ont bénéficié de cultures secondaires, surtout dans le cas où ce sont les enfants qui récoltent la fane.

3.2.5 Adaptation aux différences culturelles

3.2.5.1 Aborder les dates

L'échéancier des pratiques agricoles et la répartition des entrées et sorties du foyer dans le temps permettent de mieux cerner la gestion du terroir. Cependant, dans le village de Barry Sine, le calendrier catholique est peu utilisé. Ainsi, afin de faciliter la communication, nous donnons comme repères temporels les fêtes musulmanes de l'année 2012 telles que le Magal, le Gamou, la fête Raan de Toucar, le Ramadan, le Korité ou encore la Tabaski et le Tamkhalet.

3.2.5.2 Aborder la question du cheptel

Comme notifié précédemment, les questions autour du cheptel sont délicates. Pour des raisons de hiérarchie sociale et de genre, étant donné le fonctionnement bilinéaire de la société Sereer, la personne interrogée peut être amenée à sous-déclarer les effectifs du bétail (VANDERMEERSCH *et al.*, 2013). Aussi les croyances locales rendent tabou le dénombrement des troupeaux et tendent à générer une certaine appréhension à déclarer ses stocks réels afin de ne pas s'attirer le «mauvais œil» ou la malchance (BADIANE, 2006 ; VANDERMEERSCH *et al.*, 2013). De plus, à l'époque coloniale, une taxe a été instaurée en fonction du nombre de têtes en gestion. Bien que cette taxe soit depuis longtemps obsolète, une certaine réticence persiste à indiquer son cheptel (BADIANE, 2006).

Afin de faciliter la récolte d'information, sans brusquer les traditions locales, nous essayons dans un premier temps d'isoler autant que possible la personne interrogée. Les questions sont organisées de manière progressive pour tendre vers les effectifs du cheptel. Dans un premier temps, nous nous intéressons donc à la production laitière du foyer et au nombre d'animaux traits. Nous demandons ensuite le nombre de taureaux pour enfin terminer par le nombre de vaches non allaitantes. Si l'ultime question pose problème, nous invitons la personne interrogée à passer par des fourchettes de valeur.

3.2.5.3 Aborder les questions indicatrices de la santé financière du foyer

Généralement les foyers n'ayant pas les moyens d'acquérir des animaux ont recours au *pok*^g. Ils reçoivent alors un animal et retournent une partie de la progéniture qu'il engendrera au propriétaire initial. Le recours au *pok* est donc un indicateur de la santé financière du foyer et se révèle être une question sensible. Pour ne pas gêner la personne interrogée, nous lui demandons donc dans un premier temps s'il confie ses animaux à un autre foyer et seulement dans un deuxième temps si on lui en a confié.

L'achat de mil et de viande sont aussi révélateurs de l'état financier du foyer. Il est donc préférable, lorsque la question des achats de denrées alimentaires est abordée, de commencer par les céréales d'agrément (comme le maïs), puis d'aborder le reste des céréales, de continuer par l'achat de poisson (qui est généralement accessible à tous les foyers) pour terminer par l'achat de viande.

4 Base de données et indicateurs calculés

Le traitement des données obtenues nécessite quelques ajustements afin de pouvoir comparer les flux de biomasse entre eux.

4.1 La saisie de données

4.1.1 Le système métrique

Les paysans Sereer n'utilisent pas des unités de mesures standardisées. En effet, la paille, le bois et le fumier sont comptés en charrettes. La récolte de mil est dénombrée par bottes. Le terme «kilogrammes» correspond en réalité à différentes tailles de boîtes de conserve en fonction du produit mesuré.

Afin de pallier à ces différences observées, nous avons effectué une série de mesures sur le marché de Mbafaye, à proximité des villages étudiés. Ce marché est visité de façon hebdomadaire par l'ensemble des ménages de la zone. Une autre série de pesées s'est effectuée au sein même du village. Les données de conversion manquantes ont été complétées grâce à la bibliographie, notamment l'étude de VANDERMEERSCH *et al.* (2013), ou se sont basées sur la masse volumique des différents produits.

4.1.2 Les règles de décision

Lorsque les produits des récoltes de plusieurs parcelles ont été stockés ensemble et qu'il est difficile pour l'enquêté d'estimer le rendement de chaque parcelle séparément, la production est répartie de manière artificielle au *pro rata* de la surface.

Lorsque la personne enquêtée n'a pu nous fournir une estimation des produits récoltés mais que nous bénéficions des données de la récolte en grain ou de la récolte en paille, nous estimons la donnée manquante selon le rapport grain/paille détaillé par MANLAY (2001). Dans le cas où nous n'avons ni la production en grain ni la production en paille, nous avons estimé la donnée manquante par le rendement moyen de la culture concernée dans le terroir.

4.1.3 Découpage en saisons pratiques et calcul des échanges liés à la vaine pâture

Afin de calculer les interactions entre les foyers dues à la vaine pâture tout en rendant compte des changements de gestion des troupeaux au cours de l'année selon la disponibilité en ressource fourragère, l'année 2012 a été découpée en 6 saisons pratiques (Figure 11) :

- la période d'embouche ovine définie chaque année par la fête de la Tabaski
- la période de disponibilité de l'herbe fraîche permettant le parage des petits ruminants dans les zones non cultivées
- la période de récolte du grain de mil et de l'arachide
- la période de vaine pâture bergée⁹ possible dans les champs d'arachide uniquement
- la période de pleine vaine pâture après le ramassage de toutes les pailles
- la période de vaine pâture des petits ruminants supplémentée par l'apport d'aliment le soir à la concession

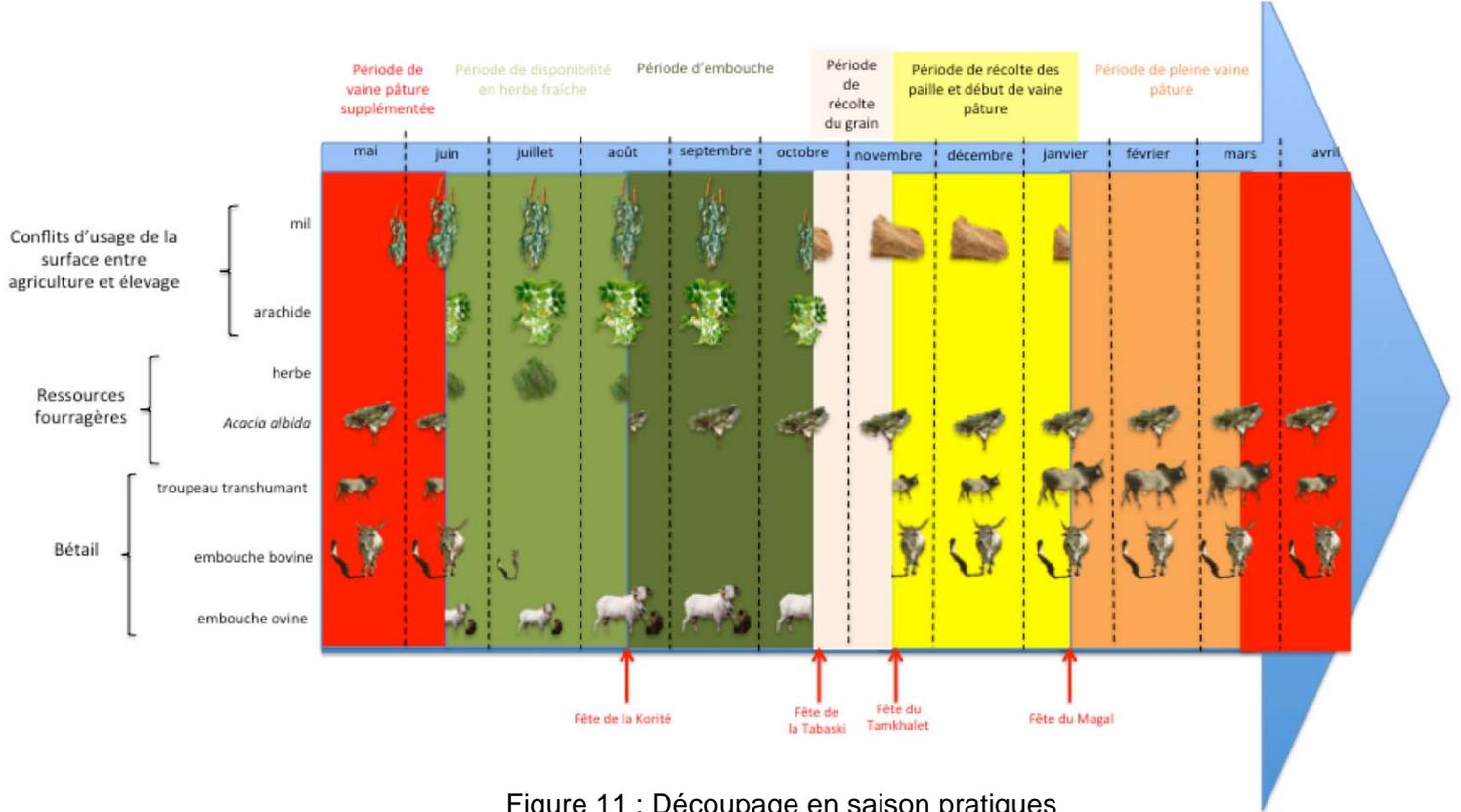


Figure 11 : Découpage en saison pratiques

Les flux de biomasse entre ménages dus à la vaine pâture sont calculés selon différents critères. En premier lieu, nous estimons la biomasse disponible sur la parcelle après récolte des coproduits. Ce calcul est basé sur la comparaison des coproduits récoltés par rapport à la production de coproduits théorique. La production de coproduits théorique est calculée à partir de la masse de grains récoltés multipliée par un rapport de la masse paille/grain obtenu dans l'étude de MANLAY (2001) au sud du Sénégal. Si les coproduits récoltés sont inférieurs aux coproduits théoriques, nous en concluons qu'une part de la biomasse des coproduits a été laissée au champ et, par conséquent, est disponible pour la vaine pâture. Cette quantité de biomasse obtenue est ensuite affectée d'un coefficient de consommation du bétail en fonction du type de culture puisque les résidus de culture ne sont pas consommés dans leur totalité (Annexe 6).

Une deuxième étape consiste à calculer les besoins de prélèvement du bétail par vaine pâture. Il s'agit des besoins journaliers des UBT auxquels sont retranchés les aliments apportés à chaque lot.

Finalement, les besoins des troupeaux sont soustraits à la biomasse disponible pour le bétail à chacune des saisons pratiques et pour chaque lot. La biomasse disponible est actualisée à la fin de chaque saison pratique pour définir la biomasse restante pour la saison suivante.

L'estimation des dépositions de matière organique par les troupeaux est calculée en fonction du nombre d'UBT.heure par saison. La conversion en azote considère le taux d'azote des fèces et de l'urine par saison (MANLAY, 2001) (Annexe 6 et 7). Nous estimons que la déposition de fèces est équivalente entre le jour et la nuit (SCHLECHT *et al.*, 2006). Le parcage nocturne sur les parcelles des propriétaires des troupeaux sont alors déterminantes dans ces transferts de fertilité.

Après avoir saisi les données, ces dernières sont traitées afin de calculer les indicateurs de durabilité du système.

4.2 Traitement des données

4.2.1 Notion de bilan d'azote apparent et d'efficience azotée

L'intensification agricole peut mettre en péril la durabilité du système agricole si elle ne s'accompagne pas d'un maintien de la fertilité des sols. Le bilan en nutriment est alors un indicateur pertinent de la durabilité du système (ROY *et al.*, 2005). Il consiste à estimer

les entrées et les sorties annuelles liées à des activités agricoles en collectant les informations auprès des agriculteurs (ALARD *et al.*, 2002 ; SIMON et LE CORE, 1992). Il a l'avantage d'approcher l'exploitation dans sa globalité contrairement aux méthodes «CORPEN» ou «BASCULE», basées sur des mesures à l'échelle de la parcelle qui sont extrapolées. Il n'a pas recours à des normes standardisées et donc, illustre mieux les particularités de chaque exploitation (ALARD *et al.*, 2002).

Une deuxième évaluation de la durabilité des systèmes peut s'opérer à travers l'estimation de l'efficience azotée. Cet indicateur se calcule en divisant les sorties par les entrées. Elle rend compte du «retour sur investissement» puisqu'elle indique pour chaque unité d'azote apportée combien d'unités ont été produites (VAYSSIÈRES, 2012).

4.2.2 Choix de l'azote comme indicateur de fertilité

Les travaux de recherche conduits en Afrique de l'Ouest durant les trente dernières décennies ont démontré que les nutriments du sol, l'azote et le phosphore en particulier, sont les principaux facteurs limitant la productivité agricole (SCHLECHT *et al.*, 2006). Ils ont un impact majeur sur la fertilité des terres (BADO, 2002). L'azote, en comparaison avec le phosphore, est l'élément minéral présentant le plus grand déficit en Afrique subsaharienne lorsqu'il est rapporté au besoin des plantes (BADO, 2002). En effet, l'alimentation des céréales dans les sols tropicaux sableux d'Afrique de l'Ouest est principalement basée sur le puisage des réserves d'azote organique du sol, réserves finies et en quantité très limitée (WANEUKEM et GANRY, 1992).

Or, l'azote est le principal facteur de croissance des productions végétales comme élément de base dans la constitution des protéines, des nucléotides, des acides nucléiques et de la chlorophylle.

En conséquence du rôle prédominant de l'azote dans la zone étudiée, nous avons donc choisi cet élément minéral comme indicateur de la fertilité des sols. La conversion de la matière brute en azote est donnée en Annexe 8.

Les flux de biomasse convertis en matière sèche sont ensuite spatialisés pour mieux visualiser les options de gestion de la fertilité des sols. Les flux convertis en azote servent de base aux calculs des bilans et efficacités azotées à l'échelle de la parcelle. Ces indicateurs sont spatialisés pour identifier les zones où l'azote a été puisé ou additionné à la réserve du sol ainsi que les zones valorisant davantage les apports d'azote.

5 Spatialisation des résultats

5.1 « Transects »

Une première étape dans l'approche spatiale de la gestion du terroir a consisté à parcourir la zone pour en identifier les zones agroécologiques globales. Ainsi, un trajet quotidien entre Barry Sine et Diohine durant les deux phases de terrain a favorisé l'observation à la fois des différences de qualité de sol, de végétation mais aussi de pratiques agricoles.

Dans un deuxième temps, un circuit a été tracé découpant les limites traditionnelles du village de Barry Sine du nord au sud et d'est en ouest. Il a été parcouru à trois reprises : en juin, fin juillet et début août. Les sites clefs de ce parcours ont été photographiés afin d'observer l'évolution du couvert végétal de la fin de la saison sèche au milieu de la saison des pluies (Annexe 1).

5.2 Travail en binôme avec un géographe et confrontation des résultats

Durant la récolte des données par enquête, un second stagiaire géographe a procédé à la saisie des données GPS des parcelles (Annexe 9). Afin de pallier aux oublis éventuels de la part des enquêtés, les chefs de ménage ont été interrogés une seconde

fois de manière indépendante sur leur système de culture. L'ensemble des parcelles utilisées en 2012 est listé de nouveau ainsi que leur rotation culturale entre 2010 et 2013. Ainsi les parcelles additionnelles à la première phase d'enquête ont pu être renseignées durant la seconde phase de terrain.

La correspondance entre les parcelles issues des enquêtes et celles listées et géoréférencées par le binôme est basée sur :

- un plan parcellaire dessiné avec les habitants lors de l'entretien
- la distance au foyer (champ de brousse ou champ de case)
- l'assolement cultural de 2010 à 2013
- les essences d'arbres présentes sur chaque parcelle
- l'estimation de la superficie en fonction du nombre de passage du semoir d'après REIFF et GROS (2004) comparé au calcul de la superficie par SIG (Système d'information Géographique)

Une fois la correspondance entre les parcelles d'enquête et les parcelles géoréférencées établie, les flux de matière organique, les bilans et efficacités azotés peuvent être analysés grâce à la représentation cartographique.

L'analyse quantitative de la gestion et de la durabilité du terroir est ensuite complétée par une analyse qualitative grâce aux ateliers participatifs.

6 Les ateliers participatifs pour explorer les possibilités d'amélioration de la fertilité des sols

Les principaux objectifs des ateliers sont de restituer les résultats obtenus auprès des acteurs, de porter leurs réflexions sur le fonctionnement de leur terroir en termes de flux de biomasse et sur les opportunités d'amélioration de la fertilité des sols de leur terroir en appliquant une «Soft System Methodology». La participation des acteurs locaux est une manière de mieux comprendre et interpréter les résultats obtenus en captant leurs attentes et leurs sources de motivation au sein de leur milieu social (FLOOD, 2000). Cette démarche est essentielle dans leur appropriation du travail effectué. Elle génère une dynamique de groupe quant aux possibles changements réalisables. En effet le rapprochement des acteurs à l'occasion de cet événement permet d'établir une cohésion sociale, un dialogue et de focaliser leur attention vers l'atteinte d'un objectif commun : «Comment améliorer la fertilité des sols du terroir ?». Finalement, les ateliers permettent de partager les savoirs locaux à travers les opportunités décelées par chacun et de créer des connaissances communes particulièrement adaptées au contexte local (FLOOD, 2000 ; IPACC-CTA, 2010 ; PRETTY, 1995 ; SRISKANDARAJAH *et al.*, 1991 ; WEZEL et RATH, 2002).

6.1 Adaptation des ateliers au contexte local

La mission s'est déroulée sur une période de 3 jours (Tableau 1).

Tableau 1 : Découpage de la mission

Mardi 08/10/13	Mercredi 09/10/13	Jeudi 10/10/13
-Formation des traducteurs	-Atelier de Barry Sine	-Atelier de Dihine
-Ajustements selon leurs perceptions des ateliers	-Débriefing avec les chercheurs et les traducteurs sur l'atelier	-Débriefing avec les chercheurs et les traducteurs sur l'atelier

Dès la fin de la seconde phase de terrain, les traducteurs (originaires de la zone de Niakhar) ont été impliqués dans les thématiques abordées et les outils de communication utilisés lors des ateliers. Après finalisation du contenu, l'étape de formation des traducteurs a consisté à étudier le plan final des ateliers ainsi que les supports de

communication utilisés. Nous avons alors recueilli une dernière fois leurs points de vue sur le déroulé des ateliers pour inclure si nécessaire des ajustements.

Dans le but de percevoir à la fois le point de vue des hommes et des femmes et compte tenu du fonctionnement bilinéaire de la société selon le genre, les ateliers se sont déroulés en deux temps : un premier atelier avec les hommes le matin puis un second atelier avec les femmes l'après-midi dans chaque village. Dans un souci de respect des normes sociales, nous débutons l'atelier avec les hommes. Les participants à la session du matin sont donc :

- les chefs de ménage ou un représentant par foyer (73 à Barry Sine, 44 à Sassem)
- les chercheurs du CIRAD : Jérémy BOURGOIN et Jonathan VAYSSIÈRES

respectivement spécialisés dans la cartographie participative et l'élevage/modélisation

- traducteurs français/sereer : nous avons choisi de conserver les traducteurs avec lesquels nous avons travaillé dans l'administration du guide d'enquête puisqu'ils se sont familiarisés avec les ménages participants. De plus il s'agit d'un homme et d'une femme ce qui peut faciliter l'expression de chacun

Les ateliers se sont déroulés devant la concession du chef de village à Barry Sine et devant la concession du notable du quartier de Sassem, seconde figure hiérarchique après le chef du village de Diohine. Dans la mesure du possible nous avons essayé de séparer le lieu du repas du site où prend place le second atelier avec les femmes. Ainsi, elles sont isolées des hommes pour leur propre atelier et peuvent s'exprimer plus librement. L'invitation des femmes aux ateliers est plus ouverte puisqu'ils se sont déroulés en période de récolte du niébé (culture de femme).

6.2 Soft System Methodology et méthode OPERA

La méthode OPERA est un outil de facilitation des ateliers. Elle confère aux participants un statut actif dans la construction des résultats, favorise la participation de l'ensemble des acteurs et leur créativité (SLÅEN *et al.*, 2003). Les ateliers participatifs implémentés ont donc été adaptés de cette méthode selon la culture locale, le temps imparti et les effectifs de participants attendus.

Les thèmes abordés sont dans un premier temps «la situation actuelle» puis «la situation voulue». Les questions sont posées oralement plutôt que par écrit sur un tableau étant donné que le mode de communication local est en majorité oral. Nous préférons la «rich picture» (représentation par des dessins) (FLOOD, 2000) plutôt que le «mind mapping» (connexion d'idées écrites) afin de pallier à la barrière de la langue et parce que la visualisation permet d'équilibrer les dialogues et d'approfondir les discussions (CHECKLAND et POULTER, 2006 ; PRETTY, 1995).

Nous veillons à bien séparer la production d'idée de leur évaluation afin d'éviter les frustrations et pour maintenir un sentiment de sécurité nécessaire à la créativité. La méthode OPERA a été utilisée pour les questions ouvertes abordant des thématiques qui peuvent générer un panel d'idées très diversifié (détaillées par la suite). Elle se déroule en 2 temps :

- 1) 20 minutes d'échange par groupe de 15 personnes encadrées par un facilitateur
- 2) 20 minutes d'échange plénier où un représentant résume les idées issues de la phase 1

Afin de percevoir les réflexions des différents acteurs qui ne seront pas forcément restituées dans leur intégralité durant l'échange plénier, le facilitateur de chaque groupe note les idées exprimées et les chercheurs peuvent se déplacer de groupe en groupe pour identifier les logiques individuelles et collectives menant aux conclusions présentées.

Un second outil de «Soft System Methodology» appliqué a été la cartographie participative. Elle permet de faire émerger les valeurs et les savoirs locaux et empiriques des acteurs concernés et facilite le dialogue dans le cas de rencontres pluri-acteurs. Elle

sert de support de communication pour la négociation des biens communs tels que le territoire (BURINI, 2009 ; d'AQUINO *et al.*, 2002 ; IPACC-CTA, 2010). Le support du calque a été utilisé plutôt que le dessin sur le sable afin de pouvoir collecter l'information générée et la traiter par la suite. Afin de pallier aux intimidations que peut générer ce support et aux tendances à céder le stylo à un acteur «instruit», le facilitateur notait les informations obtenues par consensus sur le calque (CHAMBERS, 2006). Les cartes sont orientées au préalable et l'emplacement des différents lieux-dits inscrits sur la carte est présentée oralement afin de faciliter sa lecture (WIESE *et al.*, 2004).

Finalement, le repas partagé avec les villageois a pour objectif de les indemniser pour le temps qu'ils nous ont accordé, spécialement dans le cas des ateliers qui se déroulaient au début de la récolte du mil. Un second objectif était de porter la réflexion des participants sur l'ouverture de leur système en termes d'importation de denrées alimentaires. En effet, dans la composition de ce repas, aujourd'hui considéré comme «traditionnel», seul le bouc à Barry Sine, et seuls le bouc et les légumes à Dihine, sont produits dans le terroir.

6.3 Déroulement des ateliers

6.3.1 Introduction des ateliers participatifs (20 minutes)

Dans un premier temps, afin de créer un climat de confiance, nous commençons par présenter les chercheurs et le traducteur méconnu des villageois. Chacun des chercheurs décrit alors son domaine d'activité. Nous rappelons les objectifs du programme de recherche afin de resituer le travail déjà effectué et les ateliers dans leur contexte (DIA *et al.*, 1999 ; IPACC-CTA, 2010).

Dans un second temps nous continuons par la lecture de l'histoire du village. En effet la culture Sereer porte un grand intérêt à ses ancêtres, l'objectif étant de créer une atmosphère propice à la réflexion en captant l'attention des auditeurs. Finalement, ce rappel permet de conforter l'identité commune des acteurs et de renforcer le sentiment d'appartenance au groupe.

Finalement, nous terminons par la présentation du plan des ateliers afin que les participants puissent visualiser les thèmes abordés et afin d'éviter les digressions.

6.3.2 Quelle est la situation actuelle ? (2h)

La description de la situation actuelle se décline sous forme de questions ouvertes. Elles sont centrées sur les atouts du terroir et évitent d'aborder les problèmes de fertilité des terres de la zone ce qui limiterait l'originalité des idées produites par les participants et les pousserait à se positionner dans une attitude d'apprentissage plutôt que de création (FLOOD, 2000).

Les questions sont organisées dans un premier temps autour des questions relatives à la structure du terroir (Tableau 2), puis autour des pratiques agricoles (Tableau 3).

Tableau 2 : Questions des ateliers participatifs relatives à la structure du terroir

Questions autour de la structure du terroir (1h20)	Méthode pour recueillir le point de vue des villageois	Objectifs
-Quelles sont les sources de fertilité du terroir (ressources naturelles et pratiques agricoles)?	-Création d'une riche image en session plénière -Vote à main levée pour la hiérarchisation des composants	-Analyser le disponible -Orienter positivement la réflexion en citant les forces du terroir afin de générer davantage d'idées pour la «situation souhaitée» -Familiariser les participants à la notion d'échelle du «terroir» en symbolisant ses limites sur la riche image
-Quelles sont les différentes zones de fertilité identifiées ? (DIA <i>et al.</i> , 1999)	Utilisation de la photographie aérienne du terroir en format A2, de calque et de feutres par groupe de 15 préalablement formés Le rouge représente les zones les moins fertiles, le vert les zones les plus fertiles (comme pour la carte de bilan azoté présentée par la suite)	-Créer une atmosphère de confiance dans chaque groupe avec la méthode OPERA -Familiariser les participants au code couleur utilisé dans les cartes de restitution -Observer le gradient spatial de fertilité perçu par les villageois
	Présentation des bilans azotés : -importance de l'azote pour l'homme et les plantes -métaphore du bilan en utilisant du niébé pour représenter l'azote, un sac pour représenter le sol. Le bilan est illustré par l'addition ou la soustraction de niébé au sac (réserve du sol) Demande de réactions vis-à-vis de la carte obtenue par les enquêtes comparée aux cartes générées durant les ateliers	-Soulever les différences entre l'attendu et l'observé -Noter les éventuels biais de la méthodologie des bilans de fertilité

Tableau 3 : Questions des ateliers participatifs relatives aux pratiques agricoles

Questions autour des pratiques agricoles (40 min)	Méthode pour recueillir le point de vue des villageois	Outil de comparaison avec les résultats de l'enquête	Objectifs
Quelles zones bénéficient de parcage nocturne?	En session plénière directement : utilisation de la carte de bilan de fertilité comme support	Présentation des cartes de parcage nocturne, de fertilisation organique et minérale par superposition du calque sur la carte de bilan de fertilité	-Soulever le gradient d'importance locale des différents intrants
Où sont épanchés les engrais organiques?			-Relever d'éventuels biais dans la méthodologie des bilans de fertilité
Où sont épanchés les engrais minéraux?			
Le terroir présente-t-il un bilan de fertilité positif ou négatif ? Pourquoi ?	En session plénière directement Utilisation d'une métaphore comparant le village avec un grand ménage	-Présentation orale du bilan du terroir et de ses composantes majeures Demande de réactions -Présentation du deuxième village et de sa carte de bilan de fertilité Demande de réactions	-Connaître la perception de la durabilité du terroir par les différents acteurs -Discuter des pratiques agricoles et de leurs effets sur la fertilité du terroir -Faciliter la lecture des fiches individuelles

6.3.3 Quelle est la situation souhaitée ? (1h)

Pour aborder la « situation souhaitée » nous appliquons la méthode OPERA et reformons les groupes de 15 de la cartographie participative. Chaque groupe travaille autour des possibilités d'amélioration de la fertilité des terres. Afin de générer des idées plus originales dans le cas où les solutions imaginées ne concernent que des projets ou des financements extérieurs, nous posons la question secondaire suivante : «Quelles améliorations peuvent être apportées sans soutien extérieur d'ordre financier ou matériel?»

6.3.4 Conclusion des ateliers

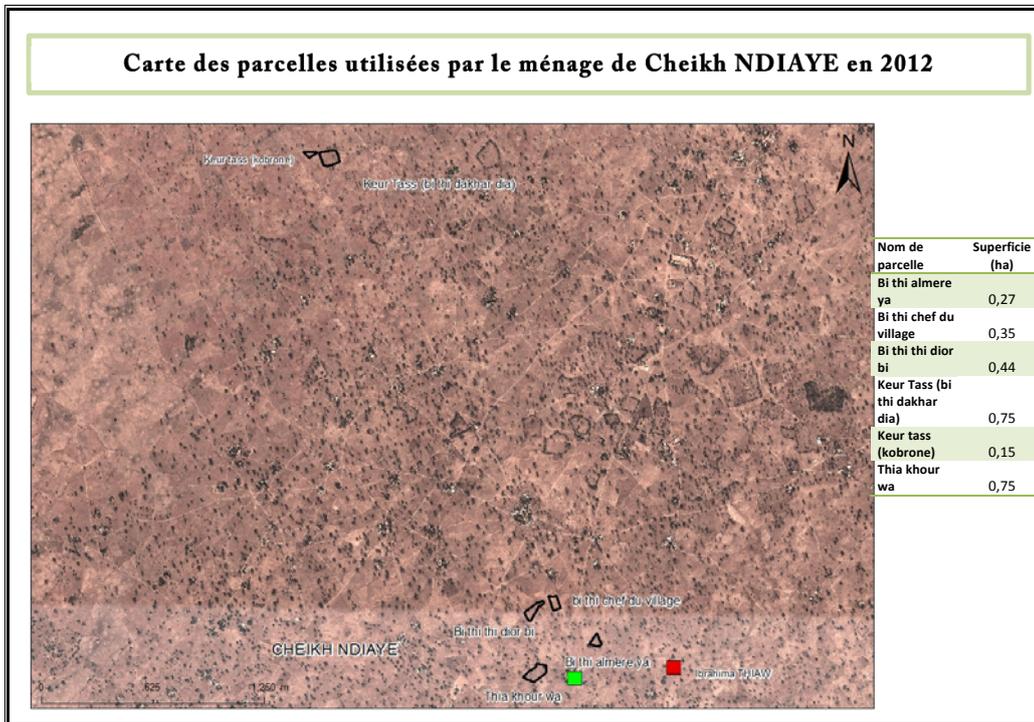
Pour conclure les ateliers, nous recueillons l'avis des villageois quant à l'étude (déroulement des enquêtes, relevé du parcellaire et ateliers participatifs). Ce retour est essentiel afin de perfectionner la méthodologie adoptée pour des travaux à venir, de mieux cerner les attentes des enquêtés et d'accentuer leur rôle dans la construction du projet.

Nous laissons deux types de supports au village. Le premier est une fiche individuelle pour chaque foyer. Elle contient le parcellaire du ménage à la demande des acteurs, ainsi que le bilan azoté du foyer explicité à l'aide de schémas afin de faciliter leur lecture (Figure 12).

Le deuxième type de support comprend deux toiles imprimées. La première de 2,25m² est la carte du bilan d'azote à l'échelle de la parcelle. Cette carte comprend l'ensemble des parcelles utilisées par les foyers du village en 2012. La deuxième est le graphique du bilan azoté du terroir en format A2. Ce graphique détaille la part de chaque catégorie d'entrées et de sorties du terroir. Ces deux toiles sont laissées au chef de village ou au notable du quartier dans le cas de Sassem.

Ces supports sont volontairement donnés aux acteurs locaux afin de servir de support de discussion avec les ONG ou les instances publiques puisque les acteurs sont copropriétaires de cette création (CHAMBERS, 2006 ; IPACC-CTA, 2010).

La méthodologie employée nous a permis de rassembler et d'analyser des données quantitatives et qualitatives. Ces données sont la base de la comparaison de la durabilité des terroirs. Les différences de gestion de la fertilité sont expliquées par la structure, l'histoire et les logiques divergentes de chaque terroir qui sont exposées dans la partie suivante.



Bilan azoté du ménage de Cheikh NDIAYE

L'azote est un des éléments nutritifs essentiels aux êtres vivants. Il est notamment particulièrement important dans la constitution des muscles.

Explication du rôle de l'azote pour l'Homme, la plante

Explication des catégories

Il est présent dans de nombreux aliments, par exemple :

Aliment	Teneur en azote (N)
Mil	1,8kg N par barigot
Sorgho	1,5kg N par barigot
Arachide	5,6kg N par barigot
Niébé	4kg N par barigot
Maïs	1,5kg N par barigot
Viande	2kg N pour 10kg
Poisson	0,3kg N pour 10kg

Exemples de teneur de azote dans les aliments

Il est non seulement nécessaire aux humains mais aussi aux plantes puisqu'il favorise leur croissance. Vous l'apportez à vos champs sous forme de fumier, de déchets ménagers ou d'engrais.

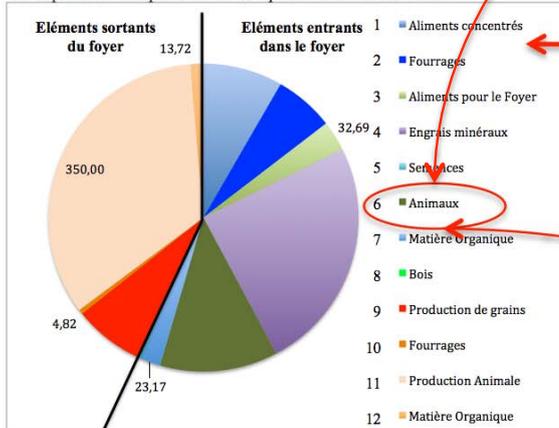
Produit épandu	Teneur en azote (N)
Fumier pur	1,6kg d'N par charrette
Fumier pailleux	0,6kg par charrette
Déchets ménagers	0,02kg par bassin

Exemples de teneur de azote dans les amendements

- o 1 : Les aliments concentrés sont par exemple le racal, le ripasse, le son de riz et le son de mil que vous avez achetés pour à vos animaux.
- o 2 : Les fourrages sont la fane d'arachide, la paille de mil et la fane de niébé que vous achetez ou l'herbe que vous récoltez hors de vos parcelles en saison des pluies
- o 3 : Les aliments pour le Foyer sont par exemple le riz, le mil, le maïs, la viande, le poisson que vous achetez pour nourrir votre famille
- o 4 : Les engrais sont l'urée, l'engrais mil ou l'engrais arachide achetés sur les marchés
- o 5 : Les semences sont uniquement les grains que vous avez achetés ou reçus pour semer vos champs
- o 6 : Les animaux entrants sont les animaux que vous avez achetés ou reçus
- o 7 : La matière organique entrante est le fumier que vous avez acheté, le parcage d'animaux de vos voisins sur vos parcelles, les résidus de culture que vos animaux ont prélevé lors de la vaine pâture
- o 8 : Le bois représente les achats de charrettes de bois
- o 9 : La production de grains représente la vente ou le don de vos récoltes
- o 10 : Les fourrages sortants sont les ventes ou dons de fane ou de paille ainsi que l'herbe qui a été collectée sur vos champs pour le bétail des voisins lors de la vaine pâture
- o 11 : La production animale est la vente ou le don d'animaux ou de lait
- o 12 : La matière organique sortante représente le parcage de vos animaux sur les parcelles de vos voisins, ou la divagation de vos animaux en vaine pâture sur les parcelles de vos voisins, ainsi que les résidus de culture qu'on consommé le bétail des voisins sur vos champs

A travers vos achats, vos ventes et vos dons vous importez et exportez de l'azote. Si l'on fait la différence entre l'ensemble de l'azote qui est entré et sorti de votre ménage, en 2012 vous avez importé 141kg d'azote (N).

Vos importations et exportation se sont réparties de la manière suivante :



Bilan en azote du foyer par catégorie

Schéma d'explication des catégories basé sur des photos prises dans le village

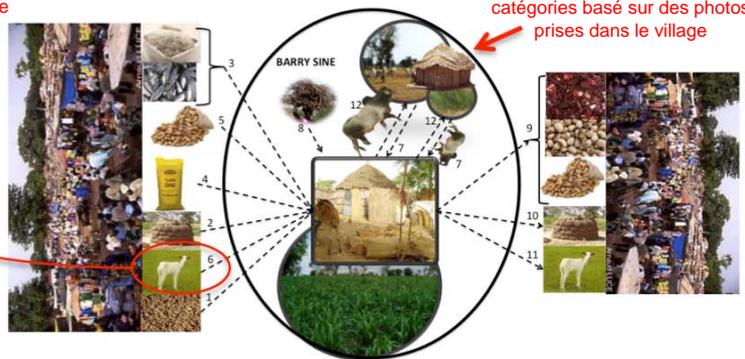


Figure 12 : Modèle de dossier individuel remis aux enquêtés à la fin des ateliers participatifs

PARTIE 3 : Résultats

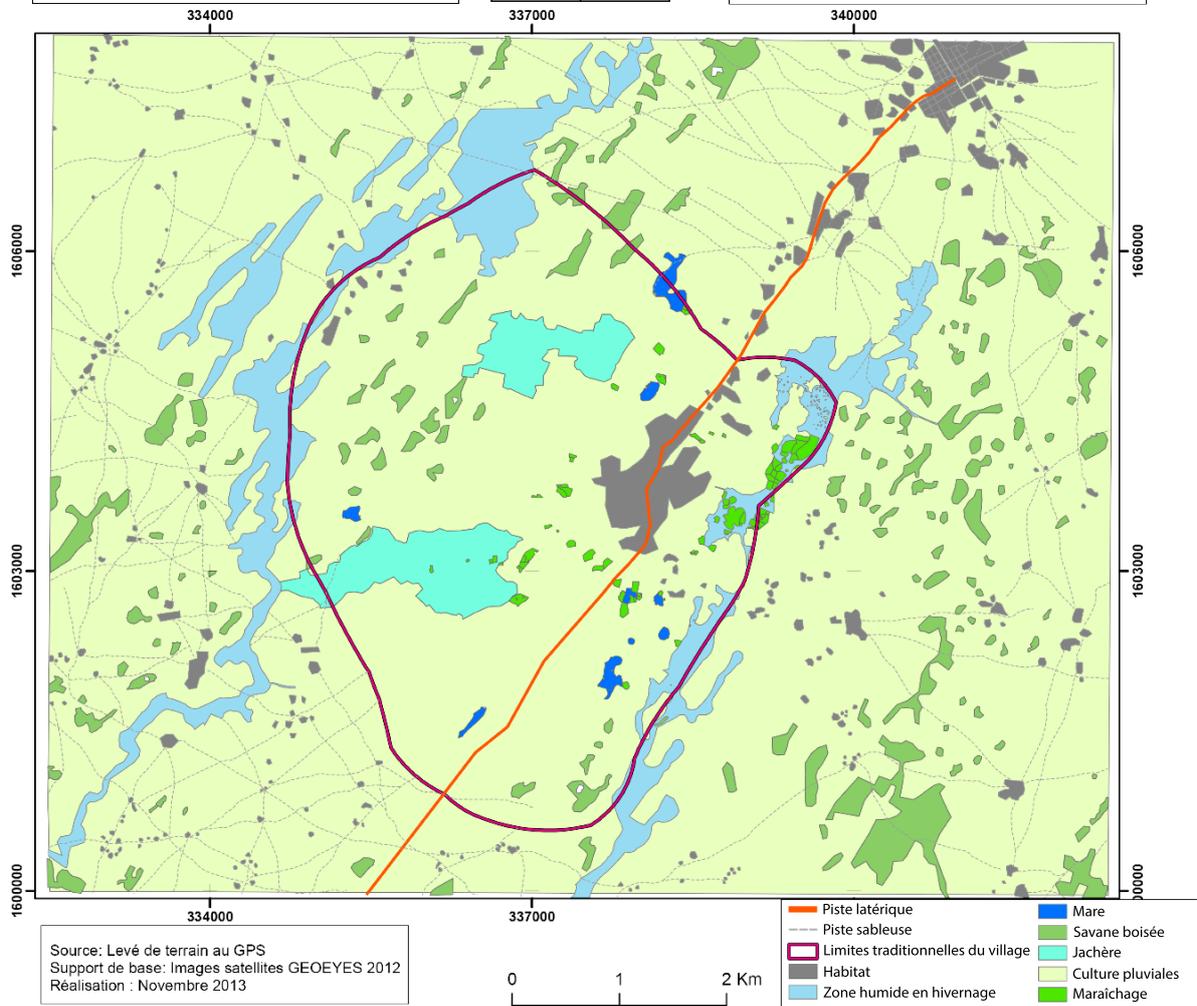
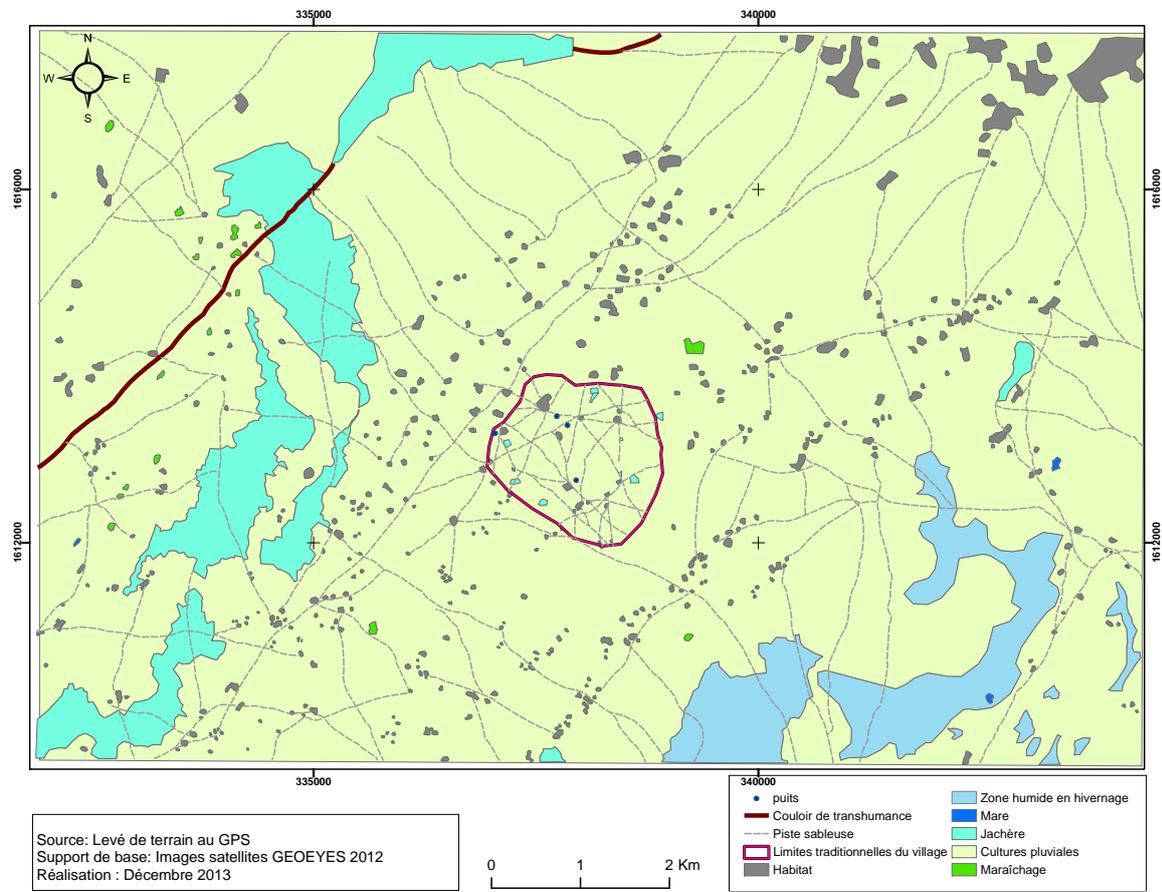


Figure 13 : Zonage agroécologique de Barry Sine et de Diohine en 2013

Source : NDIAYE et THIAW, 2013

La comparaison de la structure des villages est suivie par une analyse des flux de biomasse qui traduit les différentes pratiques agricoles pour ensuite décrire les bilans et efficacités azotés pluri-échelle et finir sur les perceptions des terroirs par les villageois ainsi que les dynamiques d'amélioration de la gestion de la fertilité des sols.

1 Structure des villages

1.1 Histoire des villages

Les villages de Barry Sine et de Diohine ont connu un développement distinct. Barry Sine a été fondé entre 1898 et 1905 (BECKER, 1984). Une mésentente entre un habitant de Barry Ndongol et le chef du canton a incité 30 chefs de ménage à migrer à la frontière des cantons du Sine et du Baol. Le développement du village aurait aussi des fondements administratifs puisque ces migrants devaient payer leurs impôts en double (à chaque canton). Finalement, le village a été attribué à la zone du Sine d'où son nom «Barry Sine» qui signifie les «huttes du Sine». Cependant, de nombreux villageois ont décidé de rejoindre la zone du Baol mais ont continué à utiliser les ressources hydriques du Sine. Les habitants de Barry Sine se sont rebellés mais ont perdu leur combat ainsi que l'accès à toutes les terres du fondateur (DIA *et al.*, 1999). Diohine est un village plus ancien puisqu'il a été établi avant le XX^{ème} siècle (ODRU, 2013).

1.2 Structuration de l'habitat

L'histoire des villages a généré une structuration différente de leurs terroirs. Il apparaît clairement dans la [Figure 13](#) qu'à Barry Sine, village issu de nombreux mouvements de population, l'habitat est morcelé. À l'inverse, Diohine est un «village centre» (ODRU, 2013). La concentration de ses habitations facilite la circulation de l'information. Ses foyers sont distribués en différents quartiers gérés par des notables sous l'égide du chef de village. Ainsi, à Diohine une certaine structure hiérarchique supérieure à la concession s'opère tandis qu'à Barry Sine, les figures sociales sont davantage reconnues à l'échelle de la concession du fait de la dispersion de l'habitat.

Le regroupement des foyers en concession est plus fort à Barry Sine ([Figure 14](#)) ce qui peut faciliter le partage des biens, notamment en ce qui concerne le matériel agricole. En effet, les terroirs comptent tous deux 27 concessions, cependant, Sassem recense 44 ménages contre 73 à Barry Sine. En revanche dans les deux villages, les concessions à foyer unique prédominent, symboles de l'individualisation des ménages.

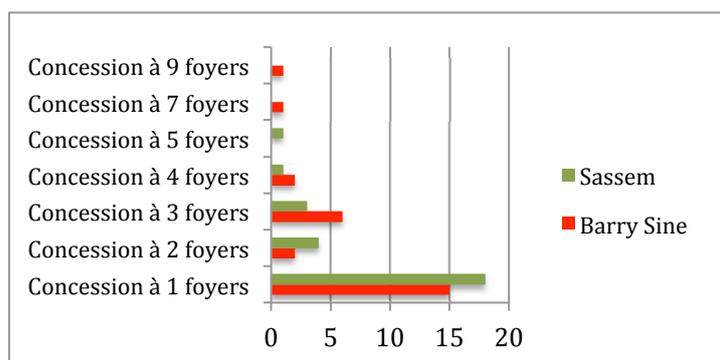


Figure 14 : Représentation de la répartition du nombre de ménages par concessions à Barry Sine et Sassem (d'après ODRU, 2013) en 2013

Diohine reflète un mode de construction plus proche du modèle traditionnel. Ce village est organisé autour de ses ressources naturelles, essentielles au maintien du troupeau sur le terroir. En effet, il est entouré par une superficie de 67ha de marigots, sources de fourrage en saison des pluies, soit 24% de la STT (Surface Totale du Terroir) du quartier de Sassem alors que Barry Sine ne comporte ni marigot, mares ou savanes boisées attenant à sa SAU.

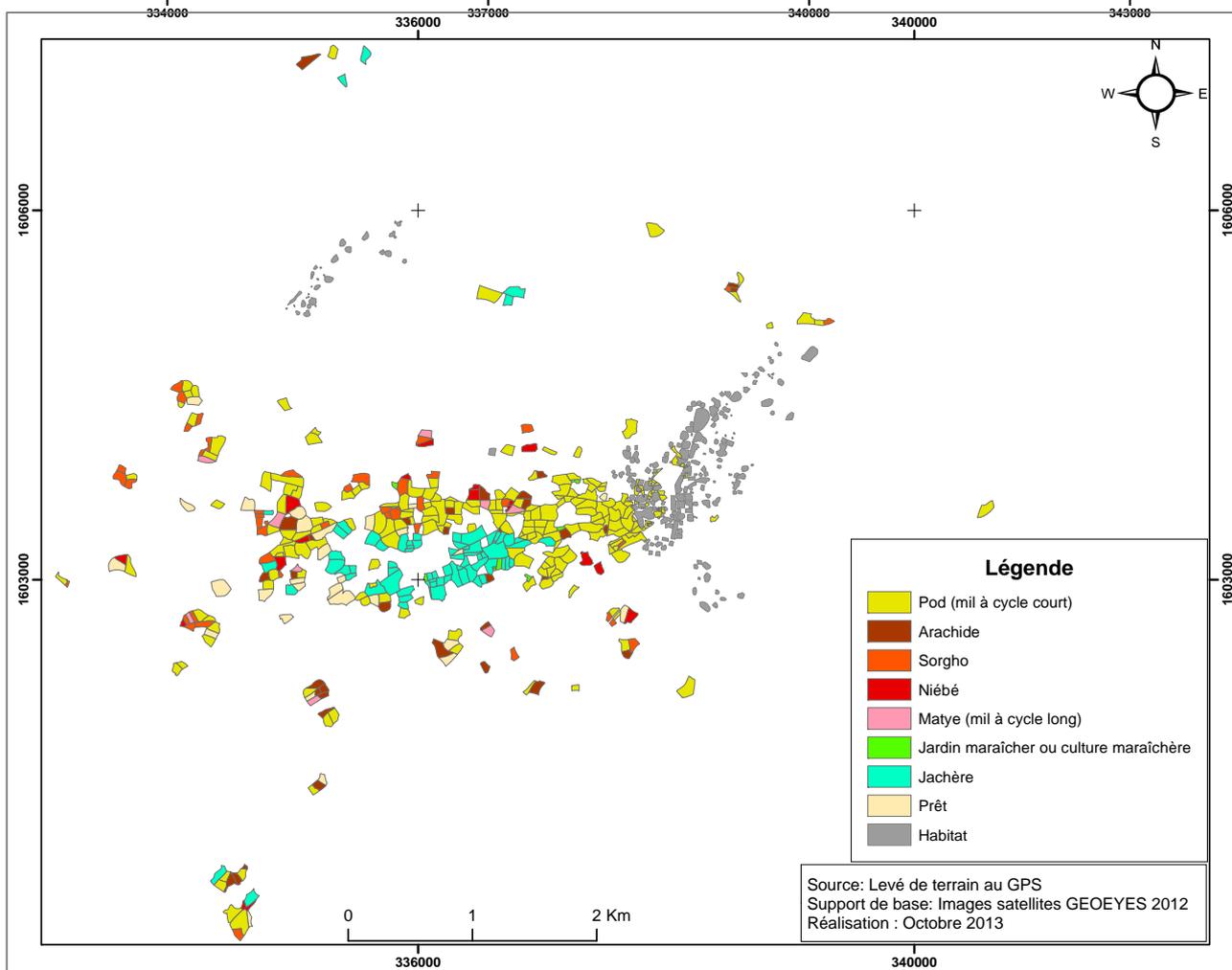
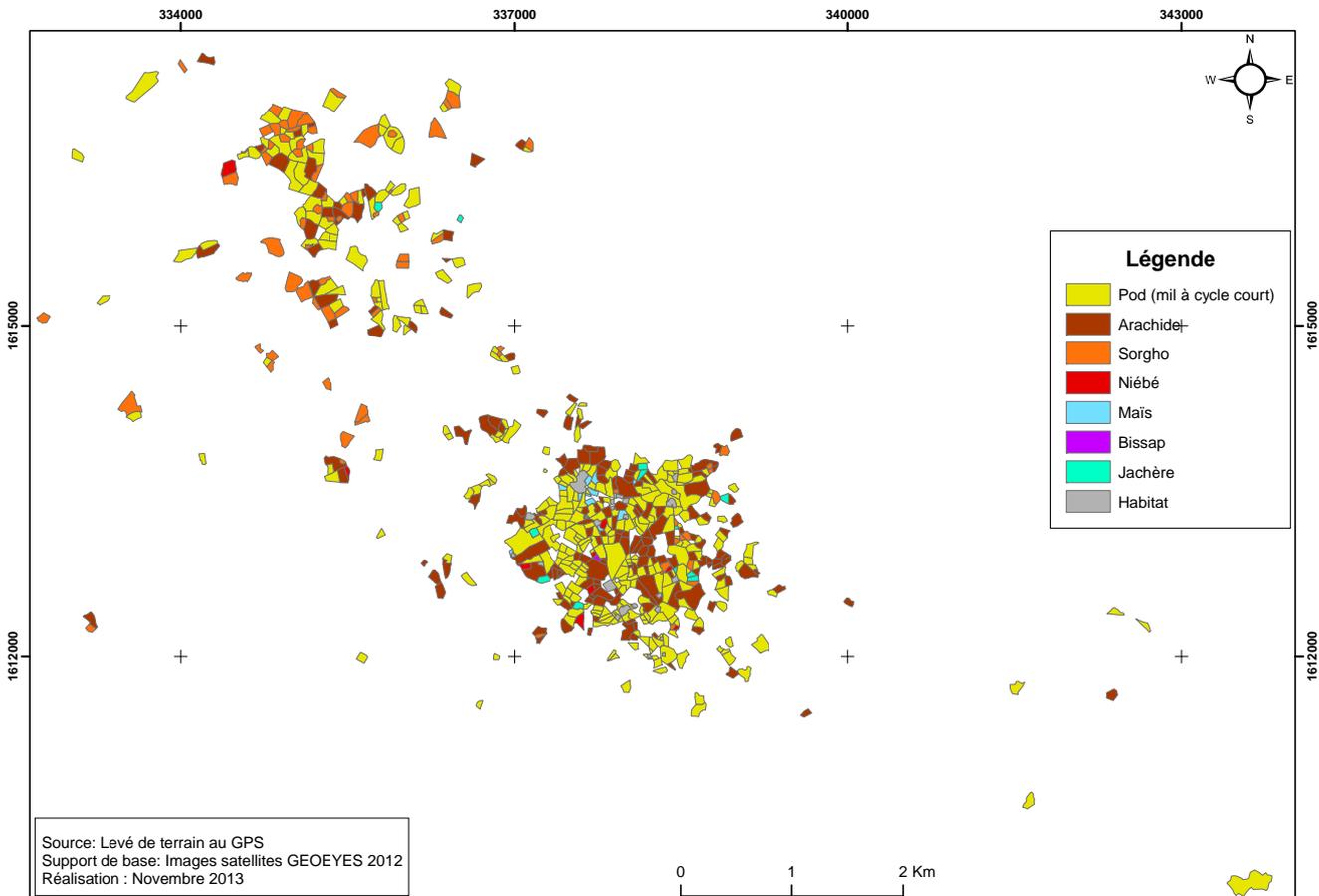


Figure 15 : Cartes de l'assolement culturel de Barry Sine et Sassem en 2012

Source : NDIAYE et THIAW, 2013

En cohérence avec les différences structurelles des villages, l'utilisation du sol des terroirs se distingue.

1.3 Population et surface disponible

Ayant un plus grand nombre de foyer par concession, Barry Sine dispose de ressources humaines qui fournissent une main d'œuvre plus intensive (3,2 habitants/ha contre 1,8 pour Sassem). Cette densité de population a incité les habitants de Barry Sine à dépasser les limites traditionnelles du village pour l'utilisation de parcelles. En effet, Becker en 1984, notait que les terres du lieu-dit de *Ndiokh* n'étaient pas cultivées à Barry Sine (BECKER, 1984). Or en 2012, on observe une large proportion de la SAU dans cette zone. Même s'ils ont étendu leur surface agricole, les habitants de Barry Sine considèrent avoir moins de parcelles éloignées (champs de brousse) que les habitants de Sassem⁴, ce qui se ressent dans la gestion des flux de biomasse décrite dans les parties suivantes (Annexe 10). Cette extension de la SAU n'a pas impacté le statut foncier des terres agricoles puisqu'une proportion similaire de parcelles sont empruntées (5,6% de la SAUT de Sassem contre 5,1% à Barry Sine). Or, la propriété des terres conditionne les pratiques agricoles. En effet, si l'utilisateur n'est pas assuré de pouvoir utiliser la parcelle l'année suivante, il n'y apportera pas de matière organique (WEZEL et RATH, 2002). L'extension du terroir de Barry Sine le dote d'une plus grande SAU par foyer (5,5ha contre 4,7ha à Sassem) ce qui impacte la diversité des cultures implantées.

2 Pratiques et équipements

2.1 Assolement

La densité de population joue un rôle capital sur les surfaces dédiées au bétail. À Barry Sine, où la densité de population est forte, les surfaces mises en jachères en 2012 sont moindres. À l'inverse, à Sassem, 20% de la SAUT est destinée au pâturage de saison des pluies (ODRU, 2013).

Cependant cette pression démographique n'a pas mené à la conversion de la surface dédiée aux cultures de rente en surface destinée à la production vivrière (mil). En effet, la culture de l'arachide a persisté à Barry Sine (30% de la SAUT à Barry Sine contre 7% de la SAUT à Sassem (ODRU, 2013)). Sassem, pour sa part, a développé d'autres cultures de rente telles que le maraîchage (Figure 15).

Les associations culturales sont davantage complexes à Sassem et ont permis la conservation du mil à cycle long (*matye*). Cependant, l'association du niébé en inter-rang est légèrement plus présente à Barry Sine qu'à Sassem⁵ (Annexe 11) ce qui démontre un meilleur accès des femmes aux parcelles.

Pour décrire les flux de biomasse agricoles des terroirs, nous suivons le cycle de production animale. Nous avons donc commencé par la ressource fourragère à travers l'assolement puisque l'utilisation du sol impacte la conduite de l'élevage. Par exemple, la surface emblavée en Fabacées est un indicateur du développement de l'embouche. Nous décriront ensuite les différentes pratiques d'embouche pour terminer avec la valorisation de la fumure organique et des autres types de fertilisation des parcelles qui impactent le bilan azoté.

⁴ d'après les enquêtes, 53% des parcelles de Sassem sont considérées comme éloignées de la concession (champs de brousse) contre 83% à Sassem

⁵ d'après les enquêtes, 66% de la SAUT a été semée en niébé à Barry Sine contre 53% à Sassem (Odru, 2013)

2.2 Embouche

L'embouche bovine n'est pas pratiquée dans la même mesure pour les deux villages. À Barry Sine, on compte 64% des ménages qui engraisent en moyenne 3 UBT contre seulement 11% ménages pour Sassem dont les lots engraisés sont deux fois plus petits. À Barry Sine, la pratique semble être purement commerciale puisque 4/5^{ème} des effectifs sont achetés à l'extérieur du village et sont engraisés sur une longue durée (6-7 mois). Sassem tend davantage à valoriser son troupeau transhumant par l'embouche de finition sur une courte durée (2-3 mois).

Suivant le même modèle, l'embouche ovine est 10 fois plus développée à Barry Sine⁶. La pratique semble plus intensive dans ce village puisque la durée d'engraissement pour l'opération Tabaski est réduite à 1-3 mois (3,5-4,5 pour Sassem). Cependant les habitants de Barry Sine ont également développé l'embouche ovine de finition⁷ visant à valoriser les agneaux des troupeaux traditionnels sur une longue durée (7-8 mois).⁸

Tableau 4 : Comparaison de l'alimentation d'embouche par catégorie d'animaux pour Barry Sine et Sassem (d'après ODRU, 2013) en 2012

Type d'embouche	Fourrages (kgMS/UBT/jour)		Concentrés (kgMS/UBT/jour)	
	Barry Sine	Sassem	Barry Sine	Sassem
Embouche bovine	4,07	10,76	2,38	2,52
Embouche bovine de finition	7,93	7,6	3,65	1,38
Embouche ovine	5,6	4,62	2,6	7,9
Embouche ovine de finition	2,21	-	1,41	-

« - » signifie que ce type d'embouche n'est pas pratiqué dans le terroir
gradient de couleur pour les catégories « fourrages » et « concentrés » séparément allant du rouge (résultat inférieur pour la catégorie d'aliment considérée) au vert (résultat supérieur pour la catégorie d'aliment considérée)

Le tableau ci-dessus montre qu'au niveau quantitatif, Barry Sine intensifie sa pratique d'engraissement selon la durée d'embouche. En effet, les bovins issus du troupeau transhumant et les moutons achetés sont engraisés sur une plus courte période. Ils bénéficient d'une ration alimentaire plus élevée que les bovins achetés et les ovins issus du troupeau traditionnel. Ces derniers sont engraisés plus longtemps et peuvent par ailleurs divaguer lors de la saison sèche.

Sassem ne suit pas la même logique et semble intensifier l'engraissement du cheptel acheté (spécialement les bovins pour le fourrage et les ovins pour les concentrés) (Tableau 4).

Au niveau qualitatif, Barry Sine dépend davantage des imports puisque qu'une part prédominante de la ration est basée sur le son de riz et sur le son de mil industriel. Les ovins bénéficient de l'alimentation la plus diversifiée et la plus riche en azote puisque dans les deux villages, la fane de niébé, les feuilles d'*Acacia albida* ainsi que la fane d'arachide (pour Barry Sine seulement) leurs sont réservés (ODRU, 2013).

⁶ d'après les enquêtes, 55% des ménages ont adopté l'embouche ovine à Barry Sine contre 5% à Sassem

⁷ représentant 36% des UBT ovins engraisés

⁸ dans les deux villages, l'embouche caprine est mineure puisqu'elle ne concerne qu'un foyer dans chaque terroir

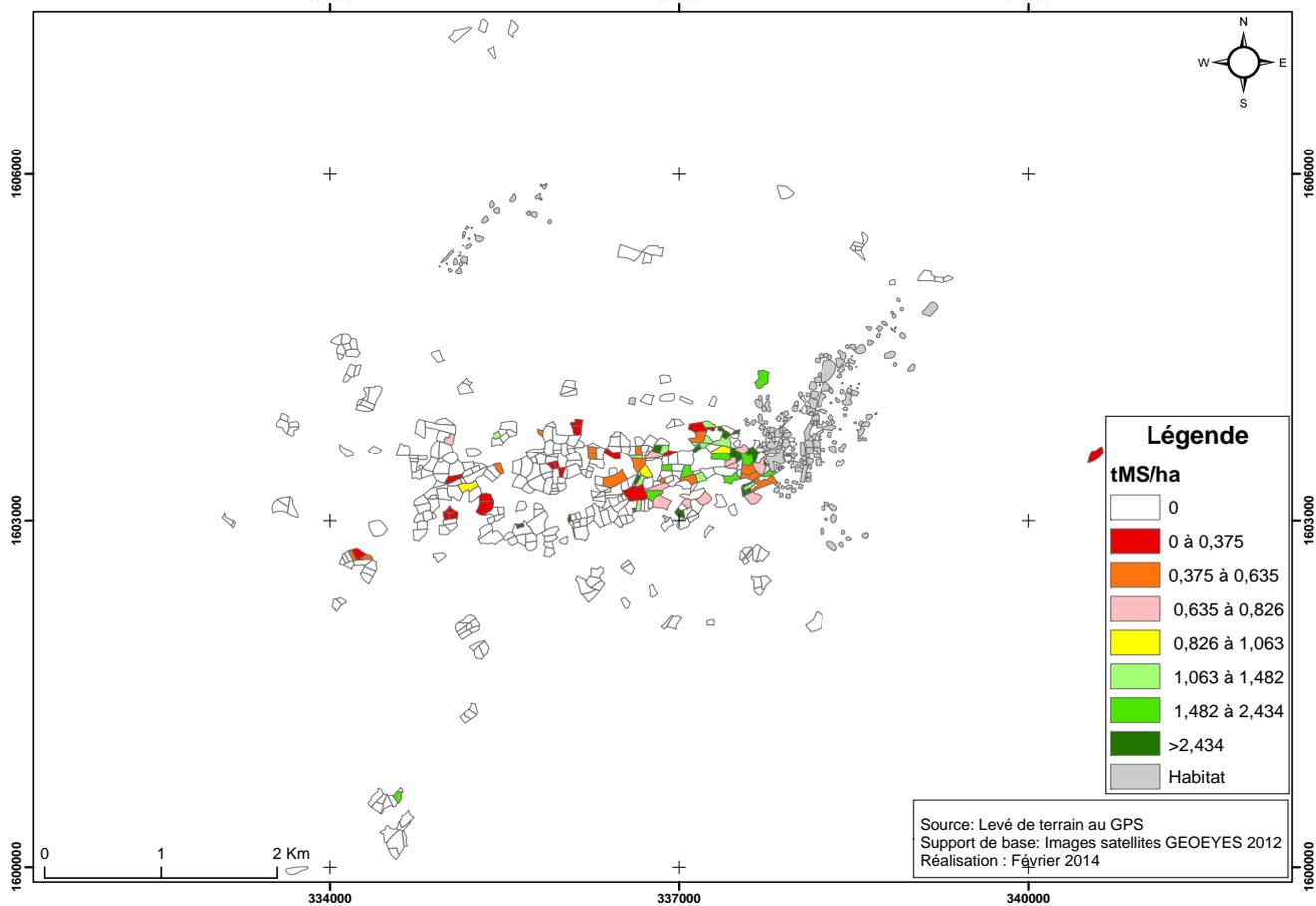
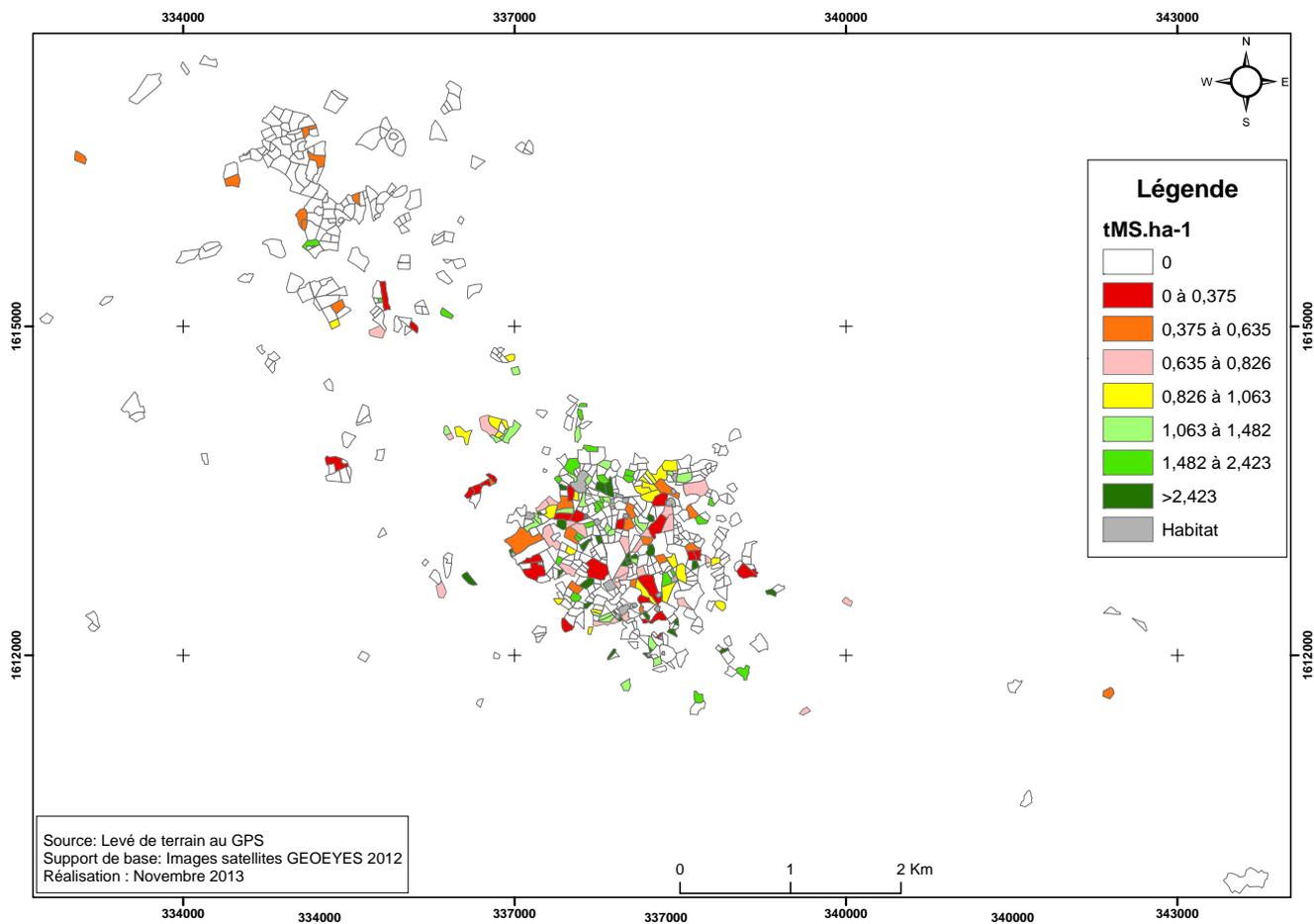


Figure 16 : Cartes de l'intensité de fumure pour Barry Sine et Sassem en 2012
Source : NDIAYE et THIAW, 2013

Après avoir étudié la pratique d'embouche, nous allons observer dans quelle mesure elle a impacté les pratiques de fertilisation.

2.3 Fertilisation

2.3.1 Le fumier

Si la dose moyenne de fumier épandu est assez similaire dans les deux villages⁹ et donne priorité aux parcelles des champs de case en cohérence avec le schéma traditionnel (Figure 16), l'équipement agricole de Barry Sine lui permet de fumer une plus grande part de sa SAU (Tableau 5).

Tableau 5 : Comparaison des équipements agricoles et de la fumure des parcelles pour Barry Sine et Sassem (d'après ODRU, 2013) en 2012

	Barry Sine	Sassem
Ménages possédant une charrette (%)	86	48
Ménages possédant un âne ou un cheval (%)	93	98
UBT.an/ha SAUT	2,31	0,96
Parcelles ayant reçu un apport organique (% SAUT)	30,5	23,7

vert : résultat supérieur à celui du second village

rouge : résultat inférieur à celui du second village

En effet, l'équipement agricole est déterminant dans la fertilisation des terres (DUGUÉ, 2000). Si une proportion assez similaire de ménages est équipée en animaux de traction, en revanche, Barry Sine possède davantage de charrettes. Non seulement, ses équipements agricoles lui permettent de mieux répartir cette fumure mais son chargement animal maintient des doses de fumier administrées assez similaires à celles de Sassem (en moyenne sur les parcelles épandues : 1,64 tMS/ha à Barry Sine et 1,69 tMS/ha à Sassem) (Tableau 5). De plus, le fumier de Barry Sine est de meilleure qualité puisque la quantité d'azote reçue par fumure organique est en moyenne supérieure à celle de Sassem¹⁰.

Si l'apport de fumier est un bon indicateur des effets de l'embouche sur la fertilité des sols, il n'est pas le seul intrant utilisé et ne représente que 12% des intrants azotés des parcelles à Barry Sine et 14% à Sassem. La déposition directe de fèces et d'urine par les flux de vaine pâture et par le parcage nocturne indiquent les apports des troupeaux transhumants et représentent une part importante des intrants (40% des intrants totaux des parcelles en termes d'azote à Barry Sine, 61% à Sassem,).

⁹ d'après un test de Student avec un risque inférieur à 7,10%

¹⁰ d'après un test de Student avec un risque inférieur à 2,67%

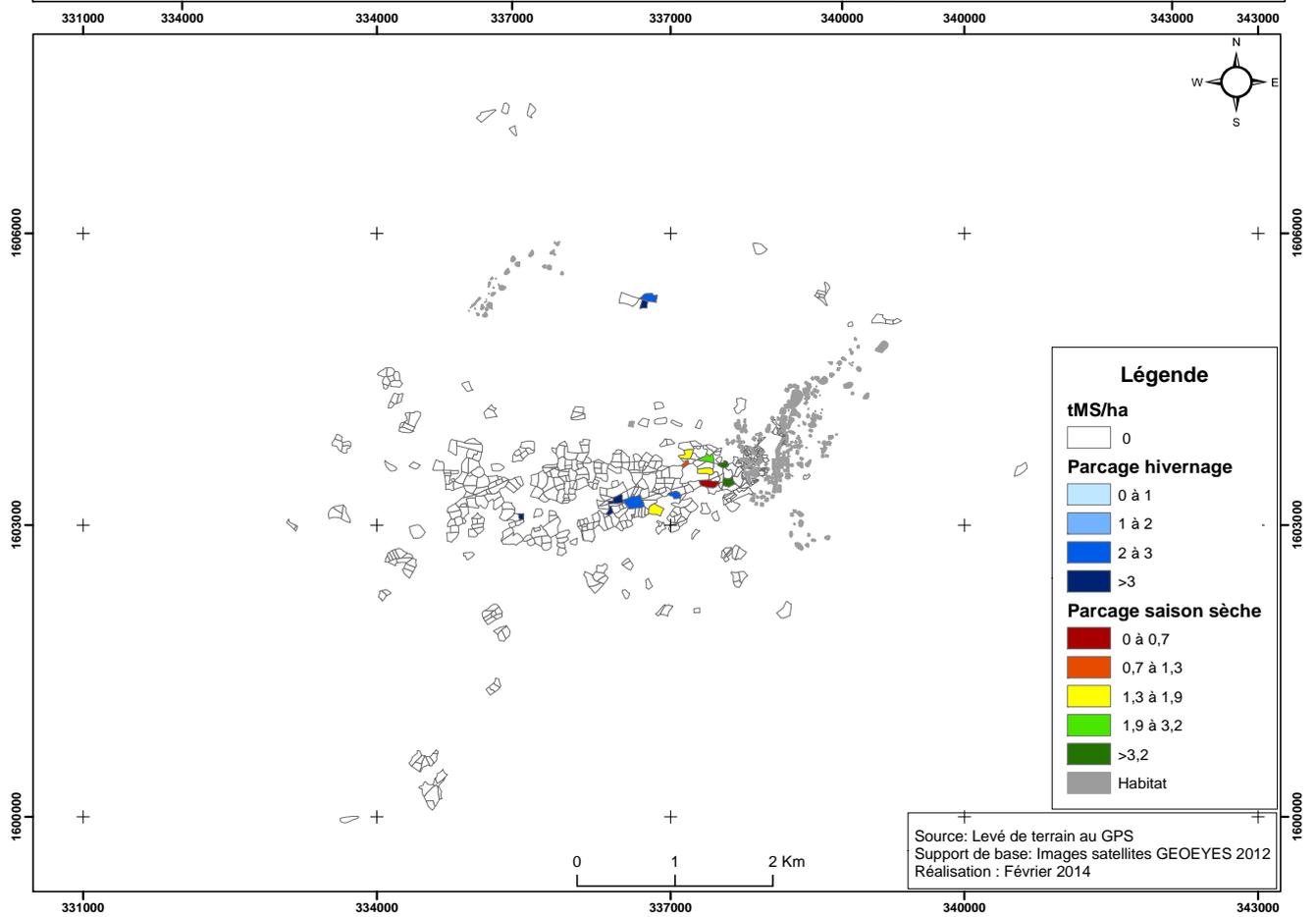
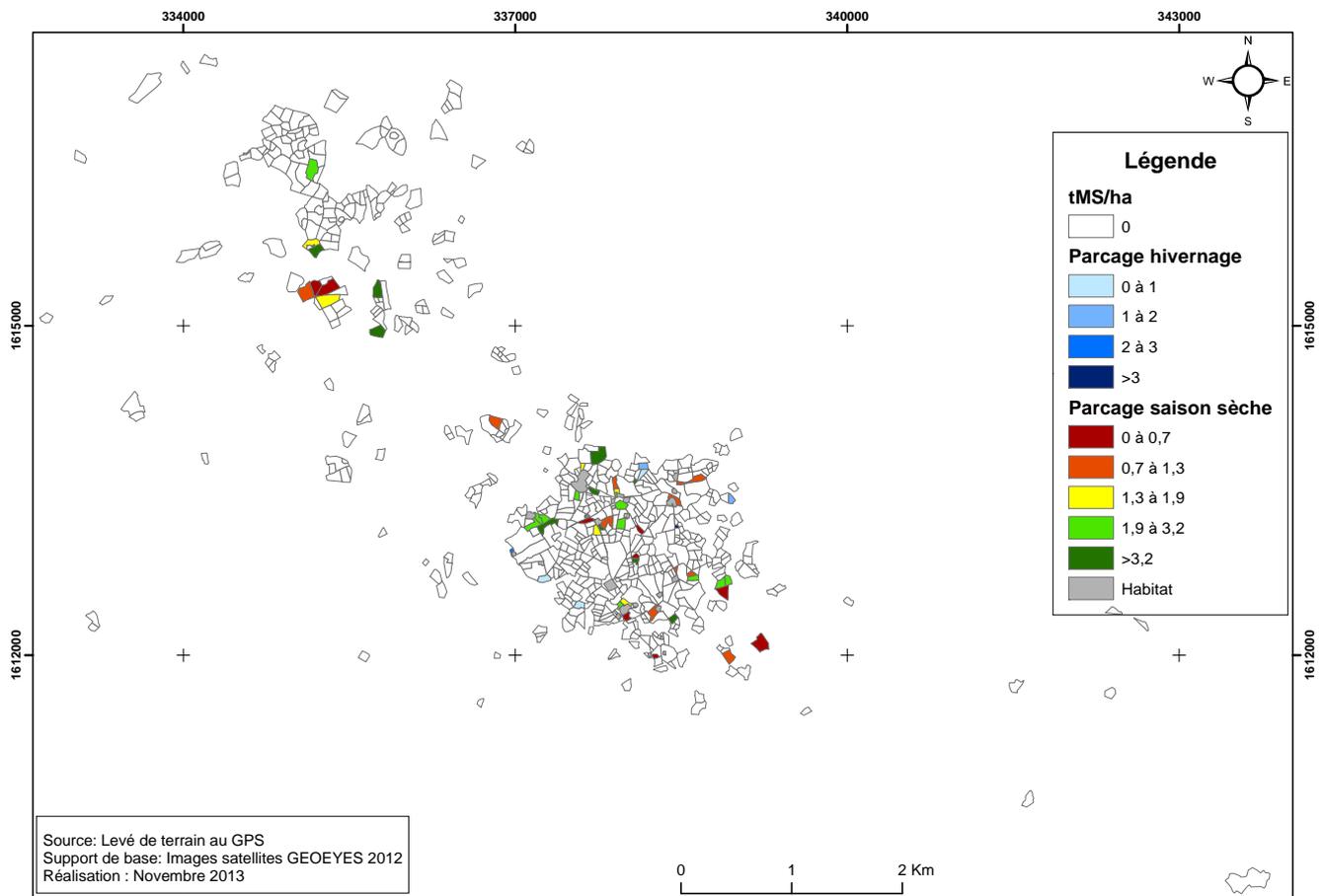


Figure 17 : Localisation des parcages nocturnes pour Barry Sine et Sassem en 2012

Source : NDIAYE et THIAW, 2013

2.3.1 La vaine pâture et le parcage nocturne

La vaine pâture permet aux foyers à faibles UBT de bénéficier de la fumure organique de leurs parcelles par des troupeaux d'autres foyers. En contrepartie, les foyers à larges UBT peuvent disposer de la biomasse végétale disponible sur ces parcelles. La vaine pâture fertilise les terres lorsque l'apport de nutriments (par les fèces du bétail) est supérieur aux exports de biomasse végétale (par le pâturage du bétail).

À Barry Sine, la vaine pâture joue son rôle de fertilisation des champs grâce à un fort chargement animal et au peu de biomasse végétale laissée au champ (5kgN/ha). La ration alimentaire des troupeaux traditionnels est complétée par la distribution de fourrages et de concentrés à la concession.

À l'inverse, à Sassem, le prélèvement de biomasse végétale surpasse les apports des dépositions de fèces et d'urine (-8kgN/ha en saison sèche, -26kgN/ha en saison des pluies dans la jachère collective) car une large part des coproduits est laissée à disposition des troupeaux traditionnels et transhumants. Dans ce village, le parcage nocturne constitue donc un réel vecteur de transfert de fertilité d'un ménage à l'autre.

Le parcage nocturne permet aux propriétaires de troupeaux de concentrer les dépositions de fèces et d'urine sur leurs propres parcelles alors que le bétail ne consomme pas de biomasse végétale à la tombée de la nuit. Il est de manière générale assez peu appliqué dans les deux villages en conséquence de la transhumance prolongée des troupeaux. Cependant, le parcage nocturne représente dans les deux villages davantage d'intrants azotés à l'échelle de la parcelle que le fumier.

La pratique du parcage nocturne d'hivernage est conditionnée par la part d'espaces cultivés et de parcours animal dans l'assolement. À Sassem, le parcage nocturne d'hivernage est pratiqué sur une portion de la surface 10 fois plus élevée (2,7% de la SAUT contre 0,2% à Barry Sine) et de manière plus intensive (3,95tMS/ha contre 1,75tMS/ha à Barry Sine sur les parcelles parcquées). En conséquence, il représente la première source d'azote des parcelles.

En revanche, le parcage nocturne de saison sèche est 10 fois plus pratiqué à Barry Sine (38,6% de la SAUT contre 3,0% à Sassem). Il couvre davantage de zones agroécologiques à Barry Sine puisqu'il est réservé aux champs de case à Sassem où il renforce les apports de fumier (Figure 17). Cette fois-ci, la quantité de fumure déposée est en moyenne plus élevée à Barry Sine¹¹ (2,57tMS/ha pour 2,40tMS/ha à Sassem sur les parcelles parcquées).

¹¹ d'après le test de Student avec un risque inférieur à 0,68%

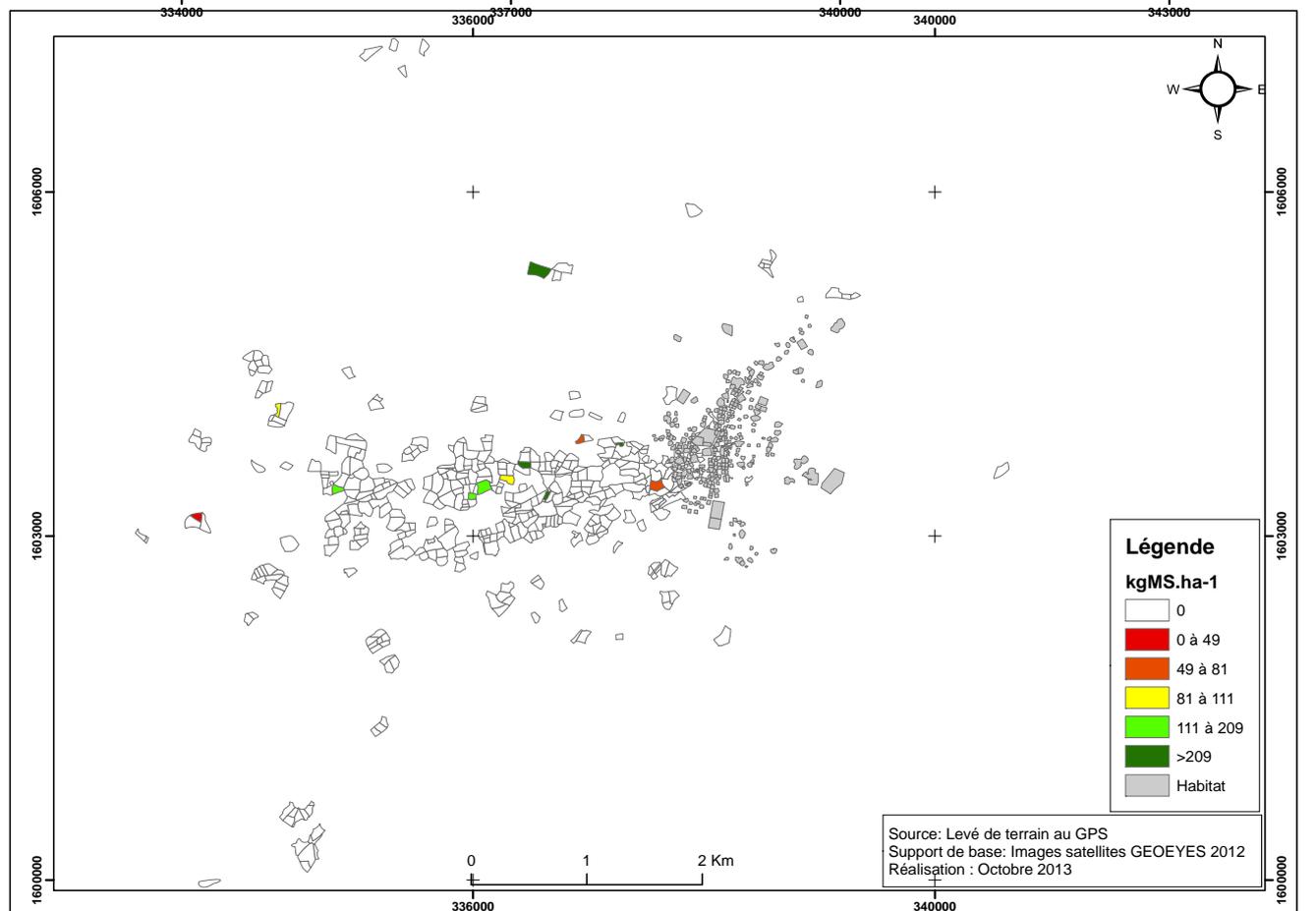
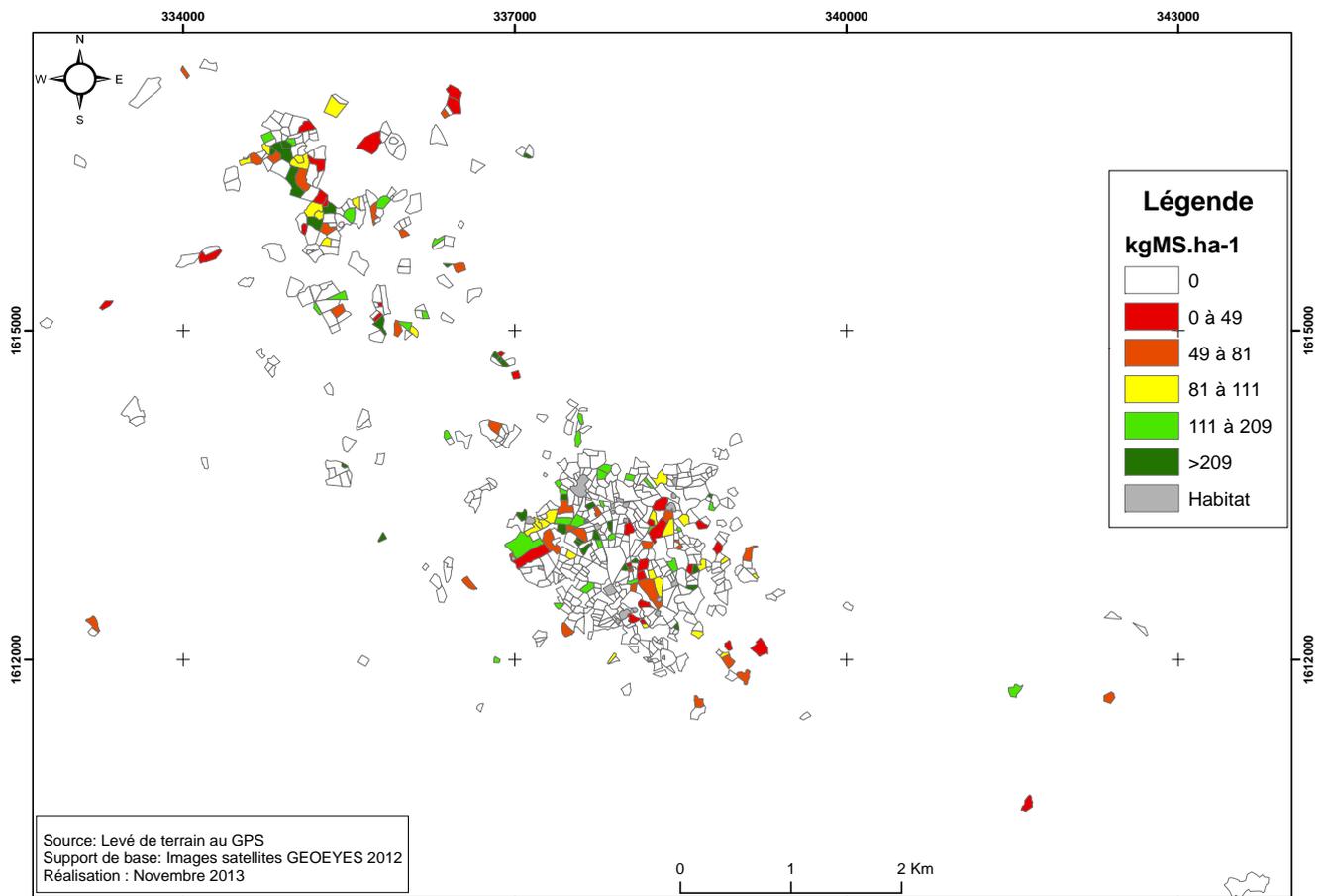


Figure 18 : Localisation des épandages d'engrais minéraux pour Barry Sine et Sassem en 2012

Source : NDIAYE et THIAW, 2013

2.3.1 Les engrais minéraux

L'épandage des engrais minéraux n'est pas lié de manière directe aux pratiques d'élevage mais diffère dans les deux terroirs et joue un rôle prépondérant dans la fertilisation des terres. Il fournit la majeure partie des intrants azotés à l'échelle des parcelles de Barry Sine (26%) contre seulement 8% à Sassem.

De nouveau, Barry Sine semble gérer son système agricole de manière plus intensive. L'épandage d'engrais minéraux y est 10 fois plus élevé en termes de surface (27% de la SAUT à Barry Sine et 2% à Sassem) et de doses appliquées¹². Ces intrants atténuent la concentration de la fertilité dans les champs de case puisqu'ils sont en priorité apportés aux champs de brousse (Figure 18). Sur les parcelles qui bénéficient d'un apport d'engrais minéraux c'est en revanche à Sassem que l'on trouve la dose moyenne la plus élevée avec 198kgMB/ha en moyenne contre 130kgMB/ha à Barry Sine.

Après avoir analysé les principaux intrants des parcelles, nous observons désormais leur impact en termes de rendement, de bilans et d'efficiences azotés.

2.4 Les rendements

En termes de matière brute comme d'azote, Barry Sine présente en moyenne un meilleur rendement que Sassem, tant pour les produits principaux (+39% d'azote) que pour les coproduits (+45% d'azote). Si l'on détaille ces résultats par culture, les deux villages présentent des stratégies de production différentes.

Tableau 6 : Comparaison des rendements pour Barry Sine et Sassem (d'après ODRU, 2013) en 2012

Rendement (kgMB /ha)	Barry Sine	Sassem	Différence
Culture principale			
Mil (<i>pod</i>) champ de case (épis)	795	1014	+28%
Mil (<i>pod</i>) champ de brousse (épis)	661	462	-30%
Arachide (coque)	423	429	+1%
Sorgho (épis)	780	481	-39%
Mil (<i>matye</i>) (épis)	-	604	-
Maïs (rafle)	1052	-	-
Niébé (grain)	259	-	-
Culture associée			
Mil (<i>pod</i>) (épis)	125	181	+45%
Sorgho (épis)	63	246	+290%
Niébé (grain)	48	70	+46%
Bissap (fleur)	13	18	+38%

« - » signifie que la culture n'est pas semée dans le terroir

vert : résultat supérieur à celui du second village

rouge : résultat inférieur à celui du second village

Barry Sine semble favoriser ses champs de brousse (mil et sorgho) qui présentent des rendements plus élevés qu'à Sassem (Tableau 6). Ces gains de rendement peuvent être attribués à la meilleure répartition des intrants. En effet, les rendements en grain sont principalement corrélés aux flux issus de la vaine pâture et aux engrais qui favorisent les champs de brousse, devant le fumier favorisant les champs de case¹³.

¹² significativement différentes d'après le test de Student avec un risque inférieur à 0,01%

¹³ d'après une ACP (Analyse en Composantes Principales, test de Pearson)

Sassem, pour sa part, démontre de plus hauts rendements de mil en champ de case qui bénéficient à la fois du fumier et du parcage nocturne de saison sèche.

Sassem a conservé des systèmes de cultures traditionnels tels que le *ndonate* (association de cultures principales avec du mil, du sorgho ou de arachide). Barry, pour sa part, a simplifié ces associations culturales qui sont désormais accidentelles (repousses). Ainsi, Sassem présente des rendements de culture en inter-rang supérieurs.

Tableau 7 : Comparaison de la production en coproduits ramenée à la SAUT à Barry Sine et Sassem (d'après ODRU, 2013) en 2012

Production totale de coproduit (kgMS/ha)	Barry Sine	Sassem	Différence
Paille de mil	2418	1823	-25%
Paille de sorgho	2505	1067	-57%
Fanes d'arachide	696	1171	+68%
Fanes de niébé	498	616	+24%

vert : résultat supérieur à celui du second village

rouge : résultat inférieur à celui du second village

Bien que les rendements de mil en champs de case soient plus faibles à Barry Sine, il est à noter que son rendement global de pailles est bien plus élevé (Tableau 7). Il est en majorité corrélé à la densité arborée, au fumier et aux engrais minéraux à Barry Sine. Il dépend majoritairement des flux liés à la vaine pâture, du pâturage de saison des pluies, du fumier et de la densité d'arbres à Sassem¹⁴. En revanche, la production de fane est plus faible à Barry Sine.

On peut alors se demander si dans ce village, les pratiques et les variétés retenues par les agriculteurs n'ont pas privilégié la production de pailles.

Tableau 8 : Comparaison de la part de coproduits laissés au champ à Barry Sine et Sassem (d'après ODRU, 2013) en 2012

Part de coproduits laissée au champ (%)	Barry Sine	Sassem
Paille de mil	43	60
Paille de sorgho	13	44
Fanes d'arachide	0	31
Fanes de niébé	0	23

vert : résultat supérieur à celui du second village

rouge : résultat inférieur à celui du second village

La valorisation des coproduits diffère également entre les terroirs. Les habitants de Barry Sine, mis à part dans le cas du sorgho, récoltent une plus grande partie de leurs coproduits en favorisant la pratique d'embouche. Les habitants de Sassem privilégient davantage la vaine pâture en laissant une plus grande part de biomasse aux champs (Tableau 8).

Des pratiques agricoles analysées auparavant, celles qui ont le plus influencé les bilans azotés de Barry Sine furent le parcage de saison sèche et l'épandage des engrais minéraux. Pour Sassem, il s'agit des déchets ménagers et du parcage de saison des pluies¹³. La partie suivante détaillera l'impact de ces stratégies en termes de bilans et d'efficacités azotés.

¹⁴ d'après une ACP (test de Pearson)

3 Bilans azotés

3.1 À l'échelle de la parcelle

Les différences de pratiques agricoles des villages n'ont pas impacté de manière significative les bilans azotés des deux villages dont la moyenne et la médiane sont équivalentes¹⁵ (-23kgN/ha pour Barry Sine et -20kgN/ha pour Sassem) (Figure 19).

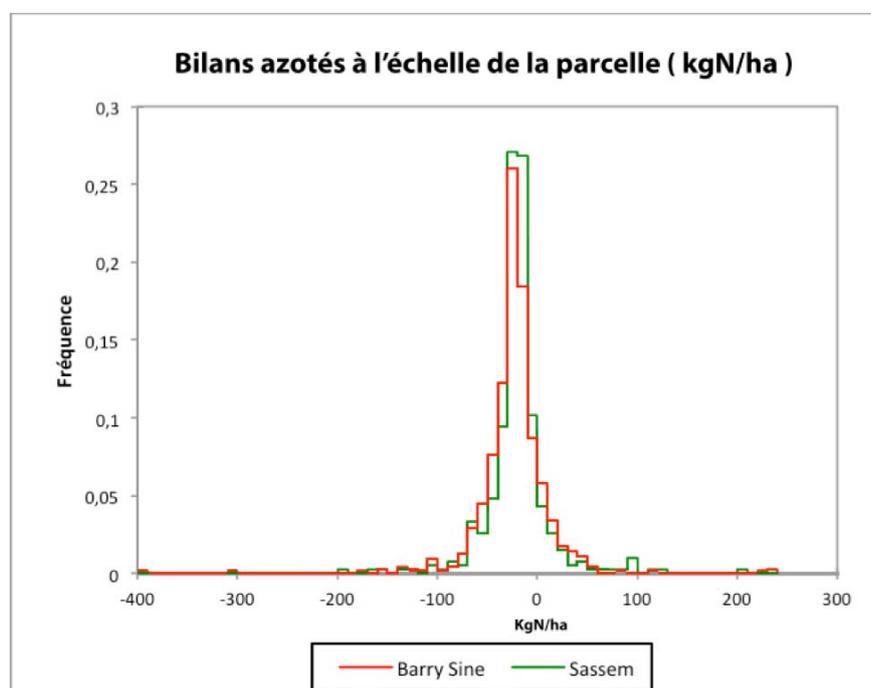


Figure 19 : Graphique de la répartition des bilans azotés par effectif pour Barry Sine et Sassem (d'après ODRU, 2013) en 2012

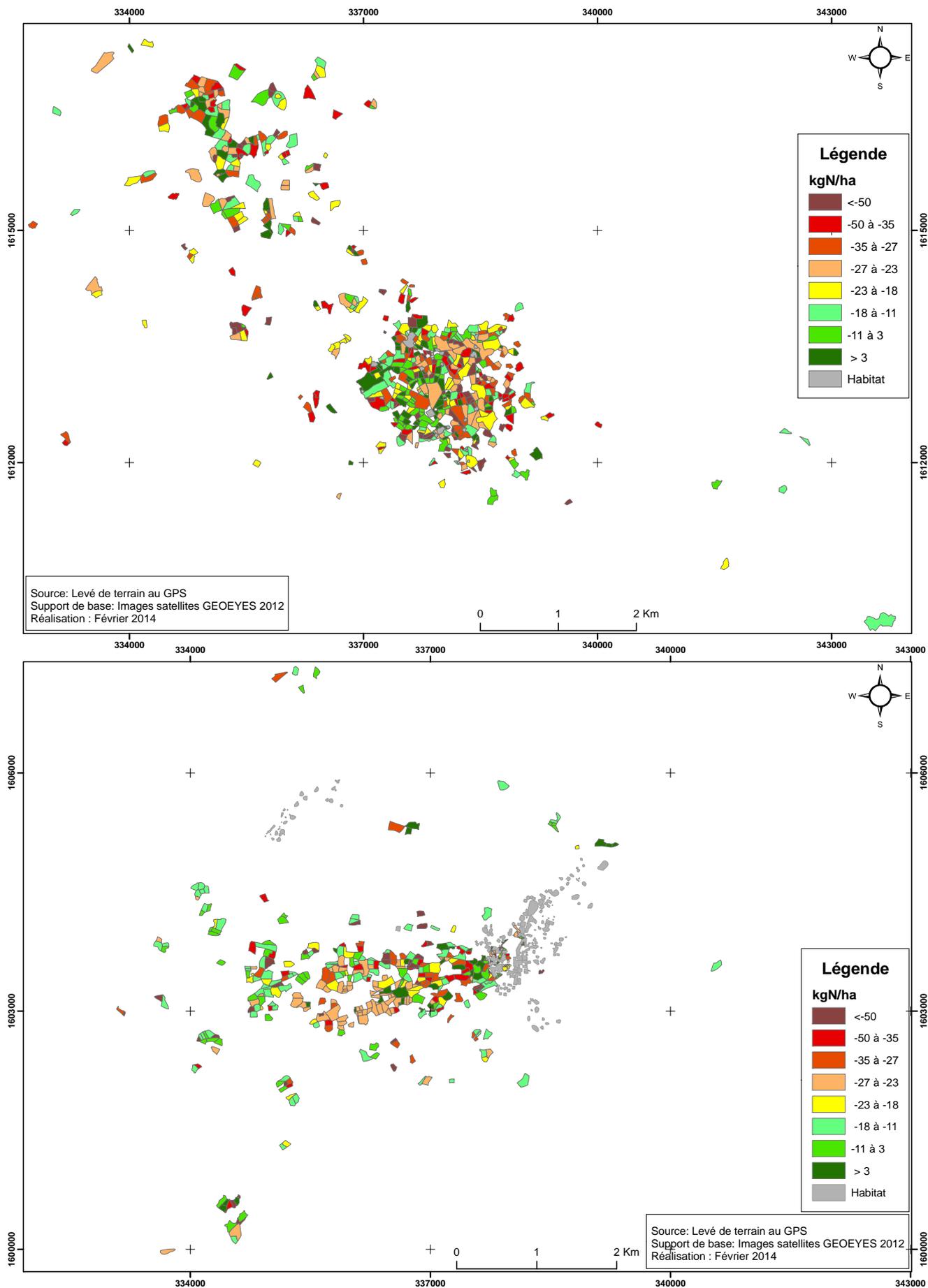
Si Barry Sine a bel et bien significativement davantage d'intrants par hectare que Sassem¹⁶, son bilan azoté est légèrement inférieur. Ce résultat s'explique par un gain de production (+15kgN/ha d'azote) qui surpasse le gain d'intrants (+10kgN/ha). En effet, les exports de fourrages en particulier pour l'alimentation d'embouche (coproduits et adventices récoltés) sont bien plus élevés à Barry Sine.

De plus, les parcelles de maraîchage et la zone de pâturage collectif, plus spécifiquement lorsqu'il est couplé avec le parcage nocturne, ont obtenu les meilleurs bilans azotés à Sassem¹⁷. Or, ces deux occupations du sol sont absentes des rotations culturales de Barry Sine entre 2010-2013. Finalement, la persistance de la culture de l'arachide peut mener à une sous-estimation des bilans azotés des parcelles. En effet, cette Fabacée fixe l'azote atmosphérique qui n'est pas considéré dans le bilan apparent. Les agriculteurs n'apportent donc que peu d'intrants à cette culture et les réservent généralement pour le mil. En effet, dans l'Annexe 12, on observe que l'arachide et le niébé sont parmi les cultures ayant les plus faibles bilans azotés dans les deux villages.

¹⁵ significatif d'après les tests de Student et de Mood avec un risque inférieur à 15,91% et 13,61%

¹⁶ d'après un test de Student avec un risque d'erreur inférieur à 0,01%

¹⁷ d'après une ANOVA (ANalysis Of VAriance, test de Fisher avec un intervalle de confiance de 95%)



Si l'on compare la répartition spatiale des bilans azotés (Figure 20) et d'après un test ANOVA, les bilans azotés de Sassem sont plus élevés en champs de case. Dans le cas de Barry Sine les parcelles à l'ouest semblent être favorisées ainsi que la zone de champs de brousse. Ces zones sont utilisées par les quartiers les plus peuplés du village (Mbin Madiab et Sobna au nord-ouest). Ainsi, on peut se demander si l'hétérogénéité des bilans azotés de Barry Sine (variance 1,5 fois supérieure à celle de Sassem¹⁸) peut être attribuée à la dispersion de son habitat. Cela expliquerait pourquoi le gradient de fertilité par auréole autour des concessions est moins visible.

Comparé à Sassem, le système de production de Barry Sine est beaucoup plus intensif. Cependant le gain d'intrants (+75% d'azote par rapport à Sassem) n'est pas proportionnel au gain de production exporté (+45% d'azote par rapport à Sassem). Ainsi, l'efficacité azotée des parcelles est plus faible à Barry Sine (4 contre 12 pour la moyenne, 3 contre 8 pour la médiane)¹⁹ (Figure 21)

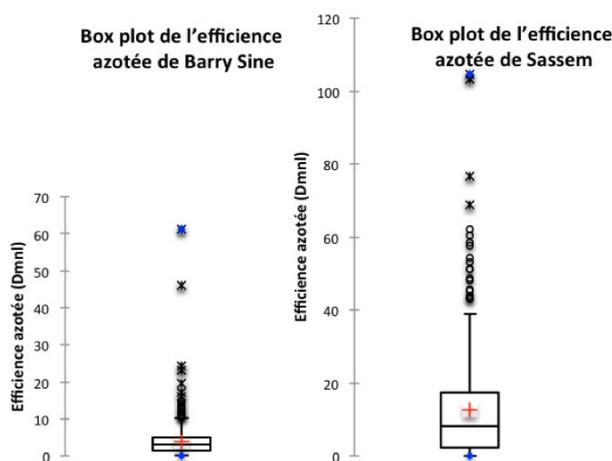


Figure 21 : Box plots de l'efficacité azotée pour Barry Sine et Sassem (d'après ODRU, 2013) en 2012

Dans les deux villages, l'efficacité azotée dépend de la zone agroécologique considérée. En effet, les rendements des champs de brousse sont moindres comparés aux champs de case. Cependant, l'apport d'intrant y est presque nul. Ils présentent donc significativement une plus haute efficacité azotée (d'après une ANOVA).

Le classement des cultures vis-à-vis de leur retour sur investissement d'azote est similaire dans les deux villages. Il démontre le faible accès aux intrants des femmes puisque le niébé, culture dédiée aux femmes, présente la plus haute efficacité azotée. Le sorgho, culture de champs de brousse reçoit peu d'intrants et présente la seconde meilleure efficacité azotée tandis que le *pod*, l'arachide et la jachère reçoivent davantage d'intrants et présentent donc une efficacité azotée plus faible (Annexe 13).

Si l'on compare les bilans azotés légèrement négatifs à leurs efficacités azotées, il apparaît que les rendements de l'année 2012 se sont en partie fondés sur la réserve azotée du sol et sur la fixation azotée des légumineuses, largement utilisées dans la zone, que cela soit en inter-rang dans le cas du niébé ou en rotation dans le cas de l'arachide.

¹⁸ 635 de variance à Barry Sine contre 404 dans le cas de Sassem.

¹⁹ différence significative d'après les tests de Student et de Mood avec un risque inférieur à 0,01%

3.2 À l'échelle du ménage

Les pratiques agricoles de Barry Sine ont conduit les acteurs de ce terroir à être plus dépendants des imports pour la pratique de l'embouche. Les ménages présentent globalement un bilan azoté plus élevé qu'à Sassem où l'embouche est peu pratiquée (24kgN/ha contre 13 kgN/ha à Sassem). Cependant, la capacité d'achat est très hétérogène selon les foyers à Barry Sine contrairement à Sassem où cette capacité est plus homogène²⁰. Les habitants de Barry Sine écoulent leurs productions hors du village avec une meilleure efficacité azotée (0,92 contre 0,78)²¹ ce qui traduit l'importance de son atelier d'embouche animale et donc de la gestion individuelle du terroir. En revanche, les échanges de matière organique²² entre foyers représentent les majeurs flux dans le cas de Sassem ce qui traduit l'importance de la vaine pâture et donc de la gestion collective du terroir.

Afin de mieux représenter la diversité des foyers quant à leur gestion de la fertilité, tout en reflétant les paramètres socio-économiques de chaque catégorie, une CAH (Classification Ascendante Hiérarchique) a été effectuée. Les variables environnementales prises en compte sont : les bilans et efficacités azotés à l'échelle du foyer et des parcelles utilisées par chaque ménage. Les variables structurelles comportent : le détail des flux convertis en azote, le chargement animal, la SAU et l'équipement agricole. Les variables sociales quant à elles ont inclus : la densité de population, l'âge du chef de foyer ou le nombre d'épouses. Les foyers des deux terroirs ont été répartis en 6 groupes : les Agriculteurs, les Nouveaux installés, les Arachidières, les Conservateurs, les Emboucheurs et l'Éleveur.

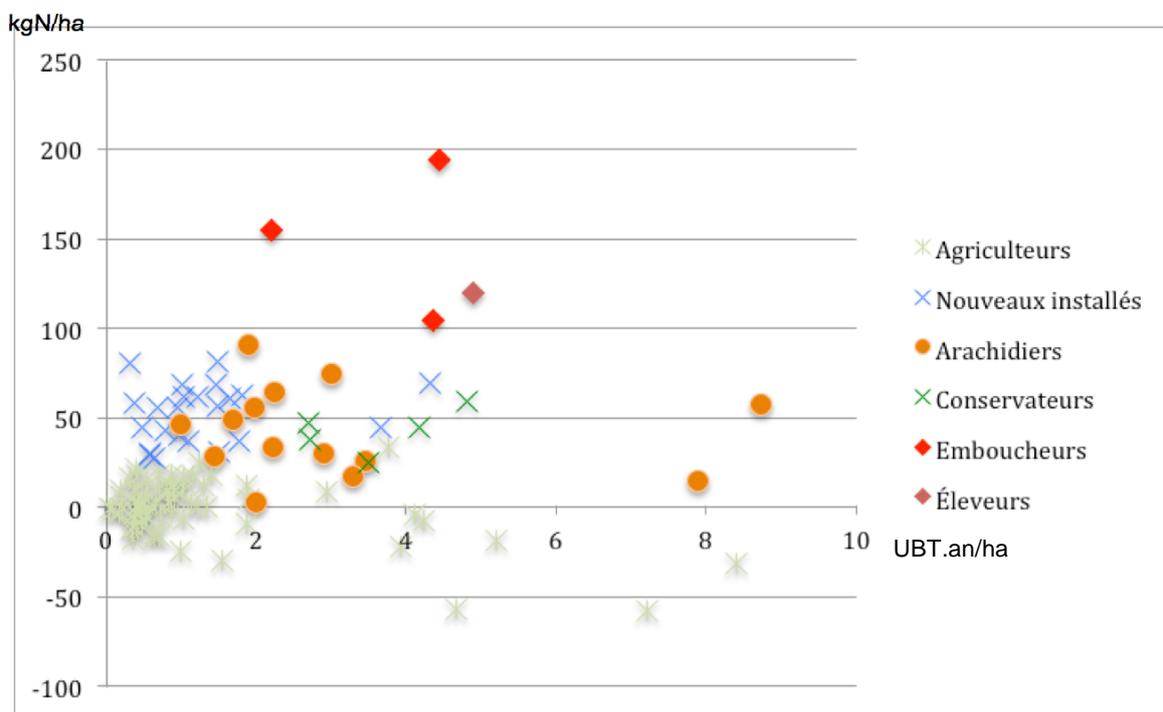


Figure 22 : Bilans azotés à l'échelle du foyer en fonction du chargement animal total par catégorie d'exploitation

²⁰ 49,6 d'écart type à Barry Sine contre 21,6 pour Sassem

²¹ écart type de 0,84 à Barry Sine contre 0,68 à Sassem

²² apparentée aux prélèvements de biomasse sur les parcelles d'autres foyer lors de la vaine pâture pour les entrées, aux dépositions de fèces et d'urine par des troupeaux d'autres foyers sur les parcelles du foyer concerné pour les sorties

Tableau 9 : Typologie des foyers et caractéristiques

	Agriculteurs	Arachidiers	Conservateurs	Nouveaux installés	Emboucheurs	Éleveur
Part des foyers	60%	12%	4%	20%	3%	1%
Part des foyers de Barry Sine	49%	19%	0%	26%	4%	1%
Part des foyers de Sassem	77%	0%	11%	11%	0%	0%
Bilan des foyers (kgN/ha)	-0,2	42,4	43,0	52,6	151,0	120,3
Bilan des parcelles (kgN/ha)	-22,9	-19,5	-17,4	-26,4	-26,0	-11,0
Chargement animal (UBT/ha)	1,3	3,1	3,6	1,3	3,7	4,9
Chargement en embouche (UBT/ha)	0,2	1,0	0,1	0,3	2,2	2,0
Âge de chef de foyer	54	57	59	52	54	66
Nombre de conjointes du chef de foyer	1,1	1,8	1,2	1,5	1,3	3,0
SAU (ha)	5,5	5,2	5,3	3,8	4,9	17,6
Entrées aliments (kgN/ha)	4,7	6,1	3,8	8,1	7,5	7,5
Bilan déjections par parcage (kgN/ha)	-0,9	-0,8	-2,7	0,1	0,0	0,0
Bilan déjections par vaine pâture (kgN/ha)	0,2	-0,1	-13,4	4,6	21,5	1,9
Bilan fourrage (kgN/ha)	-0,04	0,7	0,2	0,5	3,7	0,8
Population (unité/ha)	2,8	4,2	3,1	4,5	6,3	1,7
Bilan bétail (kgN/ha)	-4,2	-18,1	-0,6	5,4	27,2	-103,8
Fumier épandu (kgN/ha)	1,6	4,1	1,9	1,7	2,1	0,2
Nombre de houes (unité/ha)	0,2	0,4	0,2	0,3	0,3	0,2
Nombre de charrettes (unité/ha)	0,2	0,4	0,1	0,2	0,3	0,1
Entrées engrais (kgN/ha)	1,9	13,6	0,0	3,7	6,6	0,0
Part de la surface en arachide	19%	32%	8%	26%	20%	29%
Sorties produits principaux végétaux (kgN/ha)	0,7	1,7	0,3	0,4	0,5	0,7
Rendement des parcelles (kgN/ha)	7,5	12,6	7,3	9,2	4,4	11,5
Efficienc N	1,099	0,689	0,347	0,244	0,438	0,668
Part de la surface en jachère	11%	2%	19%	2%	0%	0%
Bilan biomasse végétale par vaine pâture (kgN/ha)	-3,3	0,0	44,1	-0,7	-1,9	-0,2
Part de chefs de concession	46%	43%	100%	39%	33%	0%

gradient de couleur pour chaque indicateur séparément allant du rouge (résultat inférieur pour l'indicateur considéré) au vert (résultat supérieur pour l'indicateur considéré)

Les Agriculteurs présentent le plus faible bilan azoté (négatif) et chargement animal à l'échelle du foyer. Ainsi, le bétail des autres groupes pâture sur leurs terres en saison sèche. Ils se focalisent sur la production céréalière mais n'obtiennent pas de bons rendements. En conséquence, ils en viennent à vendre d'autres types de biomasse tels que le fourrage et même les déjections animales mais peinent à acheter des denrées alimentaires (riz importé). Cette catégorie représente la majorité des foyers, particulièrement dans le cas de Sassem.

Les Arachidières, à Barry Sine, sont les plus équipés en machines agricoles et fertilisent largement leurs terres avec des engrais minéraux. De plus ils pratiquent l'embouche et optimisent les doses de fumier épandues. Leur association avec d'autres producteurs leur permet de bénéficier du parcage nocturne de troupeaux d'autres foyers. Ces hautes doses d'intrants leur confèrent de hauts rendements et un assez bon bilan azoté à l'échelle de la parcelle. Les produits qu'ils récoltent sont en grande partie destinés à la vente.

Les Conservateurs sont des chefs de concession de Sassem qui ont conservé une large part de leur assolement en jachère. Ils sont gestionnaires troupeaux traditionnels et transhumants de taille moyenne. Leur bétail prélève de la biomasse sur les parcelles des autres foyers et la concentre sur leurs propres parcelles lors du parcage nocturne de saison des pluies. Cette pratique leur confère le second bilan azoté le plus élevé à l'échelle de la parcelle. Comme leurs troupeaux sont généralement partagés, ils participent à la fertilisation des parcelles d'autres ménages. Le prêt du bétail pour le parcage nocturne leur permet d'accroître leur SAU en empruntant les parcelles fumées l'année suivante. Leur santé financière ne semble cependant pas optimale puisqu'ils ont peu d'équipement agricole, des charrettes à traction asine plutôt qu'équine et achètent peu d'intrants (engrais et aliments).

Les Nouveaux installés regroupent les plus jeunes producteurs des terroirs. Ils ont peu de SAU, peu de bétail et basent leurs revenus sur la vente de fourrage. Ils prélèvent également de grandes quantités de ressources naturelles du terroir (adventices, bois). Ils sont aidés par d'autres foyers qui parquent leurs animaux sur leurs parcelles. Cependant, ces intrants ne compensent pas les exports des parcelles. Ils ont le bilan azoté à l'échelle de la parcelle le plus faible et puisent largement dans les réserves azotées du sol. Leur santé financière leur permet tout de même l'achat d'une grande quantité de denrées alimentaires.

Les emboucheurs, présents à Barry Sine seulement, sont des foyers très peuplés, à faible SAU. Ils bénéficient de revenus extérieurs puisque le chef de foyer travaille généralement à Dakar. Ils obtiennent donc le plus haut bilan azoté à l'échelle du foyer par de fortes importations de bétail et de concentrés. Ils privilégient une stratégie commerciale d'embouche et excluent la jachère de leur assolement. Les revenus générés leur permettent une assez bonne fertilisation minérale de leurs champs. Ils privilégient la production de fourrages plutôt que de grains qu'ils compensent par de hauts imports de denrées alimentaires. Leur forte densité animale les conduit tout de même à acheter des fourrages. Puisque leur cheptel est généralement entravé au sein de la concession et qu'ils ont peu de troupeaux traditionnels ou transhumants, ils parquent peu. Le cheptel d'autres foyers vient prélever de la biomasse végétale sur leurs parcelles lors de la vaine pâture et y dépose une forte concentration de fumure.

L'Éleveur est un ancien de Barry Sine dont la bonne santé financière, visible à travers ses équipements agricoles et le nombre de conjointes du chef de foyer, lui a permis d'accumuler de grandes superficies, un large troupeau transhumant et d'embouche (lot de 35 UBT embouchés). Il est assez indépendant des autres foyers puisque sa production végétale est élevée, qu'il échange peu de biomasse par la vaine pâture et ne prête pas son troupeau pour le parcage nocturne. De même que les emboucheurs, il a une surface assez importante en arachide et a exclu la jachère de son assolement (Figure 22 et Tableau 9).

Pour l'ensemble des types de foyer, le bilan moyen de leurs parcelles utilisées en 2012 est négatif. À Sassem, il est conditionné par le statut social du chef de ménage tandis qu'à Barry Sine, les foyers qui puisent le moins sur les réserves azotées du sol n'ont pas nécessairement un statut de chef de concession.

Les Nouveaux installés, les Emboucheurs et l'Éleveur semblent dans d'assez bonnes conditions financières, or mis à part l'Éleveur, ces types de foyer ont parmi les plus faibles bilans azotés à l'échelle de leurs parcelles.

Tableau 10 : Valorisation du fumier par type de foyer

Type de foyer	Présence du cheptel à la concession (UBT.h)	Fumier épandu par UBT.h à la concession (kgN/UBT.h)
Conservateurs	12505	0,00055
Agriculteurs	19431	0,00063
Nouveaux installés	24843	0,00030
Arachidiers	49274	0,00040
Emboucheurs	95522	0,00012
Éleveur	207541	0,00002

gradient de couleur pour chaque indicateur séparément allant du rouge (résultat inférieur pour l'indicateur considéré) au vert (résultat supérieur pour l'indicateur considéré)

Comme SCHLECHT *et al.* (2006) le dénotent, il semble donc que les objectifs des ménages diffèrent en fonction de leur situation financière et que les mieux dotés prêtent moins attention à la conservation de la fertilité des sols. En effet, dans le Tableau 10, on observe que les foyers qui ont le plus accès à la collecte de fumier (le plus d'UBT.h dans la concession) ont les plus faibles valorisations du fumier, malgré leur équipement en charrette. En revanche les Arachidiers et les Agriculteurs sont ceux qui valorisent le plus la fumure.

Après l'analyse des bilans azotés des foyers, nous verrons comment les pratiques des foyers ont impacté le bilan azoté des terroirs.

3.3 À l'échelle du terroir

Les deux terroirs sont importateurs (24,9 kgN/ha pour Barry contre 8,5kgN/ha à Sassem). Il apparaît clairement sur la Figure 23 que les niveaux d'ouverture des deux systèmes sont très distincts. En effet, les importations et exportations en azote de Barry Sine ramenées à la SAUT sont bien plus importantes qu'à Sassem.

Pour son atelier d'embouche, Barry Sine échange largement avec le marché extérieur. Ces flux constituent la majorité de ses imports azotés (49% pour le bétail, 34% pour les concentrés) et de ses exports azotés (97% pour le bétail). Parce que son activité d'élevage commerciale est moindre, Sassem dépend du marché externe autant pour l'alimentation humaine (37% des intrants azotés) que l'alimentation du bétail (34% des intrants azotés). Bien que ce terroir pratique peu l'embouche, la vente d'animaux constitue la majorité de ses exports azotés (65%). Le commerce de produits végétaux de Sassem est 7 fois plus restreint que celui de Barry Sine en termes d'azote. Ses imports azotés de produits végétaux sont également plus faible (deux fois moins de fourrages et de semences par hectare, et -23% de denrées alimentaires). Le terroir de Sassem s'inscrit donc dans une logique d'autoconsommation alors que Barry Sine s'est clairement ouvert au marché extérieur.

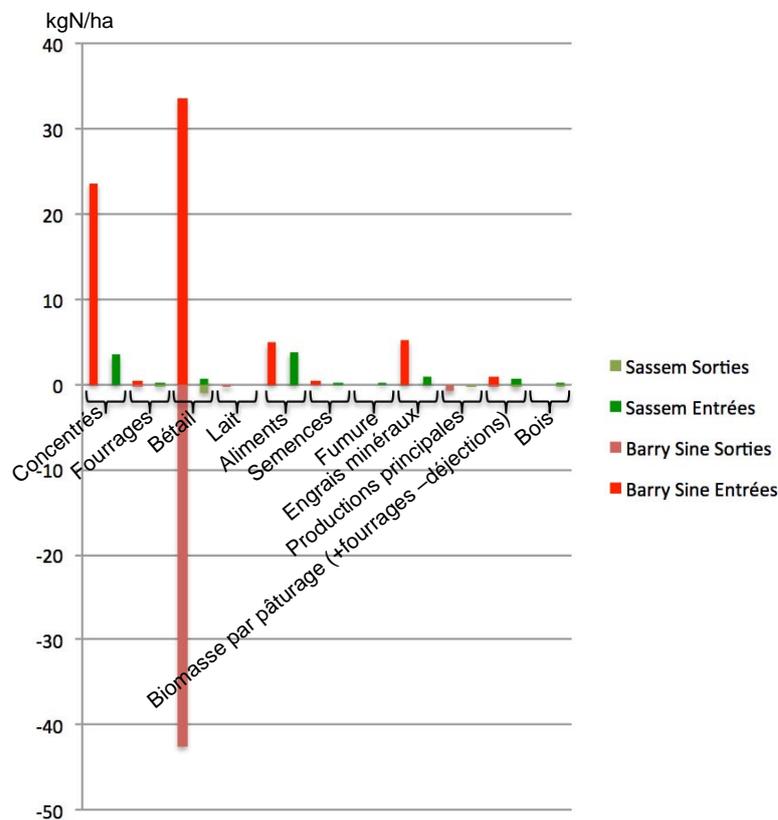


Figure 23 : Répartition du bilan azoté par rapport à la SAUT du terroir pour Barry Sine et Sassem (d'après ODRU, 2013) en 2012

Bien que toutes deux soient inférieures à 1, la stratégie commerciale de Barry Sine se révèle plus efficiente puisqu'elle est 4 fois supérieure à celle de Sassem en termes d'azote (0,64 contre 0,15).

3.4 Comparaison pluri-échelle

Tableau 11 : Comparaison multi-échelle des stratégies des villages

		Barry Sine	Sassem
Bilan azoté (kgN/ha)	Parcelle	-23,0	-19,8
	Foyer	25,1	12,7
	Terroir	24,9	8,5
Efficience azotée	Parcelle	3,84	12,50
	Foyer	0,89	0,78
	Terroir	0,64	0,15

gradient de couleur pour les catégories de bilan azoté et d'efficience azotée séparément allant du rouge (résultat inférieur pour l'indicateur considéré) au vert (résultat supérieur pour l'indicateur considéré)

Le Tableau 11 permet de révéler toute la pertinence d'une analyse pluri-échelle. Il apparaît une grande différence entre les résultats de l'échelle de la parcelle et ceux des deux autres échelles, tant pour le bilan azoté que pour l'efficience azotée. À Barry Sine, il semble donc que l'essentiel de l'azote se concentre aux échelles du terroir et du foyer. Ces deux échelles ont des résultats quasiment similaires du fait de nombreuses importations extérieures au village. À Sassem, l'essentiel de l'azote se concentre à l'échelle du foyer. Les importations externes sont faibles et le bilan azoté se fonde majoritairement sur l'utilisation des ressources naturelles du terroir (combustibles), sur les flux inter-foyers de la vaine pâture et du pâturage selon les densités d'UBT.

-tas de déchets ménagers commun

+rotation
+troupeau transhumant
+machines agricoles

Barry Sine

Sassem

matériel agricole
rotation

tas de déchets
ménagers commun

Hommes

+résidus de culture
+tas de déchets
ménagers commun
+arbres

Femmes

écailles de poisson
poules

+jachère
+poule
+parcage

-rotation
-machine agricole
-arbres
-résidus de culture
-parcage
-jachère
-troupeaux transhumants

-cendres
-déchets
ménagers

-poules
-écailles
le poisson

Légende:

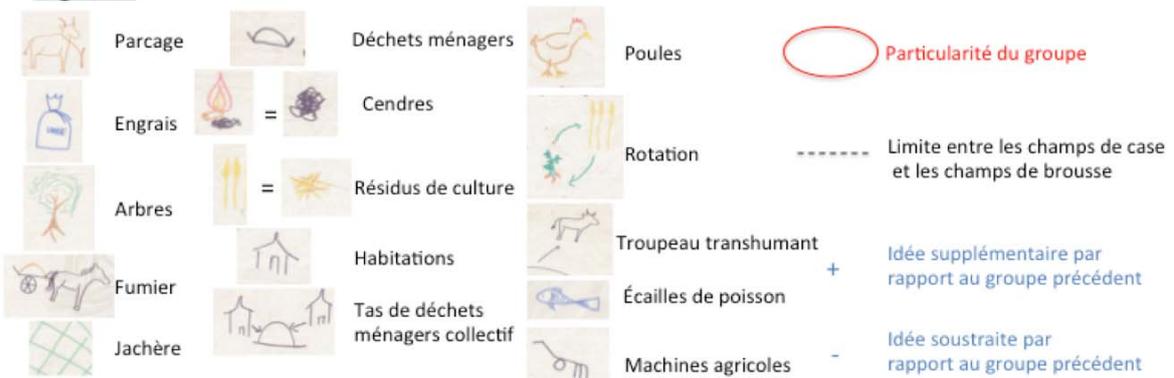


Figure 24 : Comparaison des ressources favorisant la fertilité du terroir pour Barry Sine et Sassem et par genre listées aux ateliers en 2013

Les flux de biomasses, les bilans et efficacités azotés issus des enquêtes auprès des producteurs ont été présentés aux acteurs locaux. Cependant, ces données n'ont qu'une moindre valeur si l'on ne peut analyser les motivations qui guident ces pratiques agricoles. Ainsi, lors des ateliers participatifs nous avons identifié les sources de fertilité du terroir disponibles (« What is ? »), la perception des acteurs de la gestion de la fertilité ainsi que les dynamiques pour son amélioration (« What could be » ?).

4 Voies d'améliorations et représentations des villageois

4.1 Représentations des villageois de la situation actuelle

4.1.1 Ressources disponibles

De manière générale durant l'ensemble des ateliers, les habitants de Sassem se sont concentrés sur la gestion traditionnelle de la fertilité via la fumure organique végétale (arbres, jachère, compost) et animale (fumier, parcage). Les habitants de Barry Sine, pour leur part, ont mentionné des pratiques plus récentes comme la fertilisation minérale, la rotation et le hachage des résidus de culture.

Il apparaît dans la Figure 24 que les quatre groupes (hommes de Barry Sine, hommes de Sassem, femmes de Barry Sine, femmes de Sassem) ont cité les engrais minéraux et le fumier qui demeurent les ressources privilégiées par les deux villages.

Les hommes de Sassem ont démontré leur gestion commune du terroir en citant des ressources collectives du village telles que le tas de déchets ménagers en commun. En revanche, les hommes de Barry Sine entretiennent l'individualisation des ménages générée par le développement de la culture de rente et accordent une grande importance aux ressources liées à la culture de l'arachide comme les rotations culturales, les machines agricoles et les insecticides.

Il apparaît clairement que la gestion de la fertilité des sols est bilinéaire puisque les femmes décrivent majoritairement les ressources auxquelles elles ont accès (fientes de poules, écailles de poisson à Sassem, cendres et déchets ménagers à Barry Sine) tandis que les hommes ne les mentionnent pas.

Ainsi, les femmes semblent conscientes de l'intérêt, de la fertilisation organique par les troupeaux (parcage, jachère, troupeau transhumant), de la fertilisation végétale (arbres et résidus de récolte), de la fertilisation minérale, de la fertilisation par le tas de déchets ménagers en commun pour Sassem et des vecteurs de fertilité liés à la culture arachidière (rotations, machines agricoles) à Barry Sine. Cependant, ces ressources leur sont peu accessibles car elles sont gérées par les hommes.

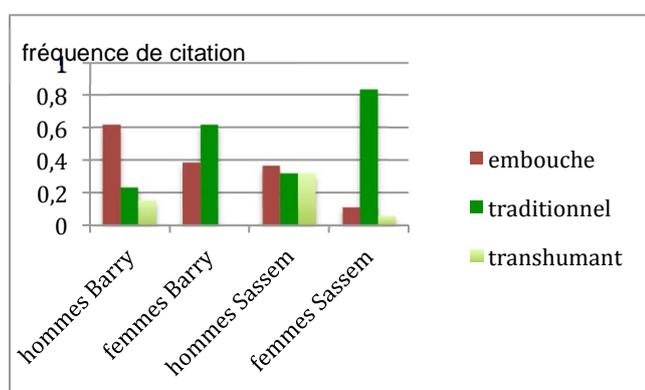


Figure 25 : Comparaison des types d'élevages les plus cités par genre et par village durant les ateliers de Barry Sine et Sassem en 2013

De même, concernant l'élevage, les femmes ont plutôt cité l'élevage traditionnel et très peu la transhumance à laquelle elles ont peu d'accès. Il apparaît que les hommes de Barry ont davantage insisté sur l'embouche (Figure 25).

Suite à l'analyse de la perception des ressources disponibles par les acteurs locaux, nous nous pencherons sur leur impact sur les sols. L'outil utilisé à cet effet est la cartographie participative qui permet d'identifier la répartition de la fertilité dans le terroir.

4.1.2 Répartition spatiale de la fertilité

Dans la Figure 26, si l'on compare la superposition le zonage de la fertilité identifié par les sous-groupes d'acteurs locaux (en haut) avec la carte de l'efficacité azotée (en bas) qui peut s'apparenter à la réponse du sol à l'apport d'intrant, on dénote des similarités.

À Barry Sine, les hommes comme les femmes ont perçu la zone de Ngangarlame (au sud-est des limites traditionnelles du terroir) comme une zone moins fertile. Les femmes ont également noté que les zones de Bakapome et Ngonine sont davantage fertiles car elles bénéficient du parcage nocturne.

En revanche une dissimilarité apparaît quant à la perception des champs de brousse et des champs de case. Les habitants de Barry Sine se sont accordés à dire que les parcelles plus proches des maisons sont davantage fertiles. Cette différence est due d'après eux à une intensification de l'agriculture dans cette zone, à l'épandage des déchets ménagers ou encore à la nature des sols *Ndior^o* (ou *Mbou*) dans les limites traditionnelles du village. De plus, les villageois nous ont indiqué que la zone de Thiguem est moins fertile que les parcelles contenues dans les limites traditionnelles du village. Or, sur la carte de l'efficacité azotée, les parcelles de champ de case n'offrent pas nécessairement une meilleure réponse à l'apport d'intrants, les champs de brousse comme Thiguem, présentent également des parcelles ayant une bonne efficacité azotée (Figures 26). C'est même l'inverse qui est observé en appliquant un test ANOVA. Les champs de brousse ont une efficacité azotée plus élevée que les champs de case. L'apport d'intrants n'offre donc pas une réponse proportionnelle en termes de rendement.

À Sasseem, les similarités entre la cartographie participative et la spatialisation de l'efficacité azotée portent essentiellement sur les champs de brousse (zones de Ngelokh, Khabada et Onguich pour les hommes, Ondiate et Mbodokhan pour les femmes) perçues comme des zones plus fertiles (Figures 27). Les deux genres ont identifié la zone d'Onguido (aire de pâturage en hivernage) comme une zone moins fertile. Son sol est sableux et infesté par l'adventice *Striga hermonthica*. Ce résultat révèle que la sélection de la zone de pâturage collectif donne priorité aux zones peu fertiles.

De même qu'à Barry Sine, une dissimilarité majeure porte sur les champs de case. En effet, les villageois se sont accordés sur le fait que les parcelles des champs de case présentent une meilleure fertilité grâce à l'apport de fumier et à la circulation des animaux alors que cela ne s'observe pas sur la carte d'efficacité azotée. De même, les habitants de Sasseem ont considéré que les zones de Kothior, Ossapan et Mbelpil sont salées et moins fertiles mais l'efficacité azotée y paraît assez élevée. Finalement, les hommes jugent que les zones de parcage nocturne sont davantage fertiles que les autres parcelles du pâturage collectif. Cependant, l'apport de matière organique n'offre pas une réponse proportionnelle en termes de rendement. L'efficacité azotée n'est donc pas améliorée par la pratique de parcage nocturne (Figures 27).

Dans les deux villages, les habitants nous ont indiqué appliquer du fumier dans les champs de case car ils sont mieux surveillés.

Pour les engrais minéraux, la différence de santé financière des foyers des deux villages influence les pratiques. En effet, les habitants de Barry Sine déclarent les appliquer sur l'ensemble du territoire alors que les habitants de Sasseem nous disent qu'ils les réservent pour les champs de brousse uniquement par manque de moyens financiers.

vert : zone + fertile
 rouge : zone - fertile
 Tann: sols salés

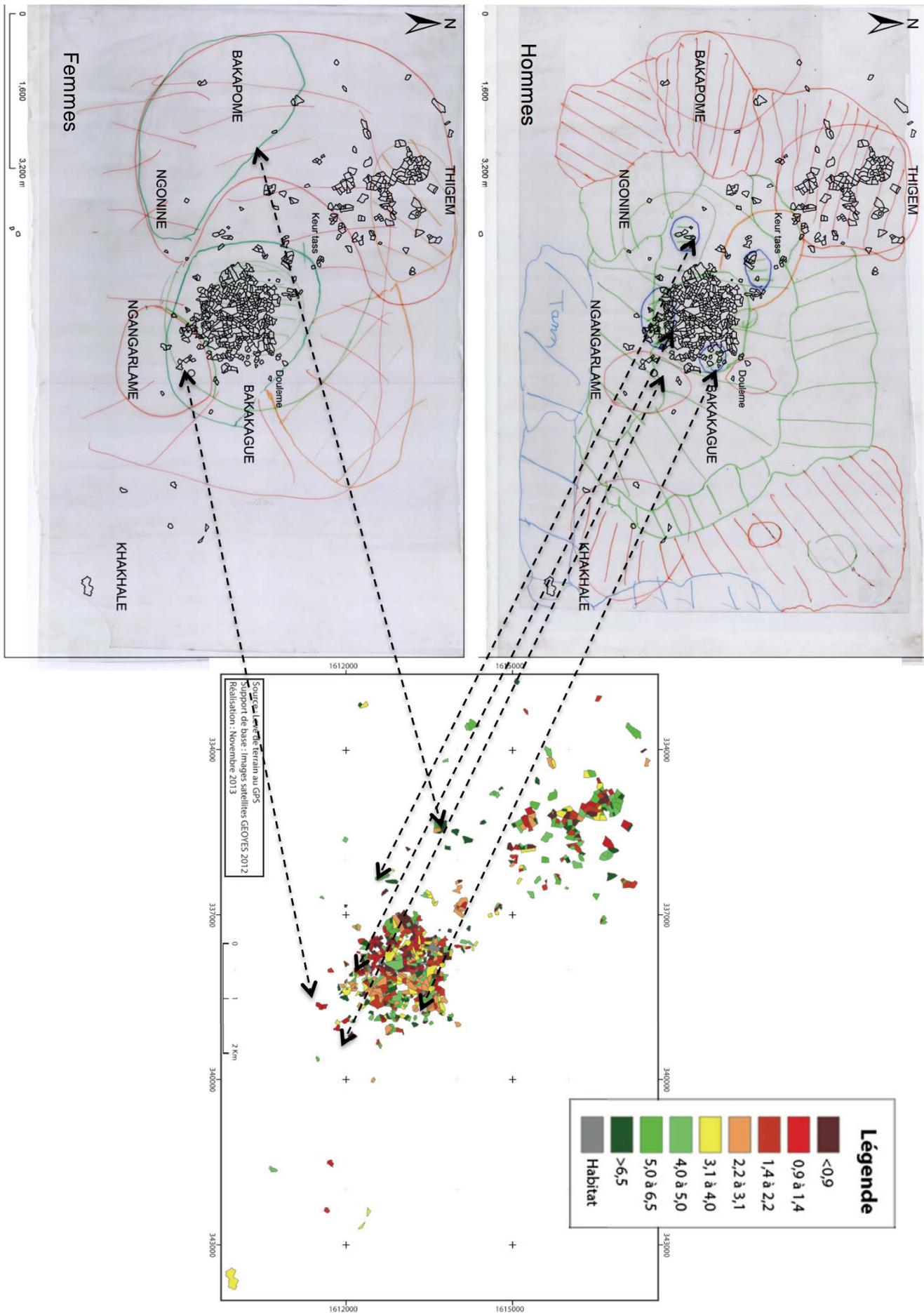


Figure 26 : Comparaison à Barry Sine des zones de fertilité du terroir identifiées par genre lors des ateliers (en haut) avec la carte de l'efficience azotée (en bas)

Source : NDIAYE et THIAW, 2013

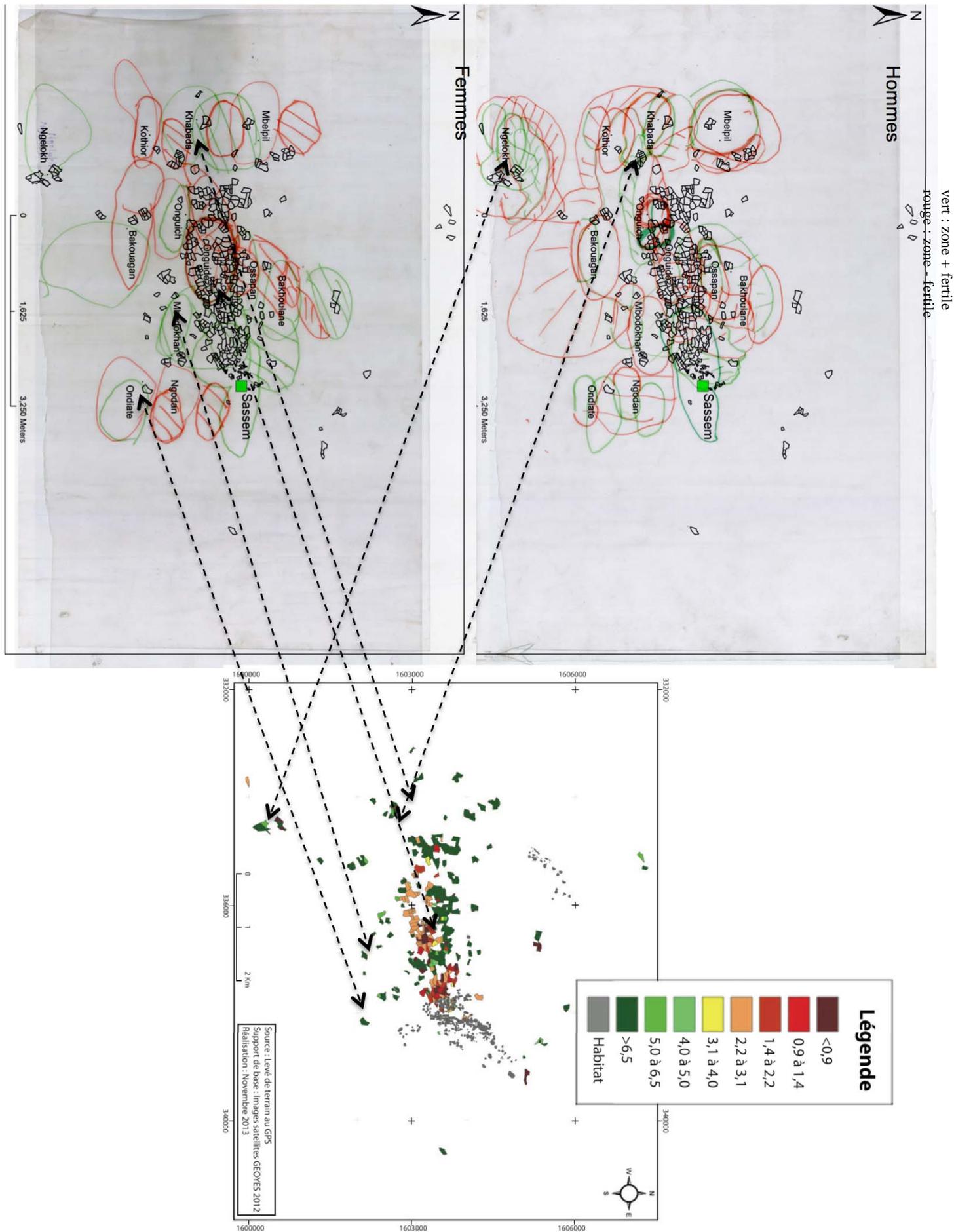


Figure 27 : Comparaison à Sassem des zones de fertilité du terroir identifiées par genre lors des ateliers (en haut) avec la carte de l'efficacité azotée (en bas)

Source : NDIAYE et THIAW, 2013

4.1.3 Le bilan du terroir

À Barry Sine, les hommes comme les femmes semblent conscients de leur dépendance alimentaire puisqu'ils affirmaient lors des ateliers que pour le mil et l'arachide, les achats sont supérieurs aux ventes dans le terroir. Cependant ce bilan est légèrement compensé par la vente d'animaux d'embouche.

À la vue du graphique du bilan azoté du terroir par catégorie, les femmes ont remarqué que la part de vente de niébé et de bissap est infime comparé aux activités commerciales d'embouche gérées par les hommes (0,35% des sorties du terroir en azote contre 96,75% pour la vente d'animaux). Elles ont ainsi dénoncé les activités auxquelles elles ne peuvent prendre part.

À la vue du graphique du bilan azoté par catégorie du terroir de Diohine, les acteurs de Barry Sine ont noté les différences d'utilisation des engrais minéraux et d'élevage entre les deux villages. Ils ont observé qu'il y a davantage d'entrées à Barry Sine qu'à Sassem et ont énoncé que cette situation leur paraît préférable.

À Sassem, le point de vue des hommes diffère de celui des femmes puisqu'ils considèrent vendre davantage qu'ils n'achètent. Ces ventes seraient justifiées par les besoins financiers en période de soudure pour l'achat d'aliments. Les besoins en denrées alimentaires seraient en hausse à la suite des campagnes de vaccinations qui tendent à accroître les effectifs des enfants. Les femmes, au contraire estimaient que les achats sont supérieurs aux ventes puisque seuls le bissap et le niébé sont vendus.

À la vue du graphique présentant des entrées d'azote supérieures aux sorties d'azote, les hommes ont expliqué cette différence par les achats des femmes. Ces dernières ont confirmé leur propre point de vue en expliquant que la production est insuffisante et que les villageois favorisent l'autoconsommation et ne vendent qu'en dernier recours.

À la vue des résultats de Barry Sine, les habitants de Sassem ont observé qu'il est normal que les bilans divergent puisque Barry Sine a particulièrement développé la pratique d'embouche grâce à l'exode rural. L'exode rural leur permet de financer cette activité génératrice à la fois d'apports monétaires et de fumier. Ils ont noté également que la pratique de l'embouche collective serait possible à Diohine puisqu'il s'agit d'un grand village. Les femmes ont confirmé les résultats d'enquête démontrant un meilleur accès aux terres des femmes de Barry Sine qui seraient plus libres de semer le bissap et le niébé. Les hommes de Diohine seraient moins permissifs en dépit de l'impact positif de cette association culturelle sur le rendement en mil (+30%) (SCHLECHT *et al.*, 2006).

Après avoir décrit la situation actuelle, nous parcourons désormais les possibles améliorations possibles.

4.2 La situation voulue

De manière générale, les voies d'amélioration proposées se sont concentrées dans les deux villages sur des pratiques déjà existantes (1/3 de propositions innovantes à Barry Sine, 1/4 à Sassem).

Les voies d'amélioration privilégiées favorisent en priorité une intensification de l'épandage d'engrais minéraux et de fumier par l'augmentation des effectifs du bétail (Figure 28). Cependant les villageois ont insisté sur le fait qu'une augmentation des effectifs des animaux, grâce à des prêts, leur permettrait de pallier aux pertes de fumure organique par la transhumance. Ils pourraient alors acheter moins d'engrais minéraux.

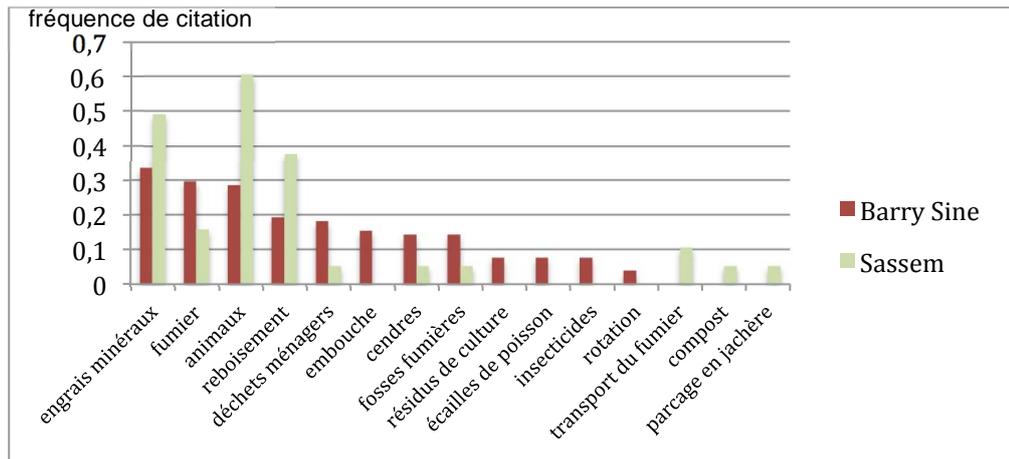


Figure 28 : Comparaison par village des voies d'amélioration citées aux ateliers de Barry Sine et Sassem en 2013

À Barry Sine, les participants ont également mentionné l'intensification du hachage des résidus de culture comme source de fertilisation végétale. Cependant, à Sassem, les hommes ont noté la compétition d'usage de la ressource fourragère. Ils sont conscients du peu de pailles disponible et de la diminution de la densité arborée. Ils attribuent ces phénomènes à l'augmentation de la population et, en conséquence, la collecte de ces ressources pour la confection des palissades, des toits et des bâtisses.

Le reboisement est donc pour eux une manière de restaurer la fertilité par des flux verticaux. Il permettrait de pallier au peu de jachère disponible à Barry Sine par exemple, causé par l'essor de la pression démographique, et de favoriser le bilan hydrique des parcelles. Ils ont également questionné l'effet des machines agricoles sur les sols et la strate arborée comparé à l'*iler^g* et ont noté l'importance de protéger les arbustes lors de l'utilisation de ces outils.

Une innovation proposée par un groupe de femme à Barry Sine et par les hommes de Sassem était la possibilité de développer des fosses fumière afin d'améliorer la qualité des engrais organiques. Ce mode de stockage nécessite un arrosage régulier. Cependant, dans le cas des femmes, cette innovation requiert l'aval de leurs époux afin de pouvoir financer l'achat des matériaux tels que le ciment. Un meilleur accès à l'élevage leur permettrait d'améliorer la qualité des amendements générés par l'ajout de fumier.

À Sassem, plus faiblement pourvu en matériel agricole, les hommes ont aussi cité l'amélioration du transport de fumier qui leur prend actuellement beaucoup de temps et qui nécessite un équipement agricole que certains ne possèdent pas.

Les voies de financement des innovations citées par les quatre groupes se fondent en majorité sur des aides extérieures. Tous les groupes ont mentionné les dons par l'intermédiaire de projets de développement ou de l'État. Les hommes de Barry Sine discutaient également de la possibilité de financer ces améliorations par des prêts.

Cependant les villageois proposèrent aussi des voies de financement internes avec un taux de propositions indépendantes de 42% à Barry Sine et 10% à Sassem.

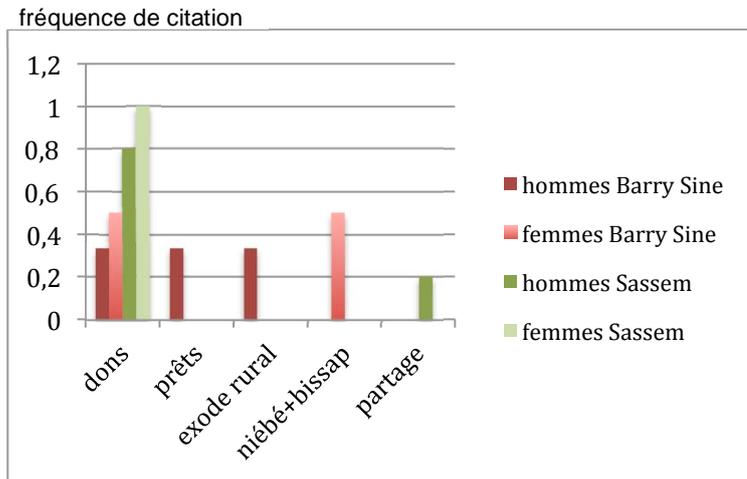


Figure 29 : Comparaison par village et par genre des voies de financement pour l'amélioration de la fertilité du terroir identifiées lors des ateliers de Barry Sine et de Sassem en 2013

Les hommes de Barry Sine ont mentionné en particulier l'exode rural qui représente pour eux la seule alternative à l'aide extérieure.

Les femmes sont de manière générale plus optimistes quant à l'autofinancement des activités d'élevage traditionnel, notamment par l'augmentation de la culture du niébé et du bissap. Cependant, les dons restent à leurs yeux essentiels afin de favoriser l'accès des femmes à l'élevage. En effet, la possibilité de recours au *pok^g* est faible et les prix des concentrés restent élevés.

Les hommes de Sassem, pour leur part, ont discuté la possibilité de développer une activité d'embouche collective pour pallier aux hauts investissements nécessaires (Figure 29).

Les résultats d'enquête et des ateliers participatifs nous ont permis de mettre en évidence les différences entre les deux terroirs, les améliorations possibles quant aux dynamiques de gestion de la fertilité et quant à la méthodologie employée. Nous les discuterons dans la partie suivante.

PARTIE 4 : Discussion et propositions d'amélioration

1 Comparaison multi-paramètres avec la littérature

Malgré des méthodologies légèrement différentes d'une étude à l'autre, notamment concernant les limites du système étudié et les facteurs considérés (fixation symbiotique, la lixiviation, les émissions gazeuses et la déposition atmosphérique) (cf Partie 2 §2.1), il apparaît sur la Figure 30 que les résultats des bilans azotés de Barry Sine et Dioghine sont cohérents avec ceux calculés en Afrique de l'Ouest.

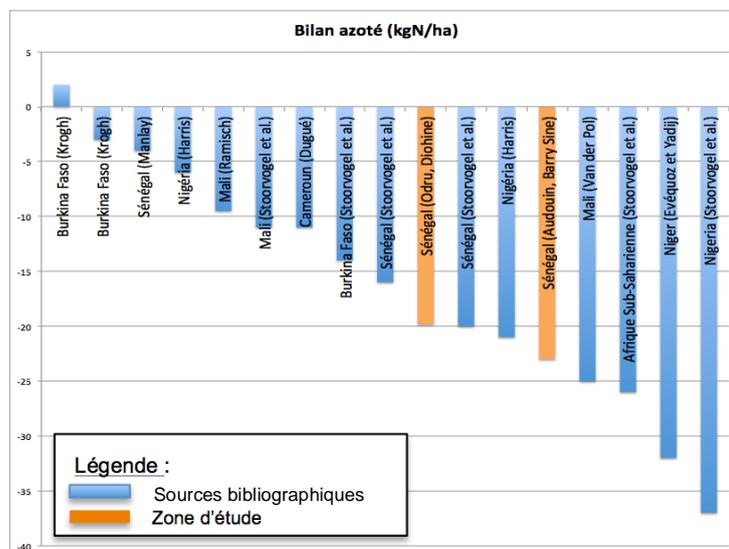


Figure 30 : Comparaison des bilans azotés à l'échelle de la parcelle en Afrique de l'Ouest

Source : d'après SCHLECHT *et al.*, 2004

Les valeurs obtenues dans la littérature montrent des résultats assez proches de celles de Barry Sine et Dioghine dans le cas du Sénégal (STOORVOGEL, 1993), du Nigéria (HARRIS) et du Mali (VAN DER POL). Leurs sites d'études sont localisés sous des régimes pluviométriques similaires (climat sahélo-soudanien) (Figure 31). Nos résultats sont particulièrement cohérents avec l'estimation de STOORVOGEL (1993) qui évaluait le bilan azoté à -20kgN/ha en 2000 au Sénégal. Les résultats de MANLAY *et al.* (2004) sont plus élevés (-4kgN/ha), cependant, la Haute Casamance n'appartient pas à la même zone climatique (climat soudanien, $P = 1100\text{ mm/an}$).

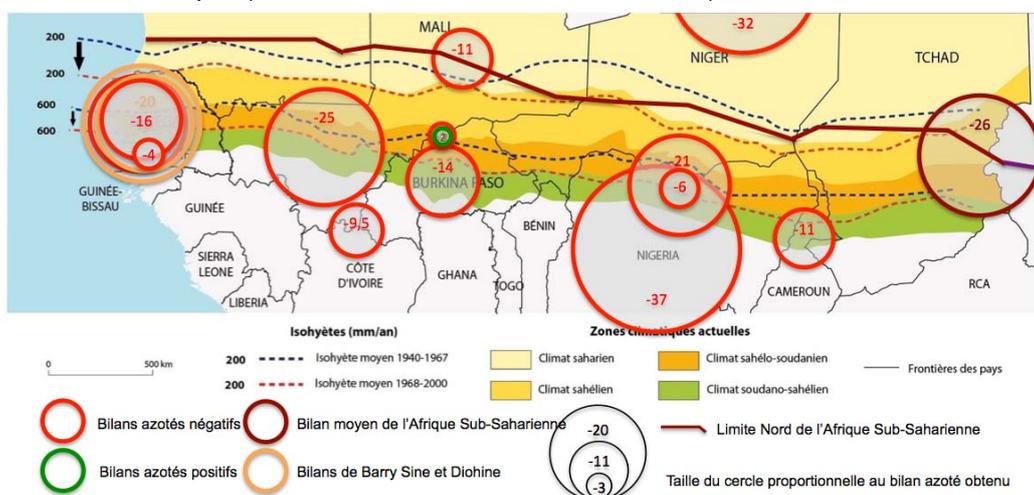
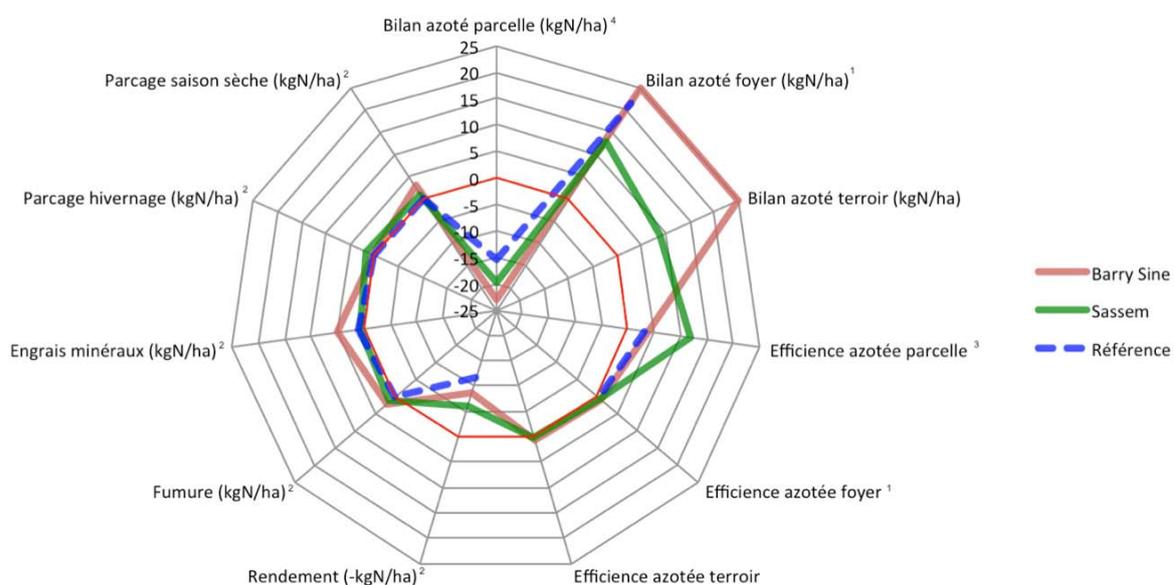


Figure 31 : Localisation des bilans azotés à l'échelle de la parcelle des sites d'étude en Afrique de l'Ouest

Source : d'après SCHLECHT *et al.*, 2004 ; AKOM, 2009

La collecte de données par enquête permet de compléter la quantification des flux par une analyse compréhensive du système de gestion de la fertilité des sols. Cependant une analyse par enquêtes présente un plus haut niveau d'incertitude sur les données quantitatives collectées. En effet, il n'est pas toujours évident pour les villageois de quantifier précisément les flux de biomasse de l'année précédente. De plus, l'agriculture étant la principale activité des deux villages étudiés, ces flux, et en particulier les flux de bétail peuvent être des questions sensibles puisque révélatrices de la santé économique du foyer. Enfin, la conversion des unités de mesures locales en unités de mesures standardisées peut amener à une certaine imprécision. Il paraît donc judicieux de comparer les résultats de notre étude avec ceux de la littérature afin d'évaluer la méthodologie que nous avons utilisée. La comparaison des résultats obtenus dans cette étude avec quelques références de la littérature montre cependant que les différents indicateurs sont du même ordre de grandeur (Annexe 14).

Il est à noter que les calculs des bilans azotés n'utilisent généralement pas la méthode « farm-gate » en Afrique. Au niveau du foyer comme du terroir, les études tendent à considérer les parcelles hors du système et prennent donc en compte les flux des parcelles vers l'habitation (fertilisation, récolte). Leur bilan s'apparente alors davantage à la somme des bilans de parcelle de chaque foyer ce qui fournit des résultats difficilement comparables. Lorsque les données ouest-africaines ne sont pas disponibles dans la littérature, à titre indicatif, la valeur utilisée est basée sur une étude en Turquie (pluviométrie annuelle de 643mm/an) et l'efficacité azotée sur une étude de l'île de la Réunion. Logiquement, ces valeurs correspondent davantage à ceux du mode de gestion de Barry Sine (Figure 32).



Références : ¹ =HOANG et ALAUDDIN (2009) (exemple de la Turquie) ; d'après ² = LERICOLLAIS (1999) (exemple du Sénégal) ; ³ = d'après MANLAY (2001) (exemple du Sénégal) ; ⁴ = d'après SCHLECHT (2004) (moyenne en Afrique de l'Ouest)

Figure 32 : Comparaison des pratiques et visions des villages de Barry Sine et Diohine en 2013

Si l'on compare les rendements obtenus pour Barry Sine et Diohine avec ceux de la littérature, on observe une certaine similarité puisqu'ils sont inclus dans les fourchettes des valeurs mesurés par LERICOLLAIS (1999), à l'exception de l'arachide dont les rendements sont inférieurs dans notre étude. Les rendements en paille sont également légèrement inférieurs à ceux estimés par LERICOLLAIS (de 9 à 14%) (Annexe 14).

Les moyennes des dépositions de fèces par parcage nocturne ou vaine pâture et l'apport d'engrais sont similaires aux résultats obtenus dans la littérature. En revanche,

les prélèvements de biomasse végétale²³ par vaine pâture montrent des résultats différents avec la littérature, ce qui questionne la méthode de calcul utilisée. Cependant il est possible que cela s'explique par une différence entre les systèmes agraires des terroirs étudiés et ceux de l'étude de MANLAY (2001). En effet, le chargement animal de la Haute Casamance (UBT.an/STT) est bien plus faible que dans le bassin arachidier ce qui pourrait expliquer que le bilan d'azote de la vaine pâture soit plus proche de 0. De plus, les systèmes de Diohine et de la Haute Casamance ont des pratiques de vaine pâture assez similaires. Le système de Barry Sine, pour sa part, laisse peu de coproduits aux champs et complète l'alimentation du bétail traditionnel à la concession. Ces pratiques peuvent aussi expliquer pourquoi le bilan de la vaine pâture est négatif à Diohine et en Haute Casamance alors qu'il est positif à Barry Sine (Annexe 14).

Même si la fonction première de la jachère est l'accueil des troupeaux en saison des pluies, les résultats des ateliers participatifs soutiennent que la jachère est également un moyen de restauration de la fertilité des sols. S'il est vrai que la jachère sans pâturage et la jachère avec pâturage et parcage nocturne présentent de plus hauts bilans azotés que la plupart des cultures, il apparaît que le pâturage d'hivernage seul, largement appliqué à Diohine, est l'une des occupations du sol conduisant au plus faible bilan azoté (Annexe 12). Cependant, SCHLECHT *et al.*, (2006) notent qu'une jachère sans parcage conduit à une déplétion d'azote. En revanche, elle permet d'amender le sol par des flux verticaux ou internes au sol qui ne sont pas considérés dans un bilan apparent (réduction de l'érosion éolienne ou enrichissement du sol en matière organique grâce à la décomposition des racines).

Dans les années 90, la raréfaction des parcours du bétail avait déjà conduit les éleveurs à prolonger la durée de la transhumance. Par exemple, 7/8^{ème} des troupeaux de Barry Sine partaient déjà en transhumance durant la totalité de la saison des pluies (LERICOLLAIS, 1999). La surface agricole des foyers a presque été divisée par 2 en comparaison depuis les années 90. En revanche, les effectifs de bétail par foyer ont plus que doublé à Barry Sine, grâce à l'embouche, et n'ont que très légèrement régressé à Diohine (-13%), grâce à la jachère collective. Il semble logique qu'en comparaison aux années 90, le chargement animal du terroir, la dose de fumure et d'engrais appliqués soient en hausse.

2 Impact de la pratique d'embouche sur les résultats

D'après les résultats décrits précédemment, nous observons que l'hypothèse scientifique, qui statuait que la pratique d'embouche pourrait améliorer la fertilité des sols, ne correspond pas aux observations du terrain.

Barry Sine, qui présente une forte activité d'embouche, a bel et bien davantage d'intrants par hectare à l'échelle de la parcelle que Diohine²⁴ (en moyenne 24kgN/ha pour 14kgN/ha). Cependant ce village ne dépend pas en premier lieu du fumier mais bien des engrais, de la vaine pâture et du parcage (de par des effectifs d'UBT transhumants plus élevés) ce qui complexifie la réponse à la question scientifique.

Son bilan azoté, légèrement inférieur, s'explique par un gain de production (+15kgN/ha d'azote) qui n'est pas compensé par le gain d'intrants (+10kgN/ha) (cf Partie 3 §2.4). En effet, le système d'embouche nécessite un changement des pratiques de gestion des coproduits qui sont en grande partie récoltés pour l'alimentation animale alors qu'ils sont majoritairement recyclés sous forme de fèces lors de la vaine pâture dans un système traditionnel.

D'après la typologie des foyers, la pratique d'embouche n'a un effet positif sur le bilan des parcelles que lorsqu'elle est accompagnée d'un véritable intérêt pour la production végétale. En effet, l'Éleveur et les Arachidiers présentent les plus hauts bilans des

²³ 5kgN/ha à Barry Sine ; -12kgN/ha à Sasseem ; -2 kgN/ha en Casamance (MANLAY, 2001)

²⁴ significatif d'après un test de Student avec un risque d'erreur inférieur à 0,01%

parcelles alors que les Emboucheurs, qui se focalisent sur l'achat-revente du bétail, valorisent peu le fumier d'embouche (cf Partie 3 §3.2).

Pour sa part, la pratique de la jachère fournit un bilan azoté légèrement supérieur à celui des Arachidières mais est conditionnée par la propriété de troupeaux transhumants qui permet le parcage nocturne comme dans le cas des Conservateurs (cf Partie 3 §3.2).

Par ailleurs, comme nous l'ont indiqué les habitants de Barry Sine lors des ateliers participatifs (cf Partie 3 §4.2) et d'après SCHLECHT *et al.*, (2006), il est difficilement envisageable de réimplanter la jachère dans un système qui l'a abandonnée en conséquence de la croissance démographique. La jachère nécessite une concertation et une coordination poussée entre villageois alors que les habitants de Barry Sine présentent une tendance nette à l'individualisme (cf Partie 3 §4.1.1).

Même si les bilans azotés ne sont pas améliorés par la stratégie agricole de Barry Sine, ce terroir a significativement de plus hauts rendements azotés en produits principaux²³ et en coproduits²⁵ (cf Partie 3 §2.4). Cet avantage indéniable n'est pas le fruit de l'assolement en arachide, riche en azote, puisque les rendements en matière brute sont également supérieurs²³⁻²⁴. Du point de vue de la sécurité alimentaire, cette stratégie a donc été efficace.

L'hypothèse scientifique est donc partiellement infirmée ; l'embouche ne permet pas d'améliorer le bilan azoté des parcelles car l'essor de cette activité a bouleversé les flux de biomasse au sein du terroir. Malgré son bilan azoté négatif à l'échelle de la parcelle, cette activité a eu un impact économique positif dans le terroir (associée à l'exode rural). Cet impact est révélé par un recours aux engrais minéraux et un niveau d'équipement agricole plus élevé, malgré l'installation plus tardive des ménages dans le terroir. Cette stratégie présente avant tout un impact social positif par l'amélioration de la sécurité alimentaire des foyers.

Cependant, la durabilité d'un tel fonctionnement pose question, puisqu'avec un bilan azoté négatif et au vu des dynamiques analysées, il est fort probable que les rendements agricoles diminuent. Conscients de cette déplétion de la fertilité des sols, les villageois ont déjà songé à des améliorations de la gestion de la fertilité des sols dont nous analysons la faisabilité dans la partie suivante.

3 Faisabilité des améliorations

Les ateliers participatifs ont montré qu'un certain nombre d'options d'amélioration de la gestion de la fertilité des terres étaient connues et proposées par les villageois (cf. Partie 3 §4.1.3). Au regard des résultats des bilans N, de l'analyse des pratiques locales de gestion des biomasses et de la fertilité des sols, et considérant les réactions des habitants des deux villages vis-à-vis des différentes options, seules 3 options sont ici explorées : la mise en place de fosses fumières, l'embouche collective et le reboisement en *Acacia albidia*. Ces options sont pertinentes concernant le cycle de l'azote et l'augmentation de la productivité des terroirs. Nous verrons également plus bas que ces options sont complémentaires et qu'elles ont des niveaux d'efficacité et des chances de succès différents selon les terroirs.

3.1 Mise en place des fosses fumières

Dans les deux terroirs, les hommes ou les femmes montrent un intérêt prononcé pour les fosses fumières (cf Partie 3 §4.2). Elles permettent à la fois d'améliorer la quantité et la qualité du fumier disponible et de réduire les pertes. En effet, si l'on compare le fumier épandu avec le fumier par UBT (production théorique issue de la bibliographie²⁶), il apparaît que Barry Sine perd 18% de sa production de fumier alors que

²⁵ d'après un test de Student avec un risque d'erreur inférieur à 0,1%

²⁶ ici on considère uniquement les UBT/h passées au sein de la concession car seul le fumier produit dans la concession peut être collecté

Diohine l'optimise. Cette perte est également visible en comparant le bassin arachidier avec la Haute Casamance (MANLAY, 2001) où le climat est davantage humide et les doses minimales et maximales de fumier épandu sont supérieures (Annexe 14). En termes de qualité, la teneur en azote du fumier double par stockage en fosse fumièrè (0,5%-1,1% N/kgMB contre 0,2% dans notre cas) (communication personnelle, 2014). Par ailleurs, les fosses fumières permettent aussi de réduire les dépenses liées à l'usage des engrais minéraux et donc améliorent le bilan financier du ménage (ANDRIEU et CHIA, 2012) en cohérence avec les stratégies exprimées par les foyers de Barry Sine révélées lors des ateliers participatifs (cf Partie 3 §4.2). En effet, l'application d'engrais minéraux peut être durable à long terme seulement si elle est combinée à l'apport de matière organique. Dans le cas contraire, le pH des sols baisse et les rendements diminuent sur le long terme (SCHLECHT et al., 2006).

Il est aussi à noter que les fosses fumières installées en plein champ ont l'avantage de faciliter la valorisation de biomasse qui est peu utilisée couramment. En effet, les refus de la vaine pâture sont brûlés afin de ne pas gêner le passage du semoir attelé. Une fosse fumièrè permet de stocker cette biomasse qui stabilisera le fumier.

Il est possible d'estimer les améliorations générées par l'installation du nombre de fosses fumières nécessaire à chaque foyer. Cette simulation, considère l'amélioration qualitative du fumier (teneur en N plus élevée) (communication personnelle, 2014) et son amélioration quantitative (réduction des pertes tout en considérant les 23% de pertes de matière organique par décomposition (BLANCHARD *et al.*, 2011)). En parallèle, pour chaque parcelle du foyer, la simulation considère le gain des rendements en grain et paille de mil (culture préférentielle pour l'épandage du fumier) consécutif au gain quantitatif de fumier d'après SCHLECHT *et al.* (2006).

D'un point de vue environnemental, Barry Sine pourrait améliorer son bilan azoté à l'échelle de la parcelle de +3,3kgN/ha/an et de +1,9kgN/ha/an dans le cas de Diohine.

D'un point de vue social, le gain de fumier de 357kgMB/ha à Barry Sine permettrait en moyenne de fertiliser 1,5ha et d'augmenter les rendements en mil de 32kgMB/ha. À Diohine, le gain de fumier de 58kgMB/ha permettrait en moyenne de fertiliser 0,7ha et d'augmenter les rendements en mil de 2kgMB/ha seulement.

En contrepartie, d'un point de vue économique, les investissements pour l'implantation des fosses fumières sont relativement abordables pour les ménages (de l'ordre de 9€/fosse). Elles nécessitent 3 sacs de ciment par fosse ainsi que 90 briques qui sont produites localement en saison sèche à Barry Sine (FERTIPARTENAIRES, 2012). La fosse peut être conservée 5 ans sans réparations majeures (communication personnelle, 2014). À raison de 0,833tMS par fosse (BLANCHARD *et al.*, 2011), les foyers de Barry Sine nécessiteraient dans l'idéal 4 fosses fumières de 9m³ en moyenne contre 2 fosses à Diohine.

En considérant ces investissements et la valeur marchande des gains de grain et de paille de mil (KAASCHIETER et al., 1996), l'installation de fosses fumières à Barry Sine rapporterait en moyenne 64€/foyer/an mais ne serait pas profitable à Diohine (-1€/foyer/an) pour une référence de 52€/fosse/an²⁷ au Burkina Faso dans un système de culture du maïs (BLANCHARD *et al.*, 2011).

Diohine bénéficierait donc peu de cette innovation seule puisque l'utilisation du fumier présente peu de pertes actuellement.

²⁷ ici on ne considère pas le coût de la main d'œuvre puisque l'on considère qu'elle est fournie par le foyer. La méthode de calcul ne génère pas de pertes d'utilisation de la biomasse puisque l'on ne considère que les pertes de fumier

Tableau 12 : Gains environnementaux, sociaux et économiques consécutifs à l'implémentation de fosses fumières (moyenne par type de foyer)

Gains consécutifs à l'installation de fosses fumières	Nombre de fosses de 9m ³ nécessaires par foyer	Fumier (kgMB/ha /foyer/an)	Grain mil (kgMB/ha /foyer/an)	Revenu (€/foyer/an)	Bilan azoté parcelle (kgN/ha/an)
Agriculteurs	1	0	0	-1	0,8
Conservateurs	2	21	2	-1	2,4
Nouveaux installés	2	363	23	30	3,2
Arachidiers	5	513	37	45	5,8
Emboucheurs	8	794	154	327	4,3
Éleveur	17	1662	208	1176	4,3

vert : résultat supérieur pour l'indicateur calculé

rouge : résultat inférieur pour l'indicateur calculé

Le Tableau 12 montre que cette innovation serait bénéfique pour l'ensemble des concessions d'un point de vue environnemental (gain azoté à l'échelle de la parcelle), en particulier pour les Arachidiers. En revanche les bénéfices socio-économiques (gain de rendement et de revenu) sont plus contrastés et révèlent que cette innovation ne serait pas intéressante pour les Agriculteurs et les Conservateurs alors qu'elle serait particulièrement favorable aux 4 autres catégories. On note cependant que les 17 fosses de 9m³ pour l'Éleveur semblent assez ambitieuses à implanter dans une zone aussi peuplée.

Cependant, l'installation et le fonctionnement des fosses requièrent une main d'œuvre importante : 15 HJ (Homme Jour) pour le creusement et 6HJ pour la stabilisation (BLANCHARD *et al.*, 2011). Les fosses doivent être implantées à proximité des lieux d'embouche mais à 20m de l'habitat pour éviter la contamination des eaux. Cette distance représente une contrainte potentielle vis-à-vis du système d'engraissement actuel puisque l'activité d'embouche se situe généralement au sein des concessions.

De plus, le fumier doit être retourné (8HJ) et humidifié (468-972L d'eau par fosse) (communication personnelle, 2014) entre octobre et novembre qui correspondent à des périodes d'intense besoin en main d'œuvre dans les champs pour la récolte (FERTIPARTENAIRES, 2012). En revanche, l'apport d'eau à la fosse semble être une tâche applicable d'après les ateliers participatifs (cf Partie 3 §4.2). L'apport des refus d'alimentation du bétail permet de réduire les pertes d'humidité par évaporation durant la saison sèche (FERTIPARTENAIRES, 2012).

Dans l'objectif de favoriser la mise en place de ces fosses fumières dans les terroirs étudiés, la communication sera une étape essentielle. Il s'agira de présenter et démontrer les opportunités qu'offre cette innovation selon les types de foyers concernés. Il sera aussi important de communiquer en faveur de l'accès des femmes à cette innovation, qu'elles ont d'ailleurs proposée lors des ateliers participatifs. Des partenariats renforcés avec des spécialistes des fosses fumières comme l'équipe du projet Fertipartenaires seraient souhaitables pour les futures étapes de développement du projet.

3.2 Cas de l'embouche collective

La fertilité des terres de Dihine repose en second lieu sur le fumier. La proposition des villageois de développer l'embouche collective est donc particulièrement adéquate afin d'augmenter les doses épandues et ainsi accroître la fertilité des sols. Dans le cas de Dihine, elle ne remettrait pas en cause l'existence des jachères qui gardent un impact positif sur la fertilité des terres lorsqu'elles sont accompagnées d'un parcage nocturne (cf Partie 3 §3.1).

À la vue des tendances de délaissement de l'agriculture au profit de l'élevage commercial pour certaines concessions de Barry Sine (cf Partie 3 §3.2), il semble

primordial d'associer le développement de l'embouche à celui des fosses fumières afin de veiller au bon recyclage de la fumure organique générée. De plus, les fosses fumières seraient bien plus profitables aux habitants de Diohine si la quantité de fumier produite s'accroît.

À Diohine, le développement de cette activité collective semble possible puisque les interactions entre villageois sont encore très fortes (cf Partie 3 §4.1.1). Les foyers et les concessions sont déjà structurés autour de la hiérarchie sociale. Une facilitation serait cependant nécessaire afin de s'assurer que le projet se développe dans l'équité et pour faciliter son organisation (quant au lieu d'embouche par exemple).

3.3 Cas du reboisement en *Acacia albida*

Le reboisement a été fortement mentionné durant les ateliers, spécialement dans le cas de l'*Acacia albida*. Les vertus de cette essence arborée sont depuis longtemps connues comme le démontre ce vieil adage : « si tu as des sas dans ton champs (*Faidherbia albida*) tu récolteras un grenier de mil » (LERICOLLAIS, 1999). En effet ces arbres ont de nombreux avantages pour la production agricole puisqu'ils augmentent la fixation de l'azote atmosphérique en tant que légumineuse et le recyclage de l'azote (flux verticaux). Ils stimulent la microfaune du sol et réduisent les pertes par lixiviation ou par l'érosion, (SCHLECHT *et al.*, 2006). En effet, dans notre étude, la densité arborée est le paramètre le plus corrélé au rendement en coproduits dans les deux terroirs. C'est également le 3^{ème} facteur influençant le plus le rendement en grain devant le fumier à Barry Sine et le 4^{ème} à Diohine²⁸ (cf Partie 3 §2.4). Ces résultats confirment l'importance de conserver le parc arboré et de lutter contre sa régression.

De plus l'*Acacia albida* soutient les activités d'élevage puisque, lorsque sa densité est importante, cet arbre peut fournir davantage d'unités fourragères et d'azote digestible que n'importe quelle autre culture, y compris la fane d'arachide (LERICOLLAIS, 1999).

S'il existe de nombreuses façons de régénérer le parc arboré elles ne nécessitent pas les mêmes investissements humains et financiers. Les pépinières sollicitent une certaine organisation pour le traitement des graines afin qu'elles puissent germer (traitement à l'eau bouillante ou à l'acide sulfurique) et pour l'achat de cylindres de tôle ou de polyéthylène. De plus, cette technique peut entrer en compétition avec la fumure des parcelles puisqu'elle nécessite du terreau (GIFFARD, 1964). Le bouturage est une option adaptée aux mauvaises conditions édaphiques et offre des résultats similaires au semis direct dans de bonnes conditions édaphiques (GIFFARD, 1964). Une dernière solution plus simple, plus économique et plus traditionnelle mais peu contrôlable est le semis via la déposition des graines ingérées par le troupeau. La germination des graines est alors assurée par l'acidité stomacale du cheptel.

Le majeur enjeu de cette complémentarité bétail/strate arborée est relatif à la protection des jeunes plants contre les troupeaux, les machines agricoles et les feux (CIRAD 1989 ; KIRMSE et NORTON, 1984). Du fait d'une gestion encore collective de certaines ressources (ex. vaine pâture des troupeau, prêt de parcelles, feu qui débordent d'un champ à l'autre), la protection doit se faire collectivement.

Une protection efficace des jeunes plants sur la première année suivant le semis assure un reboisement effectif puisque l'*Acacia albida* se maintient lorsqu'il parvient à survivre à la première saison sèche (CIRAD, 1989). Pour favoriser le développement des jeunes plants et réduire l'impact des feux, il est nécessaire de désherber sur un rayon de 1 à 2 mètres autour du plant (KIRMSE et NORTON, 1984). Les individus doivent être bien visibles et entourés d'une protection qui peut être réalisée à partir de produits locaux (Figure 33)

²⁸ d'après une ACP (test de Pearson)



Figure 33 : Protection individuelle des jeunes plants par l'utilisation de matériel local

Source : KIRMSE et NORTON, 1984

Dans l'objectif de favoriser la régénération du parc arboré, un renforcement des partenariats avec des projets de reforestations serait souhaitable. Ils permettraient de mieux comprendre pourquoi les projets précédents ont échoué et éventuellement de favoriser le financement de cette amélioration. Ils permettraient aussi de promouvoir la formation des acteurs et de favoriser l'action collective car un reboisement décidé et mis en œuvre collectivement à l'échelle d'un village a beaucoup plus de chance d'être efficace. Un tel projet aurait plus de chances d'aboutir à Diöhine de par sa plus grande aptitude aux actions collectives (cf. Partie 3 §4.1.3).

4 Améliorations en termes de méthodologie

Dans une perspective d'approfondissement des recherches, ce paragraphe rassemble les principales améliorations méthodologiques envisagées en référence aux cinq missions du stage.

- Mission 1 : Récolter les données quantitatives nécessaires à l'élaboration des bilans des flux de biomasse et d'azote pluri-échelle

Comme vu précédemment, la récolte des données par enquête offre une meilleure compréhension du système que de simples pesées. Cependant le risque d'erreur est plus important. Par exemple le dénombrement des animaux d'élevage, des bovins en particulier, reste un sujet sensible dans la culture Sereer. Or ce dénombrement conditionne un grand nombre de flux déterminant du bilan azoté (ex. restitution de déjections et prélèvement en vaine pâture). La précision des données pourrait être améliorée par un suivi annuel par pesées des principaux flux de biomasse à intervalle régulier.

La précision de l'évaluation des flux inter-foyer lors de la vaine pâture pourrait également être améliorée par un suivi des déplacements des troupeaux par GPS comme dans l'étude de SCHLECHT et al. (2004). Ainsi les lieux de prélèvement et déposition atteindraient la précision de l'échelle de la parcelle plutôt que l'échelle de la zone agro-écologique.

La traduction en unités standards (kgMB, kgMS et kgN) est également à l'origine d'une certaine incertitude puisque les coefficients de conversion (teneur en MS, teneur azotée, etc.) ont été repris de la littérature. Des prélèvements et analyses des principales biomasses circulantes et la prise en compte de leur variabilité intra-annuelle semble également nécessaire pour augmenter la précision du bilan azoté.

L'ensemble de ces remarques incitent à mettre en place un suivi de fermes dont l'échantillon pourrait être raisonné à partir de cette première étude. Cependant, il est

important de tenir compte du fait que les populations locales sont fortement sollicitées par la recherche car les villages étudiés appartiennent à l'observatoire démographique de l'IRD (rythme d'enquête démographique trimestriel). Ainsi, des travaux de ce genre devraient être menés dans le cadre d'un programme de recherche participatif (cf. plus bas «amélioration en lien avec les missions 4 et 5») afin d'accroître leur motivation à collaborer. La conduite de travaux de recherche opérationnels, en cohérence avec les besoins des foyers doit être assurée, et le développement des améliorations de la fertilité des sols proposées doit être garanti.

- Mission 2 : Traiter les données sous la forme de bilans azotés apparents pluri-échelles

L'observation des différences de fertilité des sols entre la perception des villageois et les résultats d'enquête met en évidence que l'évaluation de la fertilité des sols peut être améliorée de trois façons.

Tout d'abord, le bilan apparent peut être approfondi en considérant les déchets humains (« *Humanure* ») de façon théorique, selon la population du terroir et l'auréole considérée.

Ensuite, il serait intéressant d'évaluer l'intérêt de passer d'un bilan d'azote apparent à un bilan d'azote complet tenant compte également des flux d'azote gazeux (émissions, volatilisation, déposition atmosphérique, fixation) et au sol (lessivage, érosion). Il serait alors probablement utile de distinguer les deux principaux types de sols rencontrés dans la zone d'étude (*Deck* ou *Dior*) afin de refléter au mieux les phénomènes de lixiviation et d'érosion. Les émissions gazeuses d'azote (NH_4 , N_2 et N_2O) sont particulièrement importantes au cours de la manipulation des fumiers (stockage, épandage) et au niveau de la restitution des déjections aux champs ou sur parcours (VAYSSIÈRES et RUFINO, 2012). La considération de la fixation azotée par les Fabacées améliorerait l'évaluation des bilans azotés des parcelles arborées (*Acacia albida*) et/ou semées en arachide ou en inter-rangs de niébé l'année considérée (et non seulement son impact sur la rotation l'année suivante). Passer à un bilan complet faciliterait également la comparaison des résultats à d'autres études (SCHLECHT et al., 2004).

Ensuite, l'azote est un bon indicateur de la fertilité, car il est souvent le facteur limitant de la production des plantes et des animaux. Cependant, il existe de nombreux cas en contexte tropical où le phosphore est le nutriment limitant (SCHLECHT et al., 2006). Par ailleurs la fertilité des terres est généralement mieux décrite quand on prend également en compte le carbone, dont le bilan à l'échelle de la parcelle est un bon indicateur de la teneur des sols en matière organique. En effet, les engrais minéraux impactent positivement le bilan azoté mais n'améliorent pas l'activité biologique du sol. En effet, les microorganismes, premiers agents de minéralisation de la matière organique, nécessitent du carbone pour subsister (MANLAY, 2001). De plus l'évolution de la matière organique et du fumier en particulier dépend fortement du ratio C/N. L'étude pourrait donc être améliorée par la considération à la fois de l'azote, du carbone et du phosphore.

Par ailleurs, l'étude se focalise sur la campagne culturale 2012-2013. Il faut cependant être vigilant sur le fait que 2012 était une année particulière. Il s'agissait d'une année relativement pluvieuse, favorable à la culture du mil et défavorable à la culture de l'arachide. Il serait intéressant que ce type d'étude soit conduit sur plusieurs années afin de tenir compte de l'éventuelle variabilité interannuelle. Une telle vision dynamique permettrait également de mieux représenter la stratégie de fertilisation des parcelles (la fertilisation organique est réfléchi sur une durée de 3 à 5 ans) (LERICOLLAIS, 1999).

- Mission 3 : Comparer les bilans de flux de biomasse et d'azote obtenus pour les villages de Barry Sine et de Diohine

La synchronisation des enquêtes à Barry Sine et Diohine permet une certaine cohérence dans les résultats obtenus. Cependant, elle a mobilisé des enquêteurs et des traducteurs différents. Ainsi les données recueillies peuvent diverger bien que la méthodologie de base reste la même et que le traitement a été fait de façon coordonnée

(base de donnée commune, coefficients de teneurs azotées communs, méthodes d'estimation de certains flux communes, etc...).

L'étude s'est concentrée sur deux terroirs du bassin arachidier. Puisque leurs bilans azotés aux échelles du terroir sont positifs, nous devons alors nous préoccuper des territoires fournisseurs de cette matière azotée qui pourrait donc être exportateurs d'azote et déficitaires (bilan azotés négatifs). Le Ferlo par exemple est le territoire d'accueil d'une partie importante des troupeaux transhumants Sereer en saison des pluies. De manière générale les troupeaux du Ferlo fournissent les animaux qui sont engraisés en système d'embouche dans le bassin arachidier. De même le sud du Sénégal, de par sa pluviométrie plus élevée, a des niveaux de productivité de biomasse supérieurs. Il fournit donc une part importante des ingrédients des aliments concentrés utilisés en embouche dans le bassin arachidier. Les résultats de cette étude ne peuvent donc se généraliser à l'échelle nationale et des comparaisons inter-terroirs pourraient être envisagées grâce aux études en cours au Ferlo (HASSOUMA *et al.*, 2014) et en Casamance (VIGAN *et al.*, 2014).

- Mission 4 : Restituer les résultats, capter la perception qualitative des habitants et inventorier les voies d'amélioration envisagées par les acteurs de chaque terroir

Les ateliers participatifs ont offert des résultats très intéressants, complémentaires des données obtenues par enquête. Cette étape est primordiale pour une analyse plus juste des améliorations possibles afin d'éviter d'explorer des innovations qui ne seraient pas pertinentes aux yeux des agriculteurs et qui, par conséquent, auraient de plus faibles chances d'être adoptées. Cette étape permet également de révéler les points de vigilance et les possibles limites inhérentes à ces améliorations.

Il semble que les ateliers participatifs soient une méthode d'investigation appréciée par les foyers et soient un facteur positif de motivation des populations locales à s'impliquer dans les programmes de recherche. Ils furent bien suivis par les villageois. Par exemple le taux de présence était de environ 66% dans le cas des hommes à Barry Sine. Les ateliers participatifs ont également confirmé que les graphiques et les cartes sont des moyens de communication efficaces avec les populations locales.

Vu la richesse des échanges et des d'informations récoltées, ce type d'atelier mériterait d'être renouvelé. Par exemple une prochaine session d'ateliers participatifs pourrait se baser sur les explorations des principales options d'amélioration : fosses fumières, embouche collective et reboisement (cf. Partie 4 §3). Au vu des réalités du terrain et des premières expériences réalisées, on peut cependant recommander un découpage des ateliers sur plusieurs demi-journées (au lieu de les concentrer sur une seule journée). Il serait judicieux de les programmer autant que possible sur une période à plus faible charge de travail aux champs (en saison sèche plus précisément).

- Mission 5 : Analyser les perceptions inter-terroir et inter-genre vis à vis de la gestion actuelle et future de la fertilité des terres

Le recours à des traducteurs facilite un mode de communication approprié avec les acteurs locaux du fait de la barrière de la langue. Cependant, il paraît compliqué de couper les discussions afin de traduire les interventions de chacun. Aussi, l'organisation de la traduction n'est pas à négliger. Il semble judicieux d'avoir un traducteur en relation directe avec les acteurs, chargé des relances et de l'animation, et un second traduisant simultanément l'information aux scientifiques. L'idéal serait bien entendu que les chercheurs parlent Sereer. Le recours à des outils d'enregistrement vidéo et audio (exploré dans le cadre de ces premiers ateliers participatifs) semble une voie prometteuse, mais elle nécessite un travail lourd de retranscription.

Conclusion générale

Dans un contexte de croissance démographique forte, les enjeux majeurs du Sénégal restent la sécurité alimentaire et l'amélioration des conditions de vie des populations. Or le maintien de la fertilité des terres et des rendements culturels est remis en cause dans le «vieux bassin arachidier du Sénégal par une déconnexion progressive entre les activités agricoles, sylviculturales et d'élevage. Les principaux objectifs de cette étude étaient d'analyser l'impact des stratégies d'adaptations locales à ces changements environnementaux en termes de durabilité du système et de fertilité des sols en particulier. La méthodologie employée a comparé deux terroirs villageois ayant suivi des trajectoires agraires différentes. L'un (Diohine) est proche du système traditionnel organisé autour de la jachère, l'autre (Barry Sine) est organisé autour de la pratique de l'embouche. La comparaison s'est basée sur des enquêtes systémiques qui décrivent dans les deux terroirs les pratiques agricoles. L'ensemble des flux de biomasses qui en résulte a servi à élaborer des bilans et efficacités azotés pluri-échelle. Des ateliers participatifs ont aidé à cerner les dynamiques locales qui régissent la gestion de la fertilité des terres et d'identifier collectivement des voies d'intensification écologique.

Diohine est un terroir ancien, où les aînés ont conservé un pouvoir de décision important (forte hiérarchie sociale intergénérationnelle). Ainsi le statut social et la possession de troupeaux sont déterminants dans le maintien de la fertilité des sols et de la productivité agricole de chaque ménage. Le poids de la tradition a participé au maintien de systèmes de culture anciens basés sur la culture du *matye*^g, le *ndonate*^g et sur la gestion collective des ressources par l'organisation d'une jachère collective (support du parcage nocturne de saison des pluies).

Le terroir de Barry Sine a évolué vers un système de gestion des ressources plus individuel et plus intensif. Les dynamiques commerciales perdurent dans ce village avec le maintien de l'arachide et le développement de l'embouche (en tant qu'activités de rente). La santé financière des foyers permet d'appliquer des doses d'intrants supérieures dans ce terroir. Son équipement agricole homogénéise leur répartition dans l'espace. Ainsi, ce système agricole renforce sa sécurité alimentaire par l'augmentation de ses rendements (+39% d'N pour les produits principaux, +45% d'N pour les coproduits).

À l'échelle de la parcelle, l'impact de l'activité d'embouche sur la fertilité des sols et le rendement des cultures est complexe à évaluer puisque difficilement isolable des autres sources de fertilisation telles que l'engrais minéral (plus utilisés à Barry Sine). L'analyse des bilans azotés à l'échelle des parcelles souligne une gestion insuffisamment durable de la fertilité des sols expliquée par l'importance des flux sortants de la parcelle (pour l'alimentation humaine et animale essentiellement) et la faiblesse des flux de retours aux champs. Ainsi, les systèmes agricoles actuels sont basés sur un puisage non durable des ressources du sol (-23kgN/ha à Barry Sine, -20kgN/ha à Diohine). Des marges de progrès sont néanmoins possibles puisque les bilans azotés des terroirs (25kgN/ha à Barry Sine et 9kgN/ha à Diohine) et des foyers (25kgN/ha à Barry Sine, 13kgN/ha à Diohine) sont positifs. L'import d'azote des foyers est basé sur la vaine pâture et le parcage nocturne à Diohine (interactions inter-foyers) et sur l'import d'aliments concentrés pour l'embouche à Barry Sine. Ces flux d'azote montrent que les troupeaux jouent toujours un rôle majeur dans l'organisation du cycle de l'azote dans les deux villages. Les différences de bilans (positifs aux échelles supérieures et négatifs à l'échelle de la parcelle) montrent que l'azote s'accumule au niveau de l'habitat (en périphérie des concessions) et que le recyclage de l'azote n'est pas optimal. Il s'explique notamment par une sous-valorisation du fumier issu de l'embouche à Barry Sine.

Conscients de la croissance démographique, de la régression de la fertilité des sols et de leur insécurité alimentaire, les habitants des deux terroirs ont proposé un grand nombre de voies d'amélioration de la fertilité des sols. La jachère n'en fait pas partie du fait de la pression déjà très forte sur le foncier. En revanche, ils démontrent un intérêt particulier pour l'intensification des systèmes de culture: le fumier en priorité et les engrais minéraux en second lieu. Des voies d'amélioration indirectes ont aussi été mentionnées. Elles permettent i) d'accroître le chargement animal et donc la fumure organique par la restauration du parc arboré et la mise en place de l'embouche collective à Diohine, ii) d'accroître le recyclage et

de l'azote par la mise en place de fosses fumières et par l'amélioration des capacités de transport du fumier (charrettes et animaux de traits).

Le développement des fosses fumières serait en effet bénéfique d'un point de vue environnemental (bilan N augmenté de +3,3kgN/ha/an à Barry Sine, +1,9kgN/ha/an à Diohine). Les avantages sont plus probants à Barry Sine d'un point de vue social (rendement en mil accru de +32kgMB/ha/an à Barry Sine, +2kgMBha/an à Diohine) et économique (revenu annuel réhaussé de +64€/foyer/an à Barry Sine et -1€/foyer/an à Diohine). Cette option serait donc plus efficace à Barry Sine (meilleur disponible en biomasse) et correspondrait plus à la logique de gestion individuelle des ressources disponibles qui domine dans ce village.

Puisqu'à Diohine le disponible en biomasse est plus faible et que le fumier est déjà bien valorisé, les fosses fumières ne seraient vraiment profitables que si elles sont couplées à un projet d'embouche collective. Vu la tendance de certains emboucheurs à délaissier la culture au profit de l'élevage commercial en négligeant la restauration de la fertilité des sols (mauvais recyclage de l'azote), la combinaison de ces deux améliorations semble essentielle. Étant donné les fortes interactions inter-foyers et la persistance de règles de gestion collectives des ressources communes, le projet d'embouche collective semble pertinent. L'accès des femmes à ces innovations n'est cependant pas garanti puisqu'elles ont peu accès aux sources de fertilité, notamment à l'élevage.

L'impact de la densité arborée sur les rendements et son rôle dans l'alimentation animale confirment l'importance de conserver le parc arboré et de lutter contre sa régression. Il semble que l'enjeu majeur reste la coordination des mesures collectives de protection des plants.

L'étude démontre l'intérêt d'une analyse pluri-échelle « parcelle-ménage-terroir » pour la compréhension du fonctionnement et l'évaluation de la durabilité des terroirs. L'étude illustre également l'intérêt de coupler une approche quantitative (ex. bilan N) à une approche qualitative (ex. représentation des acteurs) sur la base d'ateliers participatifs. La qualité de l'analyse basée sur la participation des acteurs locaux dépend amplement de l'adaptation de la méthode au contexte social. Ainsi, le choix d'une période d'intervention où la charge de travail est réduite, la formulation de questions adaptées (tenant compte de certains tabous) et le choix de support visuels (cartes et schémas) se sont révélés être des éléments clefs de la démarche.

Les bilans azotés obtenus sont proches de ceux déjà décrits dans la littérature d'Afrique de l'Ouest. Cependant, la méthodologie pourrait être encore améliorée. Un élargissement des flux considérés (prise en compte des flux verticaux) permettrait de passer d'un bilan apparent à un bilan complet. Les enquêtes pourraient être complétées par le suivi d'un échantillon de foyers avec pesée périodique des principaux flux et suivi des déplacements des troupeaux par GPS ce qui permettrait de réduire l'incertitude sur certains flux. De plus il serait intéressant de réaliser ce bilan azoté sur plusieurs années consécutives dans les mêmes villages et de réaliser des travaux similaires dans les autres régions du Sénégal afin d'évaluer respectivement la variabilité interannuelle et les complémentarités inter-régions en termes de flux de nutriments.

Cependant, étant donné la forte participation des populations locales dans les activités de recherche, le programme devrait mettre l'accent sur l'amélioration opérationnelle des conditions de vies locales. Dans l'optique de maintenir les dynamiques collectives d'amélioration de la fertilité des sols générées durant l'atelier, il semble opportun de maintenir la facilitation de ces projets. Il serait intéressant dans un premier temps de communiquer les résultats obtenus aux structures les plus à même d'appuyer les acteurs locaux dans leurs projets (ONGs, représentants de l'État). Dans un deuxième temps, l'identification de partenariats pertinents faciliterait la mise en pratique effective des projets de maintien de la fertilité des terres et des rendements culturaux.

Références bibliographiques

ABAKAR M.N.M., 2010. Effets de l'incorporation de feuilles d'*Adansonia digitata* L. dans la ration, sur les performances de croissance et la physiologie digestive des ovins. Doctoral thesis, UCAD (Université Cheikh Anta Diop de Dakar), Dakar, Sénégal, 70p.

AGENCE NATIONALE DE LA RECHERCHE, 2013. Programme Agrobiosphère 2013, Projet CERAO. 40p.

AKOM E.E., 2009. Atlas régional de l'Afrique de l'Ouest. Éditions OECD, Paris, 292p

ALARD V., BÉRANGER C. et JOURNET M., 2002. À la recherche d'une agriculture durable, Étude de systèmes herbagers économes en Bretagne. Editions INRA, Paris, 346p.

ALVAREZ S., RUFINO M.C., VAYSSIÈRES J., SALGADO P., TITTONELL P., TILLARD E. et BOCQUIER F., 2013. Whole-farm nitrogen cycling and intensification of crop-livestock systems in the highlands of Madagascar: An application of network analysis. *Agricultural Systems*, 13p.

ANDRIEU N. et CHIA E., 2012. Un modèle de simulation pluriannuelle des systèmes de production d'Afrique subsaharienne : Simflex. in : Partenariat, modélisation, expérimentation : quelles leçons pour la conception de l'innovation et l'intensification écologique, novembre 2011, Éditions VALL E., ANDRIEU N., CHIA E., NACRO H.B., Bobo-Dioulasso, Burkina Faso, 12p.

ANIMAL CHANGE, 2011. An Integration of Mitigation and Adaptation Options for Sustainable Livestock Production under Climate Change, 2p,

[[http://www.animalchange.eu/Docs/Animal Change Vision.pdf](http://www.animalchange.eu/Docs/Animal%20Change%20Vision.pdf)]

ASSOUMA M.H., VAYSSIÈRES J., BERNOUX M., HIERNAUX P. et LECOMTE P., 2014. Greenhouse Gas Balance of a Tropical Sylvo-Pastoral Ecosystem in Senegal's Semi-Arid Region. in : Livestock, Climate Change and Food Security, INRA et AnimalChange European Project, du 19 au 20 mai 2014, Madrid, Espagne, 1p.

AUDOIN L., 1991. Rôle de l'azote et du phosphore dans la pollution animale. *Revue Scientifique et Technique Off. int. Épiz*, 10 (3), 629-654.

BADIANE Y.B.A., 2006. Évolution du système d'Elevage face aux pressions foncière, environnementale et démographique dans le parc agro-forestier de Niakhar. Thèse de master, UCAD (Université Cheikh Anta Diop de Dakar), Dakar, Sénégal, 107p.

BADO B.V., 2002. Rôle des légumineuses sur la fertilité des sols ferrugineux tropicaux des zones guinéenne et soudanienne du Burkina Faso. Thèse doctorale, Université Laval, Québec, Canada, 184p.

BECKER C., 1984. Tradition villageoise du Siin, Communauté rurale de Ngayokhem, Bari Ndongol. Éditions CNRS, Kaolack, Sénégal, 45-46.

BELEM M., MANLAY R.L., MÜLLER J.P. et CHOTTE J.L., 2011. CaTMAS: A multi-agent model for simulating the dynamics of carbon resources of West African villages. *Ecological Modelling*, 222, 3651-3661.

BLANCHARD M., KOUTOU M., VALL E. et BOGNINI S., 2011. Comment évaluer un processus innovant ? Cas de l'amélioration quantitative et qualitative de la fumure organique au champ. *Revue d'élevage et de médecine vétérinaire en pays tropicaux*, 64 (1-4), 61-72.

BULDGEN A., DETIMMERMAN F., PRIRAUX M. et COMPÈRE R., 1992. Les techniques d'embouche de moutons en région soudano-sahélienne sénégalaise. *Nutrition et Alimentation*, 35 (3-4), 321-328.

BURINI F., 2009. La cartographie participative et la pratique du terrain dans la coopération environnementale : la restitution des savoirs traditionnels des villages de l'Afrique subsaharienne. in : À travers l'espace de la méthode : les dimensions du terrain en géographie, du 18 au 20 juin 2008, CNRS, Arras, France, 10p.

CENTRE DE COOPÉRATION INTERNATIONALE EN RECHERCHE AGRONOMIQUE POUR LE DÉVELOPPEMENT, 1989. *Faidherbia albida* (Del.) A. Chev., caractères sylvicoles et méthodes de plantation. *Bois et Forêts des Tropiques*, 222, 55-69.

CENTRE DE COOPÉRATION INTERNATIONALE EN RECHERCHE AGRONOMIQUE POUR LE DÉVELOPPEMENT, 2009a. Accueil, Qui sommes-nous ?, Organigramme, Départements scientifiques, Environnements et sociétés, Présentation,

[[http://www.cirad.fr/qui-sommes-nous/organigramme/departementsscientifiques/ environnements-et-societes-es/presentation](http://www.cirad.fr/qui-sommes-nous/organigramme/departementsscientifiques/environnements-et-societes-es/presentation)]

CENTRE DE COOPÉRATION INTERNATIONALE EN RECHERCHE AGRONOMIQUE POUR LE DÉVELOPPEMENT, 2009b. Qui sommes-nous?, Le CIRAD, en bref, [<http://www.cirad.fr/qui-sommes-nous/le-cirad-en-bref> 2013]

CENTRE DE COOPÉRATION INTERNATIONALE EN RECHERCHE AGRONOMIQUE POUR LE DÉVELOPPEMENT, 2012a. Accueil, Nos recherches, Unités de recherche, Systèmes d'élevage méditerranéens et tropicaux,

[<http://www.cirad.fr/nos-recherches/unites-de-recherche/systemes-d-elevage-mediterraneens-et-tropicaux>]

CENTRE DE COOPÉRATION INTERNATIONALE EN RECHERCHE AGRONOMIQUE POUR LE DÉVELOPPEMENT, 2012b. Afrique de l'Ouest côtière, Recherche en partenariat, Des dispositifs de recherche et d'enseignement en partenariat Pôle pastoralisme et zones sèches (PPZS),

[http://www.afrique-ouest-cotiere.cirad.fr/index.php/dr/afrique_de_l_ouest_cotiere/recherche_en_partenariat/des_dispositifs_de_recherche_et_d_enseignement_en_partenariat/pole_pastoralisme_et_zones_seches_ppzs 2013]

CENTRE DE COOPÉRATION INTERNATIONALE EN RECHERCHE AGRONOMIQUE POUR LE DÉVELOPPEMENT, 2013. Intensification écologique et Conception des innovations dans les Systèmes Agro-Sylvo-Pastoraux de l'Afrique de l'Ouest -ASAP,

[<http://www.afrique-ouest-continentale.cirad.fr/recherches-en-partenariat/dispositifs-de-recherche-en-partenariat/systemes-agro-sylvo-pastoraux-en-afrique-de-l-ouest-asap>]

CHAMBERS R., 2006. Cartographie participative et systèmes d'information géographique : à qui appartiennent les cartes ? Qui en ressort renforcé, qui en ressort affaibli ? Qui gagne et qui perd ? *The Electronic Journal on Information Systems in Developing Countries*, 25 (2), 1-14.

CHECKLAND P. et POULTER J., 2006. Learning For Action: A Short Definitive Account of Soft Systems Methodology, and its use Practitioners, Teachers and Students, A fleshed-out account of SSM. Éditions Wiley, Chichester, Royaume-Unis, 22-63.

CORMIER M.C., GUEYE C., LERICOLLAIS A. et SECK S.M., 2000. La construction de l'espace sénégalais depuis l'indépendance, 1960-2000, Sécheresse, [http://www.cartographie.ird.fr/SenegalFIG/secheresse.html 2013]

COURTIAL D., DUVAL H. et FROMENT P., 1998. Recherche de références sur les teneurs foliaires en éléments minéraux chez l'amandier. *Cahiers Options Méditerranéennes*, 33, 75-79.

COURTIN F. et GUENGANT J.P., 2011. Un siècle de peuplement en Afrique de l'Ouest. *Natures Sciences Sociétés*, 19 (3), 256-265.

D'AQUINO P., SECK S.M., CAMARA S., 2002. Un SIG conçu pour les acteurs : l'opération pilote POAS au Sénégal. *L'Espace géographique*, 1, 23-37.

DELAUNAY V. et LALOU R., 2012. Culture de la pastèque, du sanio et pratique de l'embouche bovine dans la zone d'étude de Niakhar, Enquête légère juin 2012, Rapport d'analyse. Éditions IRD, Dakar, Sénégal, 12p.

DIA F., DIOP O., SYLLA O., CISSÉ C., NDAO N., LY K. et DIEDHIOU D., 1999. Diagnostic participatif du village de Bari Ndongol, Evaluation ex-anté de l'impact potentiel et de l'acceptabilité des technologies alternatives de gestion des éléments minéraux: Phase de Diagnostic/ Analyse. Éditions Institut Sénégalais de Recherches Agricoles, Direction des recherches sur la santé et les productions animales et Projet agroforestier de Diourbel/Fida, Dakar, Sénégal, 23p.

DIOP A.T., TOURÉ O., ICKOWICZ A. et DIOUF A., 2005. Les ressources sylvopastorales. in : ISRA, ITA et CIRAD. Bilan de la recherche agricole et agroalimentaire au Sénégal 1964-2004. Éditions ISRA, ITA et CIRAD, Dakar, Sénégal, 91-105.

DONGMO A.L., DUGUÉ P., VALL É. et LOSSOUARN J., 2009. Optimiser l'usage de la biomasse végétale pour l'agriculture et l'élevage au Nord-Cameroun. in : Savanes africaines en développement : innover pour durer, du 20 au 23 avril 2009, Éditions SEINY-BOUKAR L. et BOUMARDA P., N'Djaména, Tchad ; Cirad, Montpellier, 10p.

DUGUÉ P., 1985. L'utilisation des résidus de récolte dans un système agro-pastoral Sahélo-soudanien au Yatenga (Burkina Faso). *Cahiers de la Recherche-Développement*, 7, 28-37.

DUGUÉ P., 2000. Flux de biomasse et gestion de la fertilité à l'échelle des terroirs, Etude de cas au Nord Cameroun et essai de généralisation aux zones de savane d'Afrique sub-saharienne. in : Fertilité et relations agriculture-élevage en zone de savane : actes de l'atelier sur les flux de biomasse et la gestion de la fertilité à l'échelle des terroirs, Éditions DUGUÉ P., du 5 au 6 mai 1998, Montpellier, 27-59.

FALL S.T., 1989. Utilisation d'*Acacia albida* et de *Calotropis procera* pour améliorer les rations des petits ruminants au Sénégal. in : Recherche-développement sur l'élevage des petits ruminants en Afrique, du 18 au 25 janvier 1989, Éditions TREVOR R. et WILSON A.M., Abis Ababa, Ethiopia, 155-166.

FALL-TOURÉ S., TRAORÉ E., N'DIAYE K., N'DIAYE N.S. et SÈYE B.M., 1997. Utilisation des fruits de *Faidherbia albida* pour l'alimentation des bovins d'embouche paysanne dans le bassin arachidier au Sénégal. *Livestock Research for Rural Development*, 9 (5), 1-17.

FAYE A., GARIN P., MILLEVILLE P., LOMBARD J., 1987. Évolution des systèmes agraires, Analyse du changement dans les systèmes agraires Serer au Sénégal, Bilan et perspectives des recherches. Éditions ORSTOM, Dakar, Sénégal, 40p.

FAYE A. et LANDAIS E., 1986. L'embouche bovine paysanne dans le centre-nord du bassin arachidier au Sénégal. *Cahiers de la recherche-développement en milieu rural*, 9-10, 113-120.

FERTIPARTENAIRES, 2012. Fiche technique Fertipartenaires n°2, Production de fumier en fosse. Éditions CIRAD, CIRDES, UPPCT, INADES, Bobo-Dioulasso, Burkina Faso, 2 p.

FLOOD R.L., 2000. A Brief Review of Peter B. Checkland's Contribution to Systemic Thinking. *Systemic Practice and Action Research*, 13 (6), 723-731.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS, 2003. Gestion de la fertilité des sols pour la sécurité alimentaire en Afrique subsaharienne. Éditions FAO, Rome, Italie, 66p.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS, 2010. Profil nutritionnel de pays, République du Sénégal. Éditions FAO et SICIIV, Rome, Italie, 64p.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS, 2013. FAOSTAT, Resources, Senegal, [<http://www.faostat.fao.org/site/550/DesktopDefault.aspx?PageID=550> - ancor 2013]

FRENCH AGENCY FOR FOOD ENVIRONMENTAL AND OCCUPATIONAL HEALTH AND SAFETY, 2012. Ciquial French Food Composition Table, Composition values, Watermelon, pulp, raw, [<http://www.ansespro.fr/TableCIQUAL/index.htm>]

GANRY F. et BADIANE A., 1998. La valorisation agricole des fumiers et des composts en Afrique soudano-sahélienne, Diagnostic et perspectives. *Agriculture et Développement*, 18, 73-80.

GARIN P., FAYE A., LERICOLLAIS A. et SISSOKHO M., 1990. Évolution du rôle du bétail dans la gestion de la fertilité des terroirs Sereer au Sénégal. *Les Cahiers de la Recherche Développement*, 26, 65-84.

GIFFARD P.L., 1964. Les possibilités de reboisement en *Acacia albida* au Sénégal. *Revue bois et Forêts des Tropiques*, 95, 21-33.

GUIGOU B., LERICOLLAIS A. et PONTIÉ G., 1998. La gestion foncière en pays sereer siin (Sénégal). in : LAVIGNE DELVILLE P. Quelles politiques foncières pour l'Afrique rurale?, Réconcilier pratiques, légitimité et légalité, Éditions Karthala et Coopération française, Paris, 183-196.

HOANG V.N. et ALAUDDIN M., 2009. Assessing eco-environmental performance of agricultural production in OECD countries: combination of soil surface, soil system and farm gate methods of nutrient auditing. Rapport de département, The University of Queensland, Brisbane, Australia, 38p.

HUSS H.H., 1999. La qualité et son évolution dans le poisson frais. Éditions FAO Fisheries Technical Paper, Rome, Italie, 198p.

INSTITUT DE RECHERCHE POUR LE DÉVELOPPEMENT, 2013. Accueil, L'IRD au Sénégal, Implantations principales, Station de Niakhar.

[<http://www.senegal.ird.fr/l-ird-au-senegal/implantations-principales/station-de-niakhar> 2013]

INSTITUT NATIONAL DE LA RECHERCHE AGRONOMIQUE, 1989. Ruminant Nutrition, Recommended allowances and feed tables. Editions R. Jarrige, London, Angleterre, 389p.

INTERNATIONAL LIVESTOCK CENTER FOR AFRICA, 1998. Crop - Livestock Interactions, A Review of Opportunities for Developing Integrated Models. Editions Stirling Thorne Associates, Llangefni, Royaume-Unis, 69p.

IPACC-CTA, 2010. Rapport sur la formation de cartographie participative en 3D, Le paysage Abongo-Tsogho de la Commune d'Ikobey et le Parc National de Waka. Éditions IPACC-CTA, Fougamou, Gabon, 30p.

JOUBE P., 2001. Jachères et systèmes agraires en Afrique subsaharienne. in : FLORET C. et PONTANIER R. La jachère en Afrique tropicale : Rôles, aménagement, alternatives, De la jachère naturelle à la jachère améliorée, Le point des connaissances. Éditions IRD, Paris, 1-20.

KAASCHIETER G.A., ATTEMA J. et COULIBALY Y., 1996. Rapports PSS No 25, Production Soudano-Sahélienne (PSS), Exploitation optimale des éléments nutritifs en élevage, Projet de coopération scientifique, Utilisation de la fane de niébé (*Vigna unguiculata*) et du tourteau de coton comme suppléments de la paille de riz (*Oryza sativa*) par des taurillons. Éditions IER, Bamako, AB-DLO, Wageningen, Haren DAN-UAW, Wageningen, 49p.

LALOU R. et GRÉMONT C., 2012. Synthèse de l'atelier ECRIS, Niakhar et Podor, Sénégal. Éditions ANR, Dakar, Sénégal, 11p.

LE THIEC G., 1996. Agriculture Africaine et traction animale. Éditions CIRAD, Montpellier, 362p.

LERICOLLAIS A., 1988. Crises, La mort des arbres à Sob, en pays Sereer (Sénégal). in : ANTHEAUMES B., BLANC-PAMARD C., CHALEARD J.L., DUBRESSON A., LASSAILLY-JACOB V., MARCHAL J.Y., PILLET-SCHWARTZ A.M., POURTIER R., RAISON J.P. et SEVIN O. Tropiques, lieux et liens. Éditions ORSTOM, Paris, 187-197.

LERICOLLAIS A., 1999. Paysans sereer, Dynamiques agraires et mobilités au Sénégal. Éditions IRD, Paris, 681p.

LERICOLLAIS A. et FAYE A., 1994. Des troupeaux sans pâturages en pays Sereer au Sénégal. in : BLANC-PAMARD C. et BOUTRAIS J. Dynamique des systèmes agraires : à la croisée des parcours : pasteurs, éleveurs, cultivateurs. Éditions ORSTOM, Paris, 165-196.

LISSON S., MacLEOD N., McDONALD C., CORFIELD J., PENGELLY B., WIRAJASWADI L., RAHMAN R., BAHAR S., PADJUNG R., RAZAK N., PUSPADI K., DAHLANUDDIN, SUTARYONO Y., SAENONG S., PANJAITAN T., HADIAWATI L., ASH A. et BRENNAN L., 2010. A participatory, farming systems

approach to improving Bali cattle production in the smallholder crop–livestock systems of Eastern Indonesia. *Agricultural Systems*, 103 (7), 486-497.

MALIBOUNGOU J.C., LESSIRE M. et HALLOUIS J.M., 1998. Composition chimique et teneur en énergie métabolisable des matières premières produites en République centrafricaine et utilisables chez les volailles. *Revue d'élevage et de médecine vétérinaire des pays tropicaux*, 51 (1), 55-61.

MANLAY R.J., 2001. Organic matter dynamics in mixed-farming systems of the West African savanna, A village case study Sfrom South Senegal. Thèse doctorale, École Nationale du Génie Rural, des Eaux et Forêts, Montpellier, 192p.

MANLAY R.J., ICKOWICZ A., MASSE D., FELLER C. et RICHARD D., 2004. Spatial carbon, nitrogen and phosphorus budget in a village of the West African savanna—II. Element flows and functioning of a mixed-farming system. *Agricultural Systems*, 79, 83-107.

MEYER C., 2013. CIRAD, Dictionnaire des sciences animales,

[<http://www.dico-sciences-animales.cirad.fr/liste-mots.php?fiche=28301&def=UBT 2013>]

NGOM M., 2006. L'évolution des systèmes de culture face aux pressions démographiques, économiques et environnementales dans le parc agroforestier de Niakhar. Thèse de master, UCAD (Université Cheikh Anta Diop de Dakar), Dakar, Sénégal, 109p.

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. Thèse de master, ISTOM, Cergy-Pontoise, 109p.

PRETTY J.N., 1995. Participatory Learning for sustainable agriculture. *World Development*, 23 (8), 1247-1263.

RABOT C., 1990. Transfert de fertilité et gestion des terroirs, Quelques points de vue. *Les Cahiers de la Recherche Développement*, 25, 19-32.

REIFF C. et GROS C., 2004. Analyse- Diagnostic du système agraire des paysans sérères au coeur du "Bassin arachidier" Sénégal. Thèse de master, Institut National Agronomique Paris-Grignon, Paris, 79p.

RICHARD D., GUERIN H., FRIOT D., MBAYE N., 1990. Teneurs en énergies brute et digeste de fourrages disponibles en zone tropical. *Revue d'élevage et de médecine vétérinaire des pays tropicaux*, 43 (2), 225-231.

ROY R.N., MISRA R.V., LESSCHEN J.P. et SMALING E.M., 2005. Évaluation du bilan en éléments nutritifs du sol, Approches et méthodologies, Bulletin FAO engrais et nutrition végétale 14. Éditions FAO, Rome, Italie, 85p.

RUFINO M. C., DURY J., TITTONELL P., WIJK M.T.V., HERRERO M., ZINGORE S., MAPFUMO P. et GILLER K. E. 2010. Competing use of organic resources, village-level interactions between farm types and climate variability in a communal area of NE Zimbabwe. *Agricultural Systems*, 104 (2), 175-190.

RUFINO M. C., HENGSDIJK H. et VERHAGEN A. 2009. Analysing integration and diversity in agro-ecosystems by using indicators of network analysis. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 84, 229-247.

SCHLECHT E. et HIERNAUX P., 2004. Beyond adding up inputs and outputs: process assessment and upscaling in modelling nutrient flows. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 70, 303–319.

SCHLECHT E., HIERNAUX P., ACHARD F.O. et TURNER M.D., 2004. Livestock related nutrient budgets within village territories in western Niger. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 68, 199-211.

SCHLECHT E., BUERKERT A., TIELKES E. et BATIONO A., 2006. A critical analysis of challenges and opportunities for soil fertility restoration in Sudano-Sahelian West Africa. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 76, 109–136.

SIDIBÉ H., 1978. Le terroir Sénégalais de Toube-Bane et son environnement socio-économique. Éditions Département d'économie rurale, Faculté des sciences de l'agriculture et de l'alimentation, Université Laval, Québec, Canada, 73p.

SIMON J.C., LE CORRE L., 1992. Le bilan apparent de l'azote à l'échelle de l'exploitation agricole : méthodologie, exemples de résultats. *Fourrages*, 129, 79-94.

SLÅEN T., MANTERE V. et TOLLET L., 2003. OPERA, A guide for more efficient meetings. Editions Innotiimi, Helsinki, Finlande, 122p.

SRISKANDARAJAH N., BAWDEN R.J. et PACKHAM R.G., 1991. Systems Agriculture: A Paradigm for Sustainability. *Association for Farming Systems Research-Extension Newsletter*, 2 (3), 1-4.

STOORVOGEL J.J., SMALING E.M.A et JANSSEN B.H., 1993. Calculating soil nutrient balances in Africa at different scales. *Fertilizer Research*, 35, 227-235.

THORNTON P.K. et HERRERO M., 2001. Integrated crop–livestock simulation models for scenario analysis and impact assessment. *Agricultural Systems*, 70 (2-3), 581-602.

TITTONELL P., LEFFELAAR P. A., VANLAUWE B., WIJK M.T.V. et GILLER K. E., 2006. Exploring diversity of crop and soil management within smallholder African farms: A dynamic model for simulation of N balances and use efficiencies at field scale. *Agricultural Systems*, 91 (1-2), 71-101.

USDA NUTRIENT LABORATORY, 2013. Agricultural Research Service, National Nutrient Database for Standard Reference.

[<http://www.ndb.nal.usda.gov/ndb/search/list> 2013]

VANDERMEERESCH C., MARRA A., NDIAYE P., NDIAYE O., FAYE S., LEVI P., NAULIN A. et EKOUDVIDJIN E., 2013. Rapport sur les enquêtes « Culture élevage », « Ménage équipement » et le « Suivi scolaire » : document technique et axes de recherche. Éditions IRD, Dakar, Sénégal, 270p.

VAYSSIÈRES J., 2012. Modélisation participative et intégration des pratiques décisionnelles d'éleveurs dans un modèle global d'exploitation. Thèse doctorale, Centre International d'Etudes Supérieures en Sciences Agronomiques, Montpellier, 179p.

VAYSSIÈRES J., BOCQUIER F.O., LECOMTE P., 2009a. GAMEDE: A global activity model for evaluating the sustainability of dairy enterprises. Part II – Interactive simulation of various management strategies with diverse stakeholders. *Agricultural Systems*, 101 (3), 139-151.

VAYSSIÈRES J., GUERRIN F.O., PAILLAT J.M. et LECOMTE P., 2009b. GAMEDE: A global activity model for evaluating the sustainability of dairy enterprises Part I – Whole-farm dynamic model. *Agricultural Systems* 101 (3), 128-138.

VAYSSIÈRES et RUFINO, 2012. Managing nutrient cycles in crop and livestock systems with green technologies. in : Boye Joyce I. (ed.), Arcand Yves (ed.). *Green technologies in food production and processing*. Éditions Springer, New York, États-Unis, 151-182.

VIGAN A., VAYSSIÈRES J., MASSE D., MANLAY R.J., SISSOKHO M., LECOMTE P., 2014. Sustainable intensification of crop production in agro-sylvo-pastoral territories through the expansion of cattle herds in Western Africa. in : *Livestock, Climate Change and Food Security*, INRA et AnimalChange European Project, du 19 au 20 mai 2014, Madrid, Espagne, 1p.

VON GREBMER K., TORERO M., OLOFINBIYI T., FRITSHEL H., WIESMANN D., YOHANNES Y., SCHOFIELD L. et VON OPPELN C., 2011. 2011, *Indice de la faim dans le monde, Relever le défi de la faim, Maîtriser les chocs et la volatilité excessive des prix alimentaires*. Éditions IFPRI (International Food Policy Research Institute), Concern Worldwide & Welthungerhilfe, Paris, 60p.

WANEUKEM V., GANRY F., 1992. Relations entre les formes d'azote organique du sol et l'azote absorbé par la plante dans un sol ferrallitique du Sénégal. *Cahiers Orstom, série Pédologie*, 27 (1), 97-107.

WENTLING M.G., 1983. *Acacia albida*: Arboreal keystone of successful agro-pastoral systems in sudano-sahelian Africa. Cornell University, Ithaca, New York, États-Unis, 22p.

WEZEL A et RATH T., 2002. Resource conservation strategies in agro-ecosystems of semi-arid West Africa. *Journal of Arid Environments*, 51, 383-400.

WIESE M., YOSKO I. et DONNAT M., 2004. La cartographie participative en milieu nomade : un outil d'aide à la décision en santé publique- Etude de cas chez les Dazagada du Bahr-El-Ghazal (Tchad). *Médecine Tropicale*, 64 (5), 452-463.

Glossaire

Confiage (*pok*) : « Système social dans lequel l'éleveur reçoit un animal d'un propriétaire, par exemple une chèvre. Après quelque temps, il ne garde pour lui qu'une partie des chevreaux qui ont survécu, la moitié par exemple » (MEYER, 2013), le reste de la progéniture et l'adulte sont retournés au propriétaire initial

Dior : sols sableux, faciles à travailler mais pauvres en éléments minéraux. Ils se dégradent fortement sous l'effet de la sécheresse et de l'intensité de la culture. On y cultive généralement le mil et l'arachide (DIA *et al.*, 1999 ; NGOM, 2006)

Deck : sols *deck* sont limono-argileux, plus riches en éléments minéraux que les sols *dior* et cohérents à l'état sec (DIA *et al.*, 1999 ; NGOM, 2006)

Deck-dior : sols argilo-sabloneux plus riches en matière organique et de composition en minéraux intermédiaire. Les mêmes cultures que celles des sols *dior* y sont implantés (DIA *et al.*, 1999 ; NGOM, 2006)

Embouche : pratique d'engraissement à but commercial généralement avec des animaux entravés et recevant des doses importantes de concentrés

Iler : « Outil agricole polyvalent utilisé en Afrique sahélienne, constitué d'une lame arrondie à l'avant, possédant deux ailes latérales, et d'un long manche en bois »

Isohyète : Se dit d'une courbe joignant les points recevant la même quantité de précipitations

Matye : mil à cycle long

Ndonate : association en interrang de la culture principale avec du mil, du sorgho ou de l'arachide

Parcage de nuit : attache des animaux au piquet sur une parcelle de nuit dans le but de la fertiliser

Soft System Methodology : approche systémique (plutôt que systématique) qui transcrit la complexité du système et se base sur la participation et les intérêts des acteurs locaux par le biais de la recherche-action (FLOOD, 2000)

Soudure :

-période d'épuisement des stocks et avant la récolte

-soudure fourragère entre deux cycles de pâturage, s'applique ici à la période en saison sèche précédent la repousse de la biomasse en saison des pluies (MEYER, 2013)

Terroir : « espace cultivé et exploité par une communauté villageoise » (RABOT, 1990)

Troupeau traditionnel : bétail sédentaire mais pratiquant la vaine pâture et ne recevant pas de fortes doses de concentrés

Troupeau transhumant : bétail suivant une migration saisonnière vers des zones plus fertiles (MEYER, 2013)

Vaine pâture : droit de faire pâturer ses animaux sur le terrain d'autrui en l'absence de récolte (MEYER, 2013)

Vaine pâture bergée : vaine pâture avec surveillance du berger, pratiquée généralement lorsque certains champs ont été récoltés mais pas d'autres

Table des figures

Figure 1 : Évolution de la densité de population dans la zone de Ngayokhem et dans la zone de Niakhar entre 1963 et 2009	8
Figure 2 : Sévérité de la dégradation des sols et densité de population en Afrique subsaharienne	10
Figure 3 : Translation des isohyètes pendant la période de sécheresse de 1961-1990 en référence à la période de 1931-1960	10
Figure 4 : Tendances régionales de la production alimentaire par habitant de 1961 à 1999	13
Figure 5 : Les marchés hebdomadaires du Sine pour la vente de bétail en 1998	14
Figure 6 : Localisation des 3 principaux sites d'intervention du CIRAD UMR SELMET sélectionnés selon un zonage climatique	16
Figure 7 : Fréquence des concessions pratiquant l'embouche en 2012 dans les différents terroirs de l'observatoire démographique IRD de Niakhar	17
Figure 8 : Répartition chronologique des travaux en vue d'accomplir les missions assignées	20
Figure 9 : Résumé de la spatialisation des flux de biomasse.....	23
Figure 10 : Résumé de la spatialisation des flux de biomasse pluri-échelles	24
Figure 11 : Découpage en saison pratiques	30
Figure 12 : Modèle de dossier individuel remis aux enquêtés à la fin des ateliers participatifs	37
Figure 13 : Zonage agroécologique de Barry Sine et de Diohine en 2013.....	40
Figure 14 : Représentation de la répartition du nombre de ménages par concessions à Barry Sine et Sassem (d'après ODRU, 2013) en 2013	41
Figure 15 : Cartes de l'assolement culturel de Barry Sine et Sassem en 2012	42
Figure 16 : Cartes de l'intensité de fumure pour Barry Sine et Sassem en 2012.....	46
Figure 17 : Localisation des parcages nocturnes pour Barry Sine et Sassem en 2012	48
Figure 18 : Localisation des épandages d'engrais minéraux pour Barry Sine et Sassem en 2012.....	50
Figure 19 : Graphique de la répartition des bilans azotés par effectif pour Barry Sine et Sassem (d'après ODRU, 2013) en 2012	53
Figure 20 : Cartes du bilan azoté pour Barry Sine et Sassem en 2012	54
Figure 21 : Box plots de l'efficacité azotée pour Barry Sine et Sassem (d'après ODRU, 2013) en 2012	55
Figure 22 : Bilans azotés à l'échelle du foyer en fonction du chargement animal total par catégorie d'exploitation	56
Figure 23 : Répartition du bilan azoté par rapport à la SAUT du terroir pour Barry Sine et Sassem (d'après ODRU, 2013) en 2012.....	60
Figure 24 : Comparaison des ressources favorisant la fertilité du terroir pour Barry Sine et Sassem et par genre listées aux ateliers en 2013.....	61
Figure 25 : Comparaison des types d'élevages les plus cités par genre et par village durant les ateliers de Barry Sine et Sassem en 2013	62
Figure 26 : Comparaison à Barry Sine des zones de fertilité du terroir identifiées par genre lors des ateliers (en haut) avec la carte de l'efficacité azotée (en bas).....	64
Figure 27 : Comparaison à Sassem des zones de fertilité du terroir identifiées par genre lors des ateliers (en haut) avec la carte de l'efficacité azotée (en bas).....	65

<u>Figure 28</u> : Comparaison par village des voies d'amélioration citées aux ateliers de Barry Sine et Sassem en 2013	67
<u>Figure 29</u> : Comparaison par village et par genre des voies de financement pour l'amélioration de la fertilité du terroir identifiées lors des ateliers de Barry Sine et de Sassem en 2013.....	68
<u>Figure 30</u> : Comparaison des bilans azotés à l'échelle de la parcelle en Afrique de l'Ouest	70
<u>Figure 31</u> : Localisation des bilans azotés à l'échelle de la parcelle des sites d'étude en Afrique de l'Ouest	70
<u>Figure 32</u> : Comparaison des pratiques et visions des villages de Barry Sine et Dihine en 2013.....	71
<u>Figure 33</u> : Protection individuelle des jeunes plants par l'utilisation de matériel local	77

Table des tableaux

<u>Tableau 1</u> : Découpage de la mission	32
<u>Tableau 2</u> : Questions des ateliers participatifs relatives à la structure du terroir	35
<u>Tableau 3</u> : Questions des ateliers participatifs relatives aux pratiques agricoles	35
<u>Tableau 4</u> : Comparaison de l'alimentation d'embouche par catégorie d'animaux pour Barry Sine et Sassem (d'après ODRU, 2013) en 2012	45
<u>Tableau 5</u> : Comparaison des équipements agricoles et de la fumure des parcelles pour Barry Sine et Sassem (d'après ODRU, 2013) en 2012	47
<u>Tableau 6</u> : Comparaison des rendements pour Barry Sine et Sassem (d'après ODRU, 2013) en 2012	51
<u>Tableau 7</u> : Comparaison de la production en coproduits ramenée à la SAUT à Barry Sine et Sassem (d'après ODRU, 2013) en 2012	52
<u>Tableau 8</u> : Comparaison de la part de coproduits laissés au champ à Barry Sine et Sassem (d'après ODRU, 2013) en 2012	52
<u>Tableau 9</u> : Typologie des foyers et caractéristiques	57
<u>Tableau 10</u> : Valorisation du fumier par type de foyer	59
<u>Tableau 11</u> : Comparaison multi-échelle des stratégies des villages	60
<u>Tableau 12</u> : Gains environnementaux, sociaux et économiques consécutifs à l'implémentation de fosses fumières (moyenne par type de foyer)	75

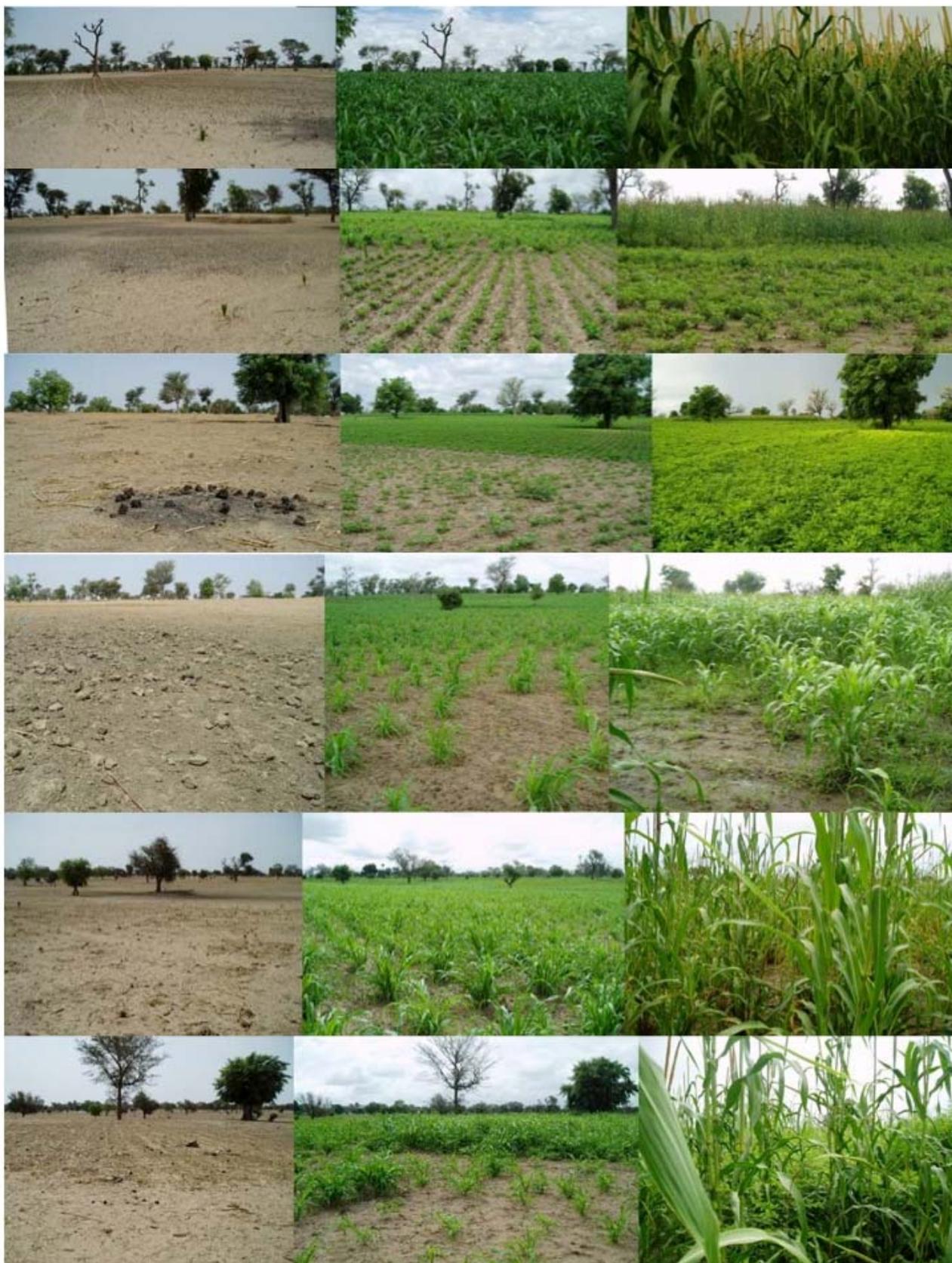
Table des matières

Remerciements.....	III
SOMMAIRE	IV
Sigles et abréviations.....	V
Introduction générale	6
PARTIE 1 : La remise en cause du système agrosylvopastoral traditionnel Sereer justifiant l'intérêt de l'étude	7
1 Quel contexte a favorisé l'essor de l'embouche ?	8
1.1 Les raisons d'ordre environnemental	8
1.1.1 L'impact de la pression démographique croissante sur le système de culture Sereer	8
1.1.2 Une forte compétition entre les besoins humains et ceux du bétail.....	9
1.1.3 Épuisement des sols.....	9
1.1.4 La pression démographique accentuée par des problèmes hydriques	10
1.2 Des raisons d'ordre socio-politique	11
1.2.1 Des politiques défavorables au système traditionnel.....	11
1.2.2 De la culture Sereer à l'islamisation.....	12
1.2.3 Vers une individualisation des ménages.....	12
1.3 Des raisons d'ordre économique.....	13
1.3.1 L'ouverture du système.....	13
1.3.2 Un attrait économique majeur facilité par une position stratégique des terroirs étudiés	14
1.3.3 Des investissements possibles grâce à la migration	14
2 Un cadre d'étude orienté vers le développement par l'élevage.....	15
2.1 Le PPZS (Pôle Pastoral Zone Sèche) au sein du CIRAD	15
2.2 Le projet de financement « AnimalChange » et Cerao	15
2.3 Les sites d'intervention : Haute Casamance, bassin arachidier et Ferlo.....	16
3 Problématique de la zone d'étude n°2.....	17
PARTIE 2 : La « Soft System methodology » appliquée à l'approche systémique pluri-échelle et aux ateliers participatifs.....	19
1 Démarche globale	20
2 Le choix du modèle conceptuel	21
2.1 Les différents types de modèles conceptuels	21
2.1.1 Échelle de la parcelle, de l'individu ou du troupeau.....	21
2.1.2 Échelle de l'exploitation	21
2.1.3 Échelle du terroir.....	22
2.1.3.1 Une définition du terroir qui varie d'une discipline à l'autre	22
2.1.3.2 Sous-division de l'échelle du terroir.....	23
2.2 Le modèle conceptuel choisi.....	24
2.2.1 Limites du système	24
2.2.2 L'approche spatiale.....	25
2.2.3 Les ateliers considérés à l'échelle du foyer	25
3 Construction du guide d'enquête	25
3.1 Structure du guide d'enquête	25
3.1.1 Structure du Foyer	25
3.1.2 Système de culture	26
3.1.3 Système d'élevage.....	26
3.1.4 Système de gestion des effluents	26
3.1.5 Les arbres	26
3.2 Administration du guide d'enquête	26
3.2.1 La compréhension du système par l'immersion.....	27
3.2.2 Période d'entretien.....	27
3.2.3 Présentation du projet.....	27
3.2.4 Choix des interlocuteurs	27
3.2.5 Adaptation aux différences culturelles	28
3.2.5.1 Aborder les dates	28
3.2.5.2 Aborder la question du cheptel.....	28
3.2.5.3 Aborder les questions indicatrices de la santé financière du foyer.....	28
4 Base de données et indicateurs calculés	29

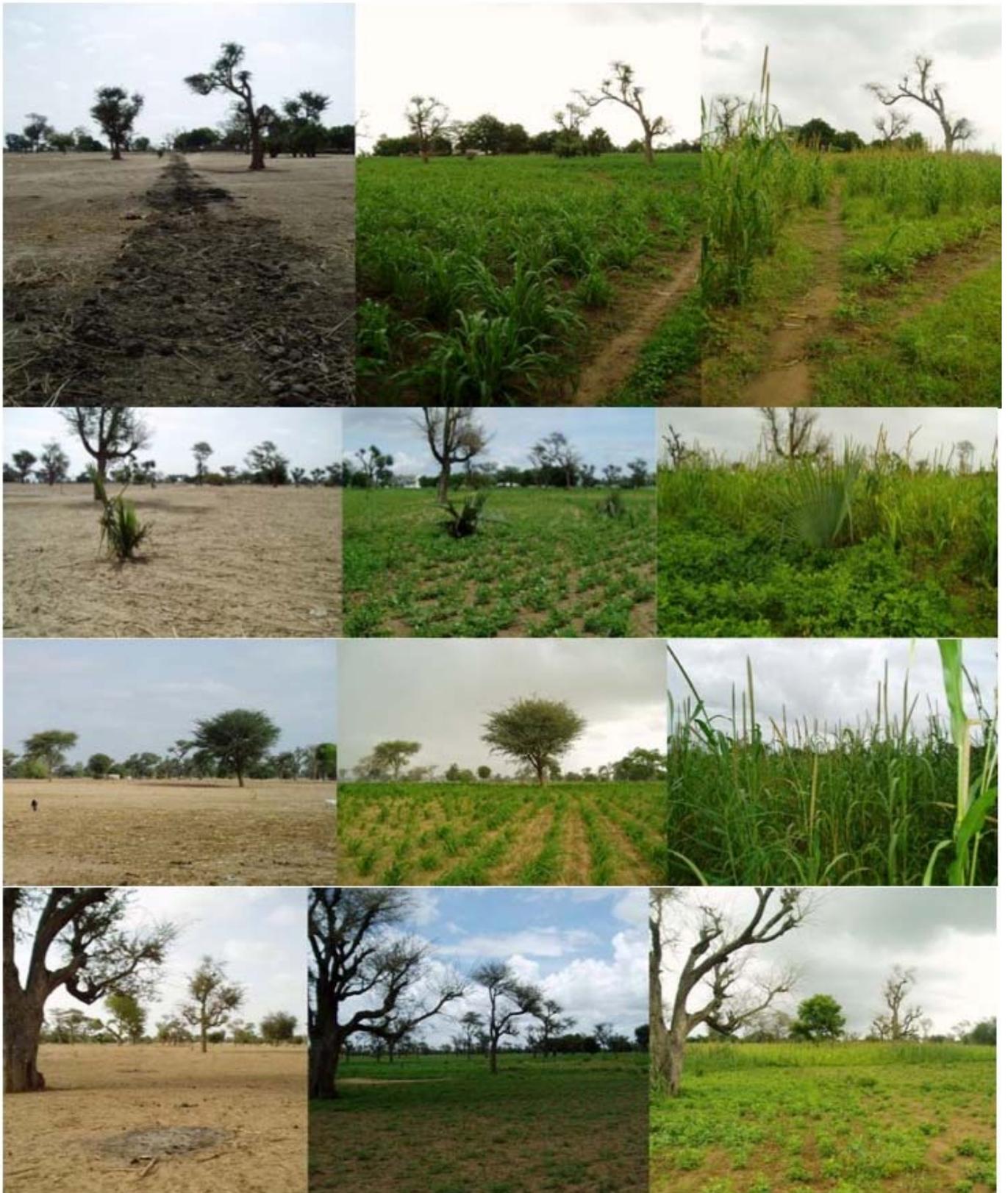
4.1	La saisie de données	29
4.1.1	Le système métrique.....	29
4.1.2	Les règles de décision	29
4.1.3	Découpage en saisons pratiques et calcul des échanges liés à la vaine pâture 29	
4.2	Traitement des données.....	30
4.2.1	Notion de bilan d'azote apparent et d'efficience azotée	30
4.2.2	Choix de l'azote comme indicateur de fertilité	31
5	Spatialisation des résultats.....	31
5.1	« Transects ».....	31
5.2	Travail en binôme avec un géographe et confrontation des résultats.....	31
6	Les ateliers participatifs pour explorer les possibilités d'amélioration de la fertilité des sols	32
6.1	Adaptation des ateliers au contexte local.....	32
6.2	Soft System Methodology et méthode OPERA.....	33
6.3	Déroulement des ateliers	34
6.3.1	Introduction des ateliers participatifs (20 minutes).....	34
6.3.2	Quelle est la situation actuelle ? (2h).....	34
6.3.3	Quelle est la situation souhaitée ? (1h).....	36
6.3.4	Conclusion des ateliers.....	36
	PARTIE 3 : Résultats	39
1	Structure des villages	41
1.1	Histoire des villages	41
1.2	Structuration de l'habitat.....	41
1.3	Population et surface disponible	43
2	Pratiques et équipements.....	43
2.1	Assolement.....	43
2.2	Embouche	45
2.3	Fertilisation	47
2.3.1	Le fumier	47
2.3.1	La vaine pâture et le parcage nocturne	49
2.3.1	Les engrais minéraux.....	51
2.4	Les rendements.....	51
3	Bilans azotés	53
3.1	À l'échelle de la parcelle.....	53
3.2	À l'échelle du ménage	56
3.3	À l'échelle du terroir.....	59
3.4	Comparaison pluri-échelle.....	60
4	Voies d'améliorations et représentations des villageois	62
4.1	Représentations des villageois de la situation actuelle	62
4.1.1	Ressources disponibles	62
4.1.2	Répartition spatiale de la fertilité.....	63
4.1.3	Le bilan du terroir	66
4.2	La situation voulue	66
	PARTIE 4 : Discussion et propositions d'amélioration.....	69
1	Comparaison multi-paramètres avec la littérature	70
2	Impact de la pratique d'embouche sur les résultats	72
3	Faisabilité des améliorations	73
3.1	Mise en place des fosses fumières	73
3.2	Cas de l'embouche collective.....	75
3.3	Cas du reboisement en <i>Acacia albida</i>	76
4	Améliorations en termes de méthodologie	77
	Conclusion générale	80
	Références bibliographiques	82
	Glossaire.....	90
	Table des figures	91
	Table des tableaux.....	93
	Table des matières	94
	Table des annexes.....	117

ANNEXES

Annexe 1 : Importance de la pluviosité sur l'évolution du couvert végétal entre la fin de la saison sèche (mai), le début de la saison des pluies (juillet) et le milieu de la saison des pluies (août) en 2013







1. Évolution de la pratique de l'embouche

1.1. Expansion de la pratique

L'évolution de l'embouche dans le village de Barry Sine a connu un essor conséquent en 23 ans. En effet, les effectifs s'élevaient en 1990 dans le village à seulement 22 bovins et 8 ovins embouchés (LERICOLLAIS, 1999). Désormais on ne compte pas moins de 211 bovins, 211 ovins et 4 caprins engraisés dans un but commercial. En 1990, le village avait déjà basé sa stratégie d'adaptation agricole sur la pratique d'embouche puisque 3% des effectifs bovins de la communauté de Ngayokhem étaient mis en embouche (LERICOLLAIS et FAYE, 1994) contre 7% au sein de Barry Sine (LERICOLLAIS, 1999). Si les villageois se sont accordés à dire qu'ils ont toujours connu l'embouche dans la zone, cette tendance s'est accentuée puisque désormais, 31% des effectifs bovins sont embouchés.

Cette pratique n'est pas le cas d'agriculteurs isolés puisque l'IRD comptait 78,3% des concessions ayant adopté cette pratique (DELAUNAY et LALOU, 2012) et que nous avons relevé une légère augmentation atteignant 81,5% des concessions concernant l'embouche bovine. Si les frais d'investissements sont particulièrement élevés dans le cas des bovins, une alternative adoptée par 70,4% des concessions concerne l'embouche ovine ce qui permet à un total de 92,6% des concessions d'avoir accès à cette pratique.

Ces taux d'adoption dépendent cependant des ménages puisqu'en revanche 78,1% des ménages font de l'embouche. Les 54,8% de ménages ayant adopté l'embouche ovine investissent en moyenne dans 3 bœliers, mais les effectifs annuels peuvent atteindre 21 têtes. Pour les 64,4% ménages ayant adopté l'embouche bovine, l'effectif moyen s'élève également à 3 bœufs mais peut atteindre jusqu'à 45 têtes (Figure 1).

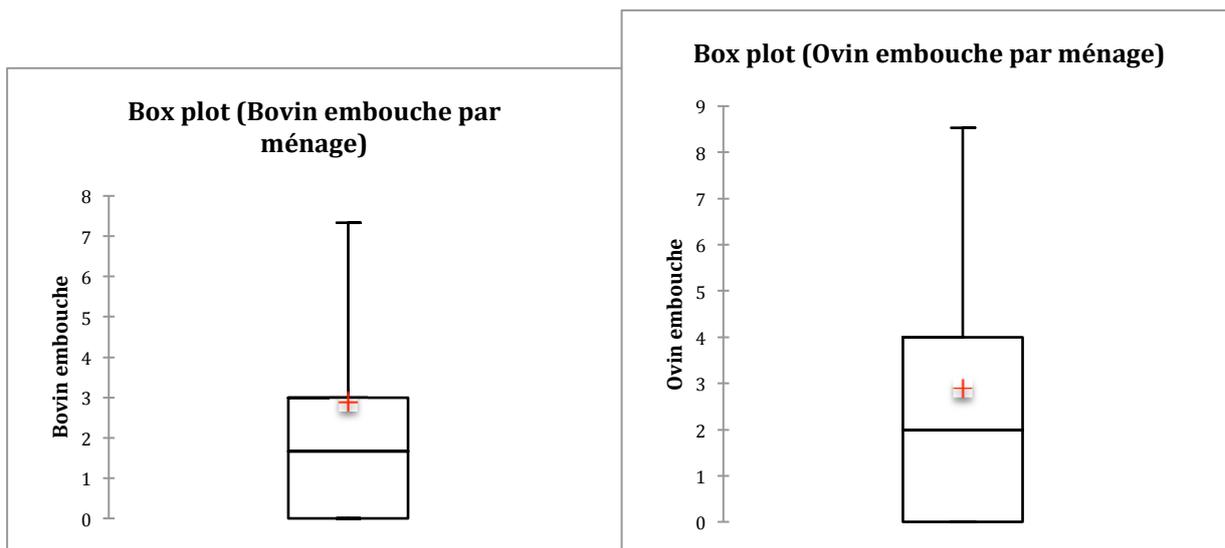


Figure 1 : Pratique de l'embouche bovine et ovine à Barry Sine pour l'année 2012

1.2. De la valorisation des sous-produits à l'achat de l'alimentation

L'embouche, à ses débuts, avait une réelle vocation de valorisation des sous-produits agricoles (Tableau 1).

Tableau 1 : Alimentation du bétail d'embouche en pays Sereer de 1886 à 1999

	1986 (FAYE et LANDAIS, 1986)	1987 (FAYE et al., 1987)	1988 (LERICOLLAIS, 1988)	1990 (GARIN et al., 1990)	1994 (LERICOLLAIS et FAYE, 1994)	1999 (LERICOLLAIS, 1999)
Autoconsommation	Fane d'arachide	x	x	x	x	x
	Fane de niébé		x	x	x	x
	Paille de mil	x		x	x	
	Foins de brousse (adventices post-cultureaux ou herbes de jachère)	x		x		x
	Sons de céréales	x	x			x
	Restes des repas					x
Achat extérieur	Fane d'arachide	x	x	x	x	x
	Fane de niébé		x	x	x	x
	Tourteau d'arachide	x			x	x
	Son de blé	x			x	x
	Concentrés du commerce	x			x	x
	Grains de coton		x			

D'après le Tableau 2, l'embouche dépendait cependant aussi des produits importés dans la concession, notamment pour les concentrés. Cette tendance est toujours d'actualité puisque seulement 4 lots d'embouche sur les 89 comptés n'ont pas bénéficié d'aliments importés.

Tableau 2 : Alimentation du bétail d'embouche par UBT et par jour à Barry Sine en 2012

Fourrages	Paille de mil	Fanes d'arachide	Paille de sorgho	Herbes fraîches coupées	Fanes de niébé sèches	Feuilles d' <i>Acacia albida</i>	Tige de maïs
KgMS/UBT/jour	2,79	0,62	0,54	0,46	0,39	0,25	0,05
% de la ration	54,5	12,2	10,6	9,1	7,7	4,9	1,0

Concentrés	Son de mil	Son de riz	« Aliment bétail »	Grain de sorgho	Tourteaux d'arachide	Grain de niébé	Graines de coton	Fruits d' <i>Acacia albida</i>	Grain de maïs
KgMB/UBT/jour	1,34	0,77	0,18	0,07	0,06	0,04	0,04	0,02	0,02
% de la ration	52,8	30,3	7,2	2,8	2,4	1,5	1,4	0,9	0,6

D'après les résultats d'enquête, la ration alimentaire a peu évolué, cependant on note quelques différences. Les fourrages aériens tels que les feuilles d'*Acacia albida* sont utilisés ainsi que les tiges de maïs tandis que les foins de brousse en revanche ne le sont plus.

Les concentrés utilisés comprenaient des sons de blé qui ne sont pas utilisés à l'heure actuelle à Barry Sine et ont été remplacé par le son de riz. On note également l'utilisation

de grains de niébé, de fruits d'*Acacia albida* et de grain de maïs qui n'étaient pas mentionnés dans les études antérieures.

Au niveau des quantités distribuées on dénote une légère intensification de la pratique d'embouche. En effet, en 1986, le bétail d'embouche bénéficiait d'une ration de 7,5kg de MS/UBT/jour (FAYE et LANDAIS, 1986). On atteint en 2013 dans le village de Barry Sine une ration de 7,65 kgMS/UBT/jour.

Par le passé, les animaux embouchés étaient attachés au piquet à l'arrière de la concession (FAYE et LANDAIS, 1986). À Barry Sine en 2013, 12 lots sur les 89 ont divagué en vaine pâture en saison sèche. Il s'agissait pour moitié d'ovins d'embouche et pour moitié de bovins d'embouche. Le reste des lots engraisés est resté durant l'ensemble de la période attaché au piquet dans la concession.

2. Évolution de la ressource fourragère du parc arboré

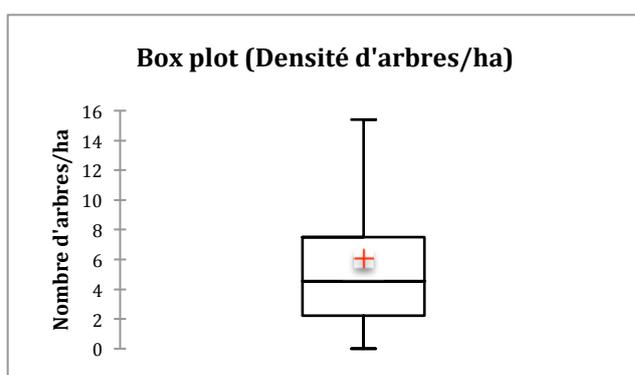


Figure 2 : Densité d'arbre à Barry Sine pour l'année 2013

On compte en moyenne à Barry Sine 6 arbres par hectare mais cette densité de la strate arborée peut atteindre jusqu'à 73 arbres par hectare. Seulement 12% des parcelles ne comptaient pas d'essences boisées en 2013 (Figure 2). On note cependant une nette régression puisqu'en 1966, M. Pélissier dénombrait en moyenne

20 à 30 arbres par hectare (LERICOLLAIS, 1999). L'*Acacia albida* est très nettement représenté avec en moyenne 3,2 arbres par hectare.

Tableau 3 : Évolution de la densité de la strate arborée entre 1965 et 2013 (d'après LERICOLLAIS, 1999)

	Sob		Barry Sine
Densité/ha du terroir	1965	1985	2013
<i>Acacia albida</i>	6,90	4,55	2,56
<i>Andansonia digitata</i>	1,11	0,92	0,29
<i>Anogeissus leiocarpus</i>	0,33	0,26	0,50
<i>Bauhinia rufescens</i>	0,11	0,13	0,00
<i>Celtis integrifolia</i>	0,21	0,26	0,01
<i>Diospyros mespiliformis</i>	0,27	0,21	0,00
<i>Gardenia ternifolia</i>	0,11	0,09	0,00
<i>Sclerocarya birrea</i>	0,12	0,14	0,02
<i>Tamarindus indica</i>	0,15	0,12	0,06
<i>Ziziphus mauritiana</i>	0,13	0,15	0,10
<i>Azadirachta indica</i>	0,01	0,45	0,11

D'après le Tableau 3, il semble que la majorité des essences sont en régression depuis 1965 (en rouge pour l'année 2013). Seul l'*Anogeissus leiocarpus* semble avoir augmenté ses effectifs.

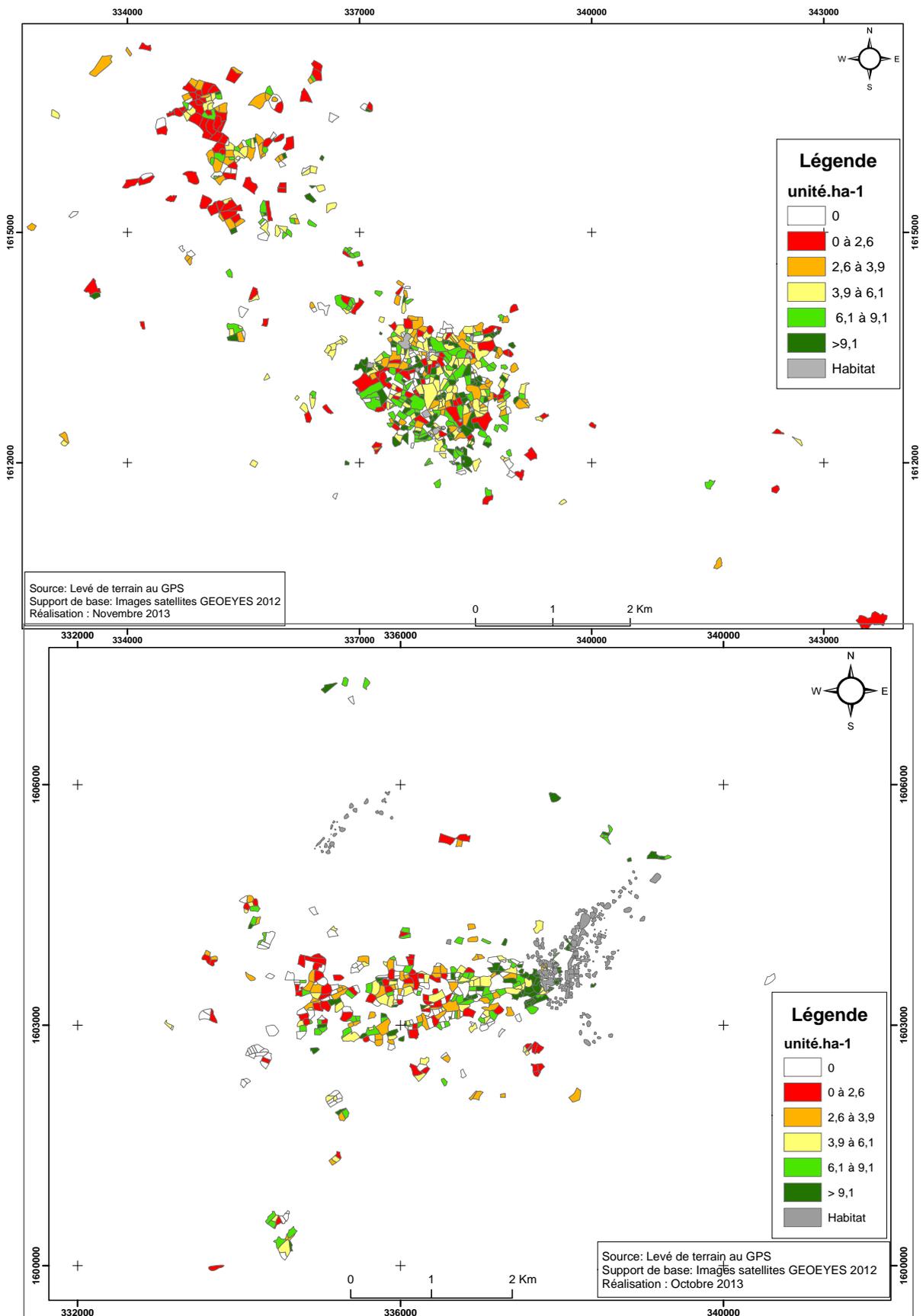


Figure 3 : Carte de densité d'arbre à Barry Sine pour l'année 2013

Source : NDIAYE et THIAW, 2013

La collecte du bois comme source d'énergie pour la cuisine s'effectue dans les parcelles de brousse ce qui apparaît très nettement dans la Figure 3 avec une plus faible densité d'arbres dans les parcelles éloignées.

3. Régression de la jachère

Lericollais notait une régression de la jachère, notamment dans le cas du village de Sob qui comptait 1/5 de sa sole en jachère dans les années 1960. En 1987 elle occupait en moyenne 9,66% de la surface de l'assolement (2,33% à Sob, contre 8,26% à Ngayokhem et 18,39% à Kalom (LERICOLLAIS, 1999).

Tableau 4 : Évolution de la surface en jachère entre 2010 et 2013 à Barry Sine

Année	2010	2011	2012	2013
Surface jachère % SAUT	0,95	4,08	1,18	4,18

Dans le cas de Barry Sine, d'après le Tableau 4, l'occupation de la SAU par la jachère varie de 0,95 à 4,18ha. L'espace qu'elle occupe est donc inférieure à la moyenne de la zone de 1987. On dénote cependant une légère augmentation de 2013/2012 comparé aux années 2010/2011. Il transparaît que cette pratique est favorisée une année sur deux.

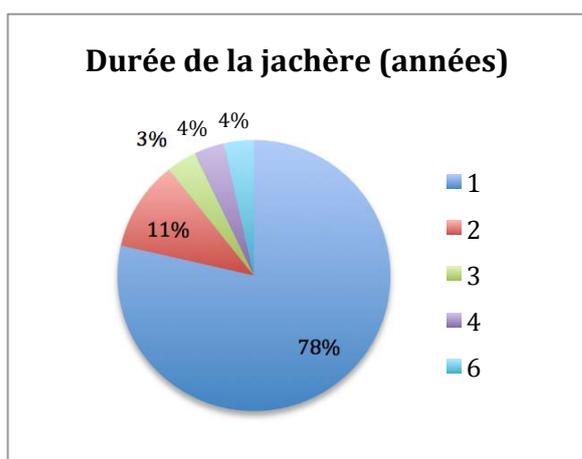


Figure 4 : Durée de la jachère à Barry Sine pour les années 2010 à 2013

En effet, d'après le graphique 4, on observe qu'une large proportion des jachères s'inscrit dans des rotations où elles ne sont conservées qu'une année. Cette pratique de la jachère annuelle était déjà actuelle dans les années 80 (FAYE *et al.*, 1987) puisqu'elle s'inscrivait, à la périphérie des habitations, dans la rotation triennale mil/arachide/jachère postcoloniale ayant succédé à la rotation biennale mil/jachère (GUIGOU *et al.*, 1998). On observe cependant que certaines terres sont laissées en jachère pour une durée pouvant atteindre 6 années.

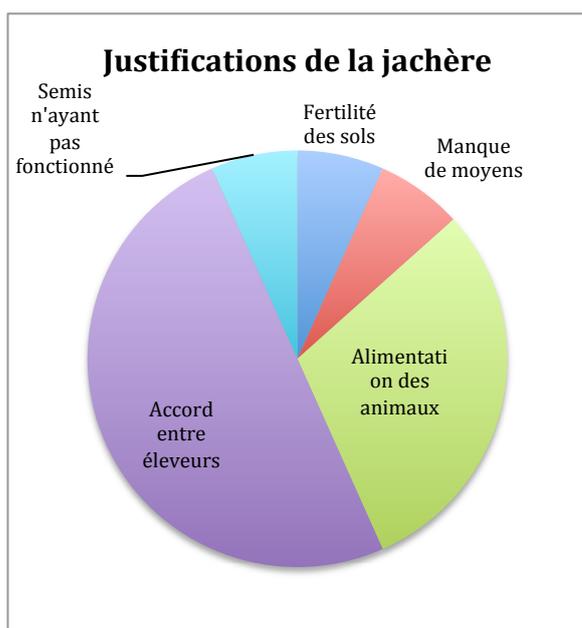


Figure 5 : Raisons de la mise en place de la jachère à Barry Sine pour les années 2010 à 2013

La Figure 5 nous révèle que le maintien d'une partie de la sole en jachère à Barry Sine est dû à un accord entre éleveurs regroupant plusieurs villages. Dans cette zone aux alentours de Tchiguem, une rotation jachère/sorgho prédomine et vise à créer une grande superficie pâturable d'un seul tenant. D'après les enquêtes cependant, cette zone n'est pas utilisée par les villageois de Barry Sine pour y stocker leur bétail en saison des pluies, vu sa distance aux zones d'habitation. Par ailleurs, aucune des jachères décrites n'accueille de troupeaux transhumants et ne servent qu'à l'alimentation du bétail traditionnel.

Lericollais attribuait la présence de la jachère en majorité à des manques de moyen en ce qui concerne les semences céréalières. Il apparaît qu'à Barry Sine, ces jachères accidentelles ne sont pas majoritaires

(LERICOLLAIS, 1999).

I. STRUCTURE

- 1) Données générales
- 2) Population
- 3) Équipement

II. CULTURE

- 1) Structure du parcellaire
- 2) Cultures annuelles en 2012
- 3) Maraîchage 2012
- 4) Arbres 2012

III. ELEVAGE

- 1) Bovins, ovins, caprins
 - 1) Production bovine laitière
 - 2) Mouvement par lot (sur l'année 2012)
 - 3) Pâturage, parcage et parcours par lot
 - 4) Compléments fourragers et alimentaires
- 2) Autres élevages
 - 1) Mouvement par lot (sur l'année 2012)
 - 2) Concentrés
 - 3) Compléments fourragers et alimentaires
- 3) Confiage

IV. LE STOCKAGE DES EFFLUENTS

V. CONSOMMATION DU MENAGE (en 2012)

- 1) Consommation journalière quotidienne de produits de base du ménage
- 2) Achat de produits (sur l'année 2012)

VI. DECHETS PRODUITS PAR LE MENAGE

VII. BOIS

Annexe 4 : Tableau des équivalences UN et UT selon le sexe et l'âge, Source : BUSACKER, 1990

Catégories	Équivalence en UT	Équivalence en UN
Hommes		
>59 ans	1	1
15-59 ans	1	1
<15 ans	0,5	0,5
Femmes		
>59 ans	0	0
15-59 ans	1	0,2
<15 ans	0,5	0,5

Annexe 5 : Tableau des équivalences UBT par catégorie d'animaux, Source : MEYER, 2013

Catégorie d'animaux	Équivalence en UBT
Bovins	
Bovin adulte (vache laitière, femelles >3 ans, mâle >2 ans)	1
Vache non allaitante	0,8
Génisse de 2 à 3 ans	0,6
Génisse de 1 à 2 ans	0,5
Veau ou velle (< 1 an)	0,4
Petits ruminants	
Ovin ou caprin adulte	0,2
Ovin ou caprin jeune	0,1
Autres	
Équin	1,1
Asin	0,3
Aviaire	0,007

Annexe 6 : Indicateurs pour les flux entrants et sortants liés la vaine pâture

Nature de l'indicateur	Valeur de l'indicateur	Référence bibliographique
Déjections		
Déposition de fèces (kg MS/jour/UBT)	2,09	INRA, 1989
Urine (kg MB/jour/UBT)	3	DONGMO <i>et al.</i> , 2009
Prélèvements		
Prélèvements en vaine pâture (kg MS/UBT/jour)	4,75	DIOP <i>et al.</i> , 2005
Part de prélèvements des pailles de mil (%MS)	0,33	DONGMO <i>et al.</i> , 2009
Part de prélèvement des pailles de sorgho (%MS)	0,33	DONGMO <i>et al.</i> , 2009
Part de prélèvement des tiges de maïs (%MS)	0,67	DONGMO <i>et al.</i> , 2009

Annexe 7 : Teneurs en azote kgN/kgMS des fèces en fonction de la période de l'année,
Source : MANLAY, 2001

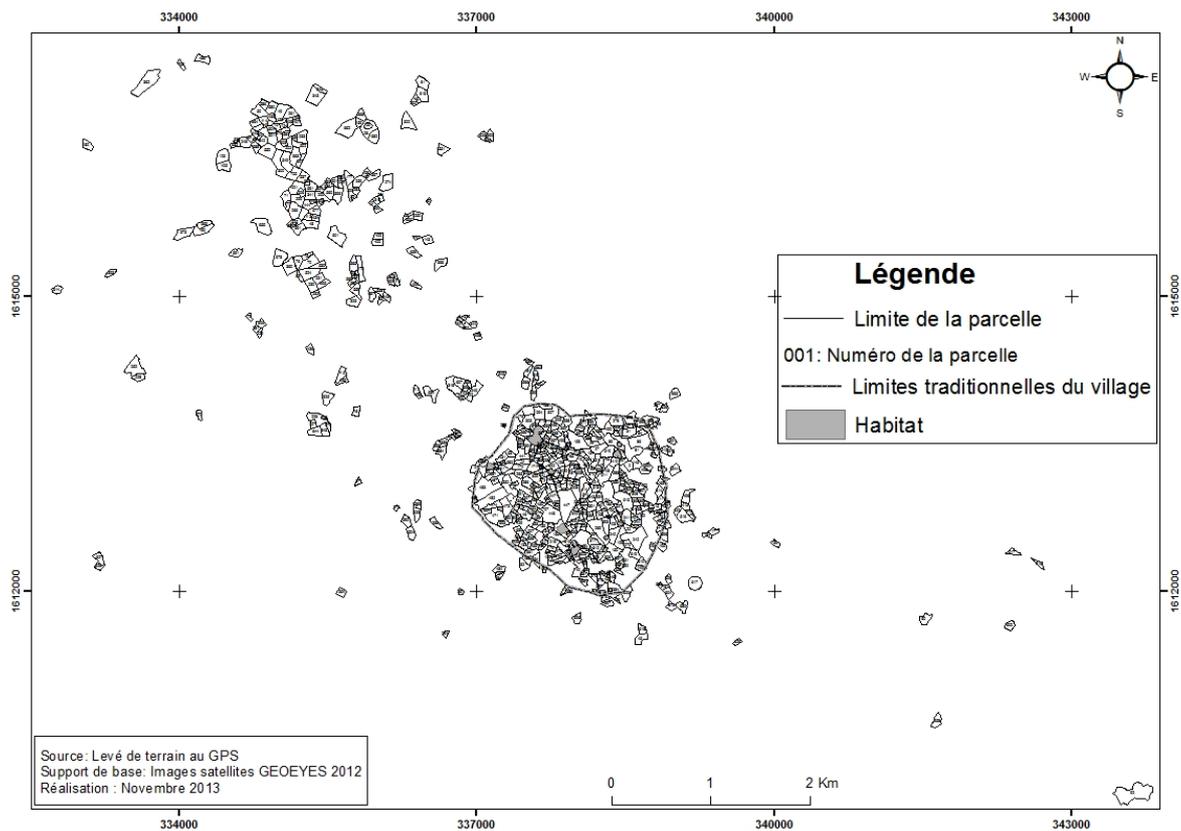
Mois	Teneur en azote (kgN/kgMS)
Janvier	0,0162
Février	0,0141
Mars	0,0144
Avril	0,0156
Mai	0,0150
Juin	0,0162
Juillet	0,0188
Août	0,0191
Septembre	0,0187
Octobre	0,0182
Novembre	0,0175
Décembre	0,0153

Annexe 8 : Teneurs en matière sèche kgMS/kgMB et en azote kgN/kgMS des différents composants du terroir

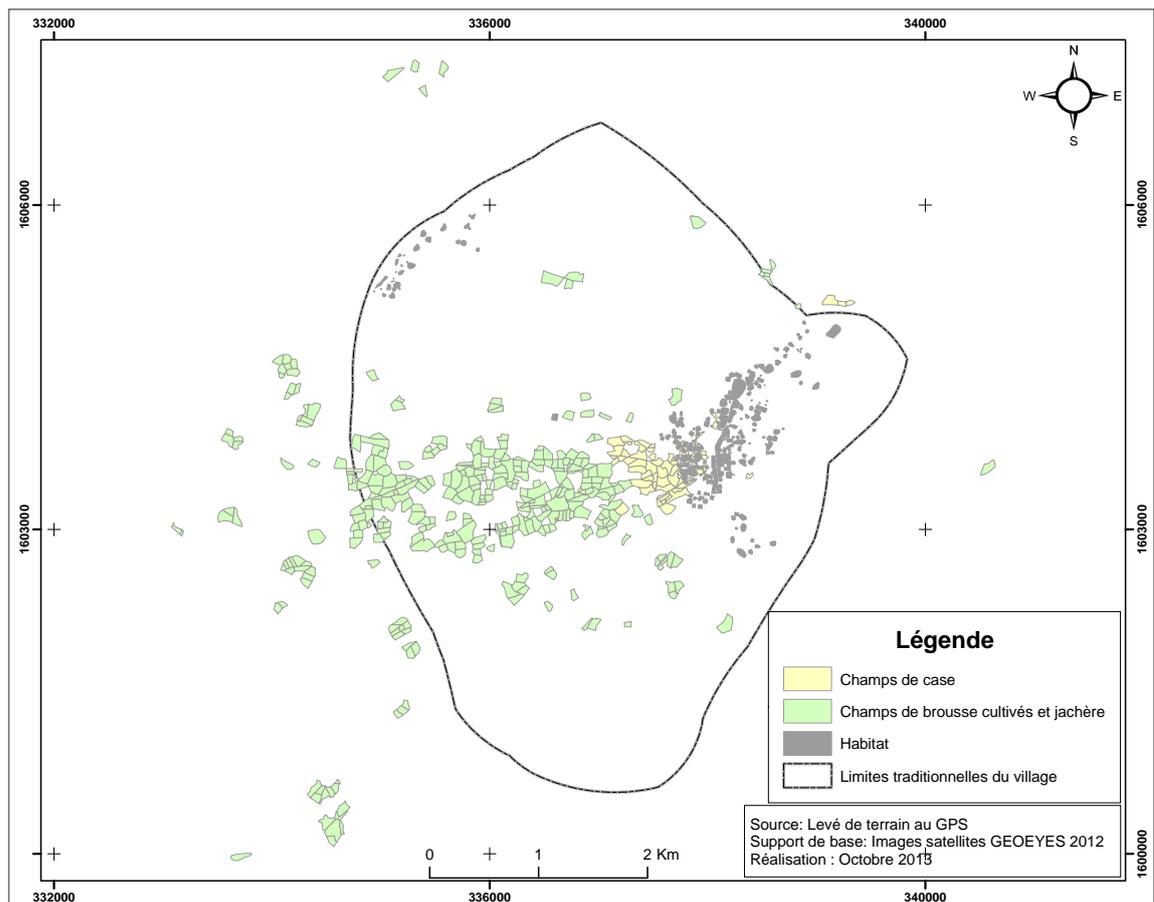
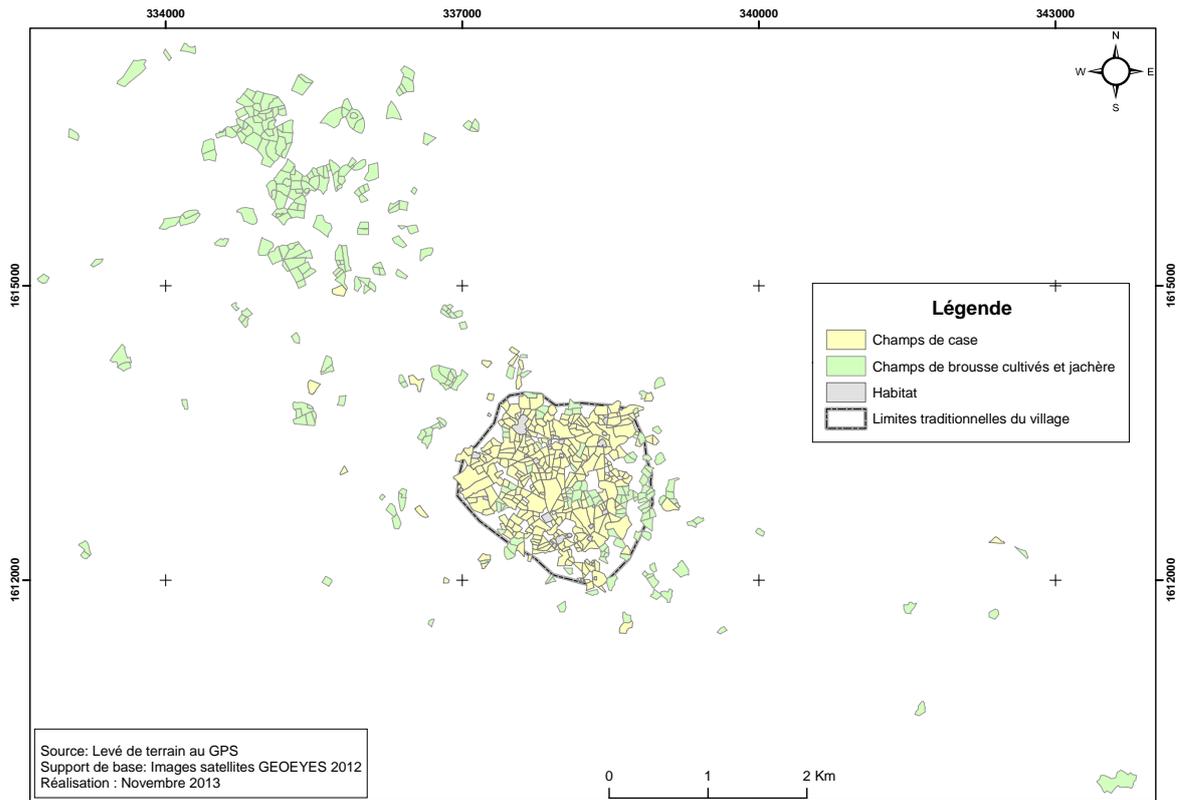
Nature du flux	Teneur en matière sèche (kgMS/kgMB)	Référence bibliographique	Teneur en azote (kgN/kgMS)	Référence bibliographique
Grain de maïs	0,912	LE THIEC, 1996	0,01664	LE THIEC, 1996
Grain de mil	0,925	LE THIEC, 1996	0,01920	LE THIEC, 1996
Grain de sorgho	0,910	LE THIEC, 1996	0,01728	LE THIEC, 1996
Grain d'arachide	0,860	LE THIEC, 1996	0,06224	LE THIEC, 1996
Graine de pastèque	0,089	estimé	0,00096	estimé
Graine de niébé	0,892	MALIBOUNGOU <i>et al.</i> , 1998	0,04466	MALIBOUNGOU <i>et al.</i> , 1998
Graine de bissap	1,000	USDA NUTRIENT LABORATORY, 2013	0,00100	USDA NUTRIENT LABORATORY, 2013
Fane d'arachide	0,896	LE THIEC, 1996	0,01700	MANLAY, 2001
Paille de mil	0,881	LE THIEC, 1996	0,00270	MANLAY, 2001
Paille de sorgho	0,896	LE THIEC, 1996	0,00544	LE THIEC, 1996
Fane de niébé	0,902	LE THIEC, 1996	0,02395	LE THIEC, 1996
Fane de pastèque	0,089	estimé	0,00096	estimé
Tige de maïs	0,895	LE THIEC, 1996	0,00800	MANLAY, 2001
Épis de maïs	0,650	ALVAREZ <i>et al.</i> , 2013	0,01210	MANLAY, 2001
Botte de mil	0,989	MANLAY, 2001	0,01230	MANLAY, 2001
Botte de sorgho	0,998	MANLAY, 2001	0,01600	MANLAY, 2001
Arachide en coque	0,865	LE THIEC, 1996	0,02870	MANLAY, 2001
Pastèque	0,089	ANSES, 2012	0,00096	ANSES, 2012
Fleur de bissap	0,405	COURTIAL <i>et al.</i> , 1998	0,02410	COURTIAL <i>et al.</i> , 1998
Riz	0,870	ALVAREZ <i>et al.</i> , 2013	0,01500	ALVAREZ <i>et al.</i> , 2013
Viande	0,800	HUSS, 1999	0,25000	HUSS, 1999

Poisson	0,265	HUSS, 1999	0,11169	HUSS, 1999
Fumier compact	0,320	ALVAREZ <i>et al.</i> , 2013	0,01600	ALVAREZ <i>et al.</i> , 2013
Fumier pailleux	0,450	GANRY et BADIANE, 1998	0,00500	GANRY et BADIANE, 1998
Poudrette	0,450	GANRY et BADIANE, 1998	0,00440	GANRY et BADIANE, 1998
Résidus d'alimentation du bétail	0,881	LE THIEC, 1996	0,00270	LE THIEC, 1996
Déchets ménagers	0,500	ALVAREZ <i>et al.</i> , 2013	0,00600	ALVAREZ <i>et al.</i> , 2013
Bois	0,880	LOUPPE, 2012	0,00300	LOUPPE, 2012
Herbe fraîche	0,311	LE THIEC, 1996	0,02057	LE THIEC, 1996
Feuilles d' <i>Acacia albida</i>	0,307	WENTLING, 1983	0,01552	FALL, 1989
Herbe sèche	0,343	LE THIEC, 1996	0,00979	LE THIEC, 1996
Fane de niébé fraîche	0,203	LE THIEC, 1996	0,02434	LE THIEC, 1996
Feuilles de baobab	0,896	ABAKAR, 2010	0,00900	ABAKAR, 2010
Grains de coton	0,930	LE THIEC, 1996	0,03072	LE THIEC, 1996
Tourteaux d'arachide	0,860	LE THIEC, 1996	0,08480	LE THIEC, 1996
Son de riz	0,900	LE THIEC, 1996	0,01795	LE THIEC, 1996
Son de mil	0,910	LE THIEC, 1996	0,02443	LE THIEC, 1996
« Aliment bétail »	0,210	FALL-TOURÉ <i>et al.</i> , 1997	0,02560	Relevés de terrain
Fruit de l' <i>Acacia albida</i>	0,900	FALL-TOURÉ <i>et al.</i> , 1997	0,11220	RICHARD <i>et al.</i> , 1990
Lait			0,005 (/kgMB)	RUFINO <i>et al.</i> , 2009
Urée	1	Relevés de terrain	0,46	Relevés de terrain
« Engrais Mil »	1	Relevés de terrain	0,15	Relevés de terrain
« Engrais Arachide »	1	Relevés de terrain	0,10	Relevés de terrain
Urine	0,075	AUDOIN, 1991	0,000675	AUDOIN, 1991

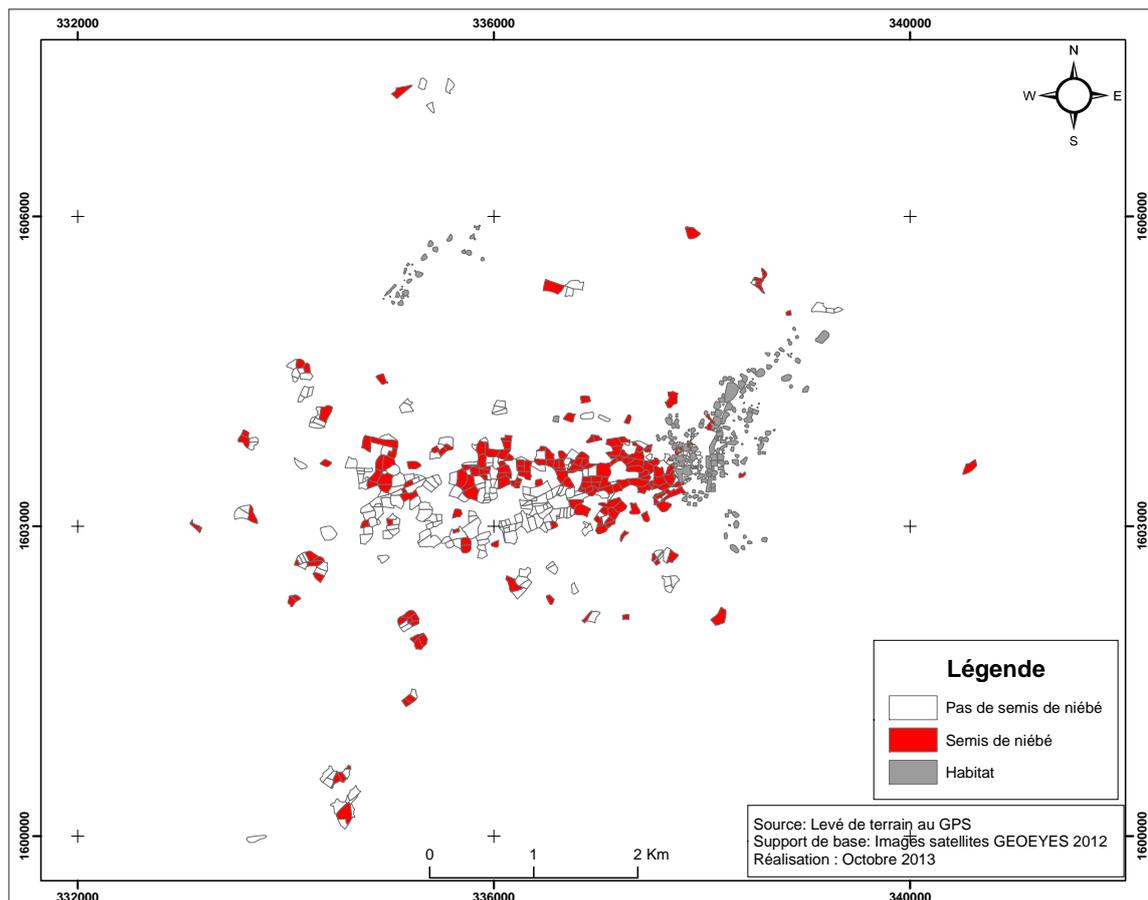
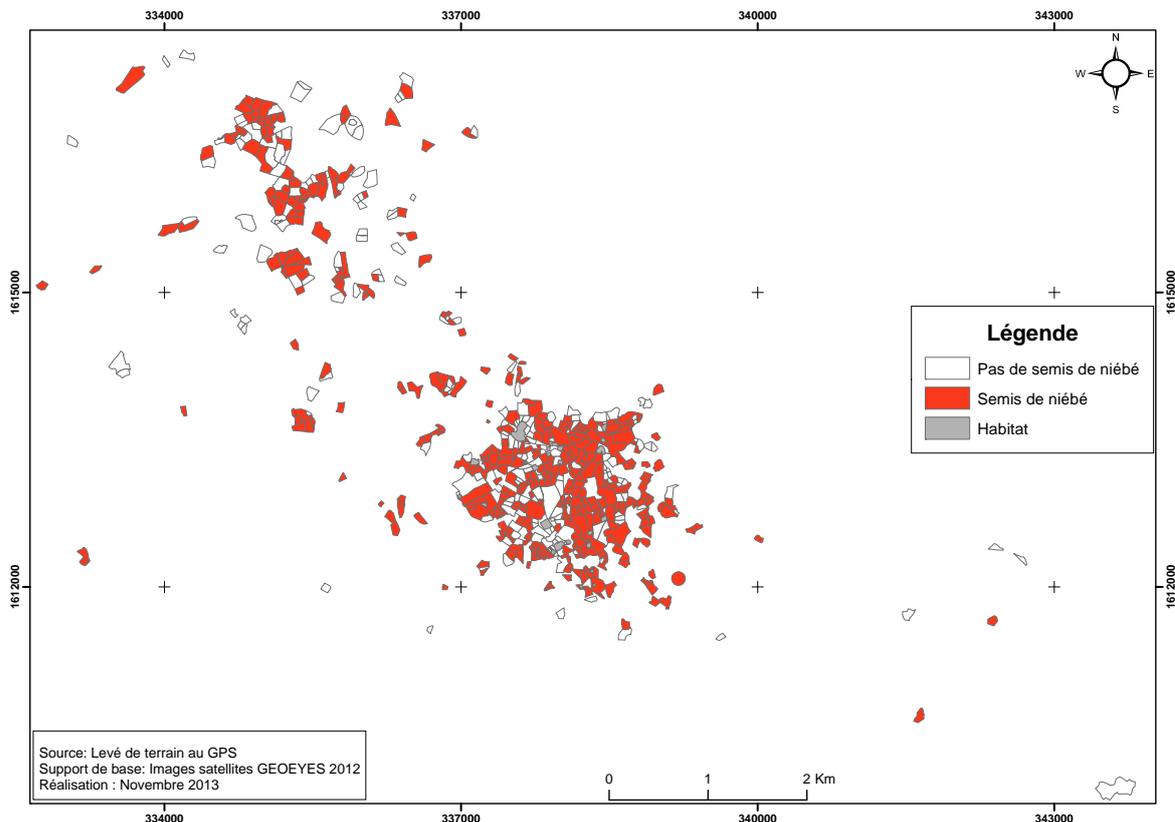
Annexe 9 : Parcellaire de Barry Sine, Source : NDIAYE et THIAW, 2013



Annexe 10 : Distribution spatiale des champs selon leur éloignement depuis l'habitat pour Barry Sine et Sassem en 2012, Source : NDIAYE et THIAW, 2013



Annexe 11 : Accès des femmes aux parcelles basé sur l'association de niébé en interrang pour Barry Sine et Sassem en 2012, Source : NDIAYE et THIAW, 2013



Annexe 12 : Regroupement des bilans azotés par culture principale implantée en 2012 pour Barry Sine et Sassem

Barry Sine :

Culture en 2012	Moyenne du bilan azoté de 2012 estimée	Groupes
Maïs	21,301	A
Jachère	-17,447	B
<i>Pod</i>	-24,937	B
Arachide	-28,358	B
Bissap	-36,937	B
Sorgho	-39,356	B
Niébé hâtif	-95,417	C

Sassem

Modalité	Moyenne du bilan azoté de 2012 estimée	Groupes	
Pâturage+Parcage	42,746	A	
Maraîchage	37,275	A	B
Jachère	1,528	B	C
<i>Pod</i>	0,339	B	C
<i>Pod</i> +Matye+			
Sorgho	-0,677	B	C
<i>Pod</i> +Matye	-4,925	B	C
<i>Pod</i> +Sorgho	-6,125	B	C
Sorgho	-10,386		C
<i>Matye</i>	-13,521		C
<i>Matye</i> +Sorgho	-15,001		C
Arachide	-19,072		C
Pâturage	-19,607		C
Niébé tardif	-42,413		D
<i>Matye</i> +Arachide	-48,440		D

Annexe 13 : Regroupement des efficacités azotées par culture principale implantée en 2012 pour Barry Sine et Sassem

Barry Sine

Culture en 2012	Moyenne de l'efficacité azotée en 2012 estimée	Groupes
Niébé hâtif	10,147	A
Sorgho	3,382	B
Bissap	1,990	B C
<i>Pod</i>	1,015	C
Jachère	0,596	C
Arachide	0,534	C
Maïs	0,045	C

Sassem

Culture en 2012	Moyenne de l'efficacité azotée en 2012 estimée	Groupes
Niébé tardif	46,739	A
<i>Pod+Matye+Sorgho</i>	23,256	B
<i>Matye</i>	19,358	B
Sorgho	18,291	B
<i>Pod+Matye</i>	15,056	B C
<i>Pod+Sorgho</i>	13,716	B C
<i>Pod</i>	12,154	C
<i>Matye+Sorgho</i>	11,557	C D
Arachide	6,277	D
Maraîchage	5,421	D
<i>Matye+Arachide</i>	4,150	D
Pâturage	3,056	D
Pâturage+Parcage	1,749	D
Jachère	1,300	D

Annexe 14 : Principaux indicateurs des flux de biomasse de Barry Sine et Sassem comparés à la bibliographie

Flux		Barry Sine	Sassem	Référence	
Structure	SAU foyer (ha)	5,5	4,7	9,0	LERICOLLAIS, 1999
	Chargement animal (UBT/ha)	2,31	0,96	0,66	LERICOLLAIS, 1999
Intrants (tMS/ha)	Fumure	0-12,6	0-10,8	0-13,4	MANLAY et al., 2004
	Parcage nocturne	0,2-21,2	0,6-7,2	3,4-15,5	SCHLECHT et HIERNAUX, 2004
	Fèces déposés en vaine pâture	0-0,41	0-1,11	0,04-0,60	SCHLECHT et HIERNAUX, 2004
Intrants (kgN/ha)	Engrais	5,16	0,84	1,11	LERICOLLAIS, 1999
	Fumure	2,08	1,30	0,02	LERICOLLAIS, 1999
	Parcage nocturne de saison sèche	2,96	1,04	1,19	LERICOLLAIS, 1999
	Parcage nocturne d'hivernage	0,16	1,80	0,12	LERICOLLAIS, 1999
	Bilan vaine pâture (+fèces – biomasse végétale)	5,04	-12,00	-1,86kg	MANLAY, 2001
Surface amendée (% SAUT)	Parcage nocturne de saison sèche	38,6	3,0	4,5	LERICOLLAIS, 1999
	Parcage nocturne d'hivernage	0,2	2,7	2,1	LERICOLLAIS, 1999
	Fumure	30,6	21,5	5,3	LERICOLLAIS, 1999
	Engrais	27,0	2,4	0,3	LERICOLLAIS, 1999
Rendement en produit principal : kgMB/ha Rendement en coproduits : kgMS/ha	Mil (<i>pod</i>) champ de case (épis)	795	1014	1054 (525-1213)	LERICOLLAIS, 1999
	Mil (<i>pod</i>) champ de brousse (épis)	661	462	825 (426-951)	LERICOLLAIS, 1999
	Arachide (coque)	423	429	656 (440-760)	LERICOLLAIS, 1999
	Sorgho (épis)	780	481	690 (358-1341)	LERICOLLAIS, 1999
	Sorgho en association (épis)	63	246	149	LERICOLLAIS, 1999
	Niébé en association (grain)	48	70	35	LERICOLLAIS, 1999
	Bissap en association (fleur)	13	18	7	LERICOLLAIS, 1999
	Paille de mil	2418	1823	2643	LERICOLLAIS, 1999
	Paille de sorgho	2505	1067	2688	LERICOLLAIS, 1999
	Fanes d'arachide	696	1171	1344	LERICOLLAIS, 1999

vert : résultat supérieur à celui de la bibliographie
rouge : résultat inférieur à celui de la bibliographie
noir : résultat similaire à la bibliographie

vert : résultat supérieur à ceux des villages
rouge : résultat inférieur à ceux des villages
noir : compris entre ceux des villages

Table des annexes

Annexe 1 : Importance de la pluviosité sur l'évolution du couvert végétal entre la fin de la saison sèche (mai), le début de la saison des pluies (juillet) et le milieu de la saison des pluies (août) en 2013	98
Annexe 2 : Évolution de la pratique d'embouche, de la ressource fourragère arborée et de la jachère à Barry Sine	101
Annexe 3 : Structure du guide d'enquête, d'après VIGAN et ODRU, 2013	106
Annexe 4 : Tableau des équivalences UN et UT selon le sexe et l'âge, Source : BUSACKER, 1990	107
Annexe 5 : Tableau des équivalences UBT par catégorie d'animaux, Source : MEYER, 2013	107
Annexe 6 : Indicateurs pour les flux entrants et sortants liés la vaine pâture	108
Annexe 7 : Teneurs en azote kgN/kgMS des fèces en fonction de la période de l'année, Source : MANLAY, 2001	108
Annexe 8 : Teneurs en matière sèche kgMS/kgMB et en azote kgN/kgMS des différents composants du terroir	109
Annexe 9 : Parcellaire de Barry Sine, Source : NDIAYE et THIAW, 2013	111
Annexe 10 : Distribution spatiale des champs selon leur éloignement depuis l'habitat pour Barry Sine et Sassem en 2012, Source : NDIAYE et THIAW, 2013	112
Annexe 11 : Accès des femmes aux parcelles basé sur l'association de niébé en interrang pour Barry Sine et Sassem en 2012, Source : NDIAYE et THIAW, 2013	113
Annexe 12 : Regroupement des bilans azotés par culture principale implantée en 2012 pour Barry Sine et Sassem	114
Annexe 13 : Regroupement des efficacités azotées par culture principale implantée en 2012 pour Barry Sine et Sassem	115
Annexe 14 : Principaux indicateurs des flux de biomasse de Barry Sine et Sassem comparés à la bibliographie	116

Résumé

Le vieux bassin arachidier du Sénégal s'inscrit dans un contexte de changements physique et socio-économique, sources de compétition d'usage des ressources naturelles. En réaction, une transition agraire rapide a perturbé le système traditionnel Sereer et questionne la durabilité des systèmes actuels en termes de maintien de la fertilité des sols.

L'étude s'est penchée sur le cas de deux terroirs, l'un ayant un modèle relativement traditionnel qui conserve une jachère commune (Diohine), l'autre ayant adopté la pratique de l'embouche (Barry Sine). La durabilité des systèmes agricoles adoptés est évaluée sur la base de bilans de nutriments pluri-échelle à dire d'acteurs. Les perceptions et dynamiques de gestion de la fertilité sont appréciées lors d'ateliers participatifs.

Les deux villages importent de l'azote extérieur au terroir ($25\text{kgN}\cdot\text{ha}^{-1}$ à Barry Sine et $9\text{kgN}\cdot\text{ha}^{-1}$ à Diohine) sous forme de denrées alimentaires, de cheptel et de concentrés. Diohine pour sa part entretient de nombreux flux inter-foyers par le pâturage de saison des pluies, conditionné par le statut social (bilan azoté du foyer de $25\text{kgN}\cdot\text{ha}^{-1}$ à Barry Sine contre 13 à Diohine). Malgré l'importance du recours à la fertilisation minérale et organique pour Barry Sine et à la jachère pour Diohine, les villages puisent dans les réserves du sol avec des bilans azotés négatifs similaires ($-23\text{kgN}\cdot\text{ha}^{-1}$ à Barry Sine pour $-20\text{kgN}\cdot\text{ha}^{-1}$ à Diohine).

Les options d'amélioration de la fertilité des sols proposés par les villageois se sont concentrées sur l'intensification des pratiques par le biais d'un soutien extérieur. Cependant, des innovations et des financements internes sont envisagés. À Barry Sine par exemple, les agriculteurs considèrent qu'une meilleure valorisation de la fumure organique issue de l'activité d'embouche est possible. Cette option permettrait d'accroître le bilan N à l'échelle de la parcelle, l'efficacité d'utilisation de l'azote, la productivité et les revenus aux échelles du ménage et du terroir.

Mots-clés : bilans apparents d'azote pluri-échelle, flux de biomasse, fertilité des sols, atelier participatif, pays Sereer

Abstract

The former Senegalese groundnut basin suffered from physical and socio-economical changes leading to a stronger competition for natural resources. Then, a fast agrarian transition disrupted the traditional Sereer system and questions current systems' sustainability.

Two terroirs were studied, a traditional one that conserved common fallows (Diohine), the other one that adopted livestock fattening practice (Barry Sine). Agricultural systems' sustainability is assessed through multi-scale nutrient balances based on surveys. Participative workshops gathered local fertility management perceptions and dynamics.

Both villages import nitrogen ($25\text{kgN}\cdot\text{ha}^{-1}$ in Barry Sine for $9\text{kgN}\cdot\text{ha}^{-1}$ in Diohine) by means of foodstuff, livestock and concentrates for fattening. Diohine maintains large inter-household flows through rainy season grazing, determined by social status (household nitrogen balance equivalent to $25\text{kgN}\cdot\text{ha}^{-1}$ in Barry Sine for 13 in Diohine). Despite large resort to mineral and organic fertilization in Barry Sine and fallow in Diohine, villages are drawing on soils reserves with similar negative balances ($-23\text{kgN}\cdot\text{ha}^{-1}$ in Barry Sine for $-20\text{kgN}\cdot\text{ha}^{-1}$ in Diohine).

Soils fertility improvement options proposed by the villagers focused on practices' intensification and external support. Nevertheless, innovations and internal funding are considered. In Barry Sine, for example, manure from livestock fattening can be better recycled. This option would increase plot scale nitrogen balance, household and terroir scale nitrogen use efficiency, productivity and incomes.

Keywords : visible multi-scale nitrogen balance, biomass flows, soils fertility, participative workshop, Sereer terroir