

Mémoire de fin d'études

Diagnostic des flux de biomasse à l'échelle de terroirs agro-sylvo-pastoraux – Etude comparative des terroirs de Sob, Sassem et Barry Sine dans l'Ancien Bassin Arachidier au Sénégal

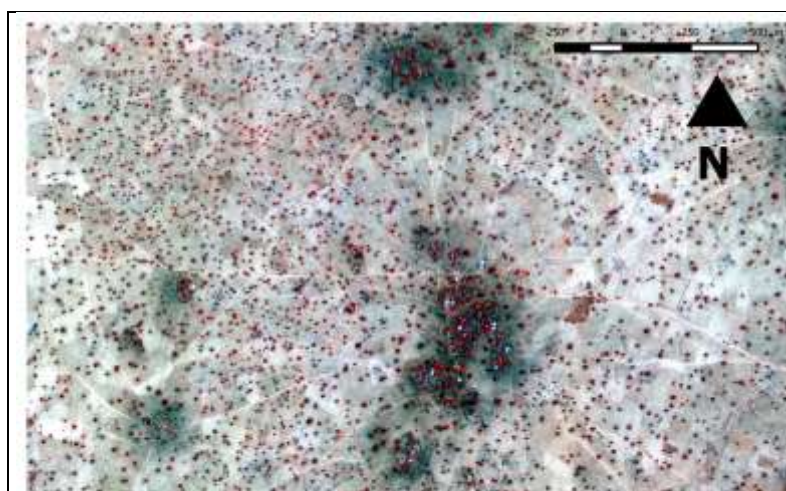


Image satellite du village de Sob (*au centre*) entouré par son aire de champs de case (*couleur foncée*) et son parc arboré à acacia (Octobre 2013, Pléiades)

DUGY, Thibault
Promotion 101

Stage effectué à Sob, Sénégal
du 01/03/2015 au 31/08/2015
au sein du projet CERAO, IRD/CIRAD

Co-maîtres de stage : Masse, Dominique, IRD, Vayssières, Jonathan, CIRAD
Tuteur pédagogique : Bourlet, Céline, INRA

RÉSUMÉ/SUMMARY/RESUMEN

Dans les terroirs villageois agro-sylvo-pastoraux d'Afrique de l'Ouest, les flux de biomasse et d'éléments chimiques qui lui sont associés (carbone, azote, phosphore, etc) jouent un rôle important dans la durabilité des systèmes de production agricole mêlant traditionnellement agriculture et élevage. Depuis quelques décennies des modifications économiques, climatiques, et sociétales ont perturbé ces systèmes au niveau des pratiques agricoles et d'élevage, des structures agraires et des fonctionnements territoriaux. Pour définir les futures voies d'intensification agricole de ces agrosystèmes, l'étude des relations entre les pratiques et les flux de biomasses et de nutriments à l'échelle des terroirs est nécessaire. La présente étude fut menée dans l'ancien bassin arachidier sénégalais sur le terroir sereer de Sob. Elle eut deux objectifs : (i) l'évaluation à dire d'acteurs de l'état et du fonctionnement actuel du terroir en termes de flux de biomasses et d'azote apparents, et (ii) la comparaison de ce terroir avec deux autres terroirs de la zone, préalablement étudiés selon la même méthodologie. Une modélisation des flux entre les compartiments bio-fonctionnels des terroirs et des calculs de bilans aux échelles spatio-temporelles de la parcelle du foyer et du terroir furent effectués. Cette étude montre, comme les deux précédentes que les bilans apparents d'azote sont en moyenne négatifs à l'échelle de la parcelle (-9, -13, et -23 pour Sob, Sasseem et Barry Sine), et positifs aux échelles foyer (+12, +11, +25kgN.ha⁻¹.an⁻¹ respectivement) et terroir (+4, +9, +25kgN.ha⁻¹.an⁻¹ respectivement). Malgré des fonctionnements en apparence contrastés pour les trois terroirs, l'élevage reste le vecteur majoritaire des flux de fertilisants à destination de l'aire cultivée et joue un rôle déterminant dans les bilans positifs à l'échelle parcelle. Le retour ou le renforcement du lien agriculture-élevage doit être au cœur des réflexions pour une augmentation durable de la productivité des terroirs.

Mots-clés : Ancien Bassin arachidier sénégalais, bilans azotés pluri-échelles, modélisation, représentation à dire d'acteurs, schéma stock-flux apparents d'azote, systèmes agro-sylvo-pastoraux

In agro-sylvo-pastoral villages of West Africa, biomass and nutrient flow management (carbon, nitrogen, phosphorus, etc) ensure the sustainability of traditional mixed-farming systems. Since a few decades, economic, climatic and social changes disturbed farming practices, agrarian structure and territorial functioning. The study of links between farming practices and biomass flows at village scale is relevant before defining any intensification ways for these agrosystems. The survey was carried out in the Senegalese former groundnut basin's village of Sob and aimed to assess the new village state and its functioning. Two goals were set: (i) assessment of actual biomass functioning through apparent nitrogen flows, based on villager's information; (ii) comparison with two other villages of the studied area, previously analysed with the same methodology. Flows modelling between village bio-functional systems and plot-, farm-, and village-scales were made. As seen in the two previous studies, apparent average nitrogen balances were all negative at plot scale (respectively -9, -13 and -23kgN.ha⁻¹.yr⁻¹ for Sob, Sasseem and Barry Sine) and positive at farm scale (respectively +12, +11 and +25kgN.ha⁻¹.yr⁻¹ for Sob, Sasseem and Barry Sine), and village scale (respectively +4, +9 and +25kgN.ha⁻¹.yr⁻¹ for Sob, Sasseem and Barry Sine). Despite apparent contrasts between villages functioning, livestock remains major fertilizer vector and plays an important part in positive plot balances. Strengthening of livestock-agriculture link should be at the heart of analyses to improve sustained village productivity.

Key-words: agro-sylvo-pastoral system, apparent nitrogen stock-flow chart, modelling, multi-scales nitrogen balances, presentation on actors' speech, Senegalese Old Groundnut Basin

En pueblos agro-sylvo-pastorales de África del Oeste, el manejo de la biomasa y nutrientes asociados (carbono, nitrógeno, fósforo, etc.) desempeña un papel en la sostenibilidad de los sistemas de producción mezclando tradicionalmente agricultura y ganadería. Desde décadas, cambios económico, climático y social afectaron las prácticas agrícolas y de ganadería, la estructura agraria y el funcionamiento de estos pueblos. Para fijar nuevas vías de intensificación agrícola de estos agro-sistemas, se necesita estudiar las relaciones entre las prácticas y los flujos de biomasa y nutrientes a la escala de los pueblos. Este estudio fue realizado en la cuenca senegalesa del cacahuete en el pueblo Sereer de Sob. Tuvo dos metas: (i) el asesoramiento según los habitantes del estado y del funcionamiento actuales del pueblo en biomasa y precisamente en nitrógeno aparente; (ii) su comparación con dos pueblos de la zona, previamente estudiados según la misma metodología. El proceso de los flujos entre los compartimientos bio-funcionales de los pueblos y el cálculo de balance a las escalas del campo, de la finca y del pueblo fueron hechos. El estudio muestra, como los dos anteriores, que a la escala del campo los balances medios fueron negativos (respectivamente -9, -13 y -23 kgN.ha⁻¹. año⁻¹ para Sob, Sasseem y Barry Sine), y positivos a las escalas de la finca (respectivamente +12, +11, y +25 kgN.ha⁻¹. año⁻¹ para Sob, Sasseem y Barry Sine) y del pueblo (respectivamente +4, +9 y +25 gN.ha⁻¹. año⁻¹ para Sob, Sasseem y Barry Sine). No obstante los funcionamientos aparentes contrastes entre los tres pueblos, el ganado sigue siendo el primer vector de los flujos de fertilizantes a destinación del área cultivada. Tiene un papel importante en los balances positivos a la escala del campo. El fortalecimiento del vínculo entre ganadería y agricultura debe ser al centro de las reflexiones sobre el aumento sostenible de la productividad de los pueblos.

Palabras claves: balances medios en nitrógeno, cuenca senegalesa del cacahuete, gráfica territorial existencias-flujos de nitrógeno aparente, modelización, representación según discurso de actores, sistemas agro-sylvo-pastorales

RÉSUMÉ/SUMMARY/RESUMEN	2
TABLE DES ILLUSTRATIONS	6
REMERCIEMENTS	8
GLOSSAIRE, LEXIQUE & ACRONYMES.....	9
GLOSSAIRE.....	9
LEXIQUE SCIENTIFIQUE.....	9
ACRONYMES & SIGLES	9
INTRODUCTION	11
CHAPITRE 1 : CADRE DE LA MISSION.....	13
1. LE PROJET CERAO : AMELIORER LA PRODUCTION CEREALIERE EN AFRIQUE DE L'OUEST (ADAPTE DE CERAO 2013).....	13
2. INSERTION DE LA MISSION DANS LES OBJECTIFS DU PROJET CERAO	14
CHAPITRE 2 : MATERIEL & METHODE	17
1. LA ZONE D'ETUDE.....	17
1.1 SITUATION GEOGRAPHIQUE DE LA ZONE	17
1.2. CONDITIONS CLIMATIQUE ET BIOPHYSIQUE.....	17
2. LE MATERIEL D'ETUDE : LES TERROIRS ET L'ORGANISATION DE LEUR SOCIO-SYSTEME PRODUCTIF.....	19
2.1. ACCEPTION DU TERROIR RETENUE, CELLE DES GEOGRAPHES AFRICANISTES	19
2.2. ORGANISATION ACTUELLE DU SOCIO-SYSTEME PRODUCTIF	19
3. MODELES ET INDICATEURS	19
3.1. MODELISATION PLURI-ECHELLE DU TERROIR.....	19
3.2. DECLINAISON DU MODELE EN SCHEMAS STOCKS ET FLUX A L'ECHELLE DU TERROIR.....	24
3.3. INDICATEURS CALCULES	29
4. LES DONNEES RECOLTEES.....	30
4.1. LE JEU DE DONNEES ET OUTILS MIS A DISPOSITION	30
4.2. LE TERROIR DE SOB : RECOLTE ET EXPLOITATION DES DONNEES	31
5. OUTILS STATISTIQUES UTILISES	34
CHAPITRE 3 : RESULTATS.....	35
1. ETAT STRUCTUREL DU TERROIR DE SOB.....	35
1.1. STRUCTURE PAYSAGERE DU TERROIR.....	35
1.2. L'AIRE CULTIVEE DU TERROIR	36
1.3. STRUCTURE DU CHEPTEL DU TERROIR	39
1.4. LE SOCIO-SYSTEME PRODUCTIF DE SOB.....	41
2. FLUX D'AZOTE A L'ECHELLE DU TERROIR DE SOB.....	42
2.1. TRANSFERTS DE FERTILISANTS VERS L'AIRE CULTIVEE : LE CHEPTEL, VECTEUR PRINCIPAL	42
2.2. GESTIONS DU CHEPTEL : LOCALISATIONS & ALIMENTATIONS.....	44
2.3. LIENS AVEC L'ENVIRONNEMENT EXTERIEUR (HORS BETAIL)	47
3. BILANS ET EFFICIENCES PLURI-ECHELLES DU TERROIR DE SOB	49
3.1. ECHELLE TERROIR.....	49
3.2. ECHELLE FOYER	50
3.3. ECHELLE PARCELLE	52
4. ETAT ET FONCTIONNEMENT COMPARES DES TERROIRS DE SASSEM, BARRY SINE ET SOB	55
4.1. STRUCTURE DES TERROIRS.....	55
4.2. COMPARAISON DES SCHEMAS STOCK-FLUX APPARENTS D'AZOTE.....	61

4.3.	BILANS ET EFFICIENCES AZOTES PLURI-EHELLES.....	68
CHAPITRE 4 : DISCUSSIONS		70
1.	LE TERROIR DE SOB : UN SYSTEME DURABLE ?	70
1.1.	BILANS APPARENTS D'AZOTE AUX TROIS ECHELLES SPATIO-TEMPORELLES.....	70
1.2.	ANALYSE DU SCHEMA STOCK-FLUX D'AZOTE APPARENT	71
2.	COMPARAISON DES TROIS TERROIRS : QUELLES CONCLUSIONS ?.....	72
2.1.	LES BILANS APPARENTS D'AZOTE.....	72
2.2.	COMPARAISON DES FONCTIONNEMENTS DES TERROIRS	73
2.3.	QUELQUES PERSPECTIVES DE DEVELOPPEMENT LOCAL	74
3.	LIMITES METHODOLOGIQUES	75
3.1.	UNE ETUDE ANNUELLE A DIRE D'ACTEURS	75
3.2.	MODELISATION ET SIMPLIFICATIONS	76
3.3.	DES ANALYSES COMPLEMENTAIRES PROFITABLES.....	77
CONCLUSION		78
BIBLIOGRAPHIE.....		80
ANNEXES.....		83

TABLER DES ILLUSTRATIONS

Carte 1: Localisation des terroirs de Sob, Dioline et Barry Sine aux échelles régionale, nationale et locale (source : IRD).....	14
Carte 2: Localisation bassin arachidier au Sénégal (source : FAO).....	18
Carte 3: Localisation du terroir de Sob aux échelles nationale, de son arrondissement et des terroirs villageois limitrophes (source : Lericollais 1972)	18
Carte 4: Assolement à l'échelle du terroir de Sob pour l'hivernage 2014 (d'après Saunier-Zoltobroda et al. 2015)	38
Figure 1: Schéma du modèle conceptuel de l'étude (adapté de (Audouin et al 2014)	20
Figure 2: Flux de biomasses considérés à l'échelle d'analyse spatio-temporelle de la parcelle	21
Figure 3: Flux de biomasses considérés à l'échelle d'analyse spatio-temporelle du foyer.....	22
Figure 4: Flux de biomasses considérés à l'échelle d'analyse spatio-temporelle du terroir	23
Figure 5: Schéma stock et flux apparents d'azote d'un terroir agro-sylvo-pastoral (adapté de Rufino et al. 2006).....	24
Figure 6: Schéma stock-flux apparents d'azote du terroir de Sob	42
Figure 7: schéma stock-flux apparents d'azote du terroir de Sob.....	63
Figure 8: Schéma stock-flux apparents d'azote du terroir de Barry Sine (données : Audouin et al. 2014).....	63
Figure 9: Schéma stock-flux apparents d'azote du terroir de Sasseem (données : Odru et al. 2013).....	63
Graphique 1: Proportion des flux apparents entrants en azote sur le terroir de Sob	50
Graphique 2: Proportion des flux apparents sortants en azote sur le terroir de Sob	50
Graphique 3: Proportion des flux apparents entrants en azote à l'échelle foyer pour le terroir de Sob.....	51
Graphique 4 : Proportion des flux apparent sortants en azote à l'échelle foyer pour le terroir de Sob.....	51
Graphique 5: Distribution des valeurs de bilans azotés apparents des parcelles de l'aire cultivée du terroir de Sob	54
Graphique 6: Distribution des valeurs de bilans azotés apparents des champs de brousse du terroir de Sob.....	54
Graphique 7: Distribution des valeurs de bilans azotés apparents des champs de case du terroir de Sob.....	54
Graphique 8: Graphiques univariés des distributions des bilans azotés à l'échelle parcelle pour les terroirs de Barry Sine, Sasseem et Sob.....	69
Tableau 1: Chronogramme de la mission.....	16
Tableau 2: Itinéraire technique simplifié des cultures pluviales sur Sob	26
Tableau 3 : Description synthétique de la composition des flux de biomasse entre les compartiments du schéma stock-flux du terroir agro-sylvo-pastoral sereer	28
Tableau 4: Description de la nature des stocks du terroir agro-sylvo-pastoral sereer.....	30
Tableau 5: Variables fixées et résultats de la taille de l'échantillon à prendre selon les formules de TG et Tc	33
Tableau 6: Variables fixées et résultat de l'erreur d'estimation en prenant un échantillon de 30 individus.....	33

Tableau 7 : Surface des aires paysagères de Sob	35
Tableau 8: Occupations de sols de l'aire cultivée de l'hivernage 2014 sur le terroir de Sob ..	36
Tableau 9: Répartition des surfaces agricoles intra et extra-périmètre historique du terroir utilisées par la communauté de Sob lors de l'hivernage 2014	39
Tableau 10: Catégories animales et conduites d'élevage associées concernant le terroir de Sob en 2014	39
Tableau 11: Conduites et catégories animales associées sur le terroir de Sob en 2014	41
Tableau 12: Importances et origines des fertilisants à destination de l'aire cultivée du terroir de Sob.....	43
Tableau 13: Alimentations et localisations saisonnières principalement rencontrées selon la catégorie animale et la gestion associée	46
Tableau 14: Importances des finalités des fourrages ayant circulés sur le terroir de Sob sur le pas de temps de l'étude	47
Tableau 15: Natures et importances du rationnement moyen des catégories embouchées par rapport à celles sédentaires et transhumantes (catégories porcs et volailles non comprises)...	47
Tableau 16: Dépendance du socio-système en termes de consommables vis-à-vis du total entré depuis l'extérieur du terroir	48
Tableau 17: Destinations des cultures, dites de rente, sur le terroir de Sob	49
Tableau 18: Bilans et efficiences azotés aux échelles du terroir, du foyer et de la parcelle sur le terroir de Sob	49
Tableau 19: Fonctionnements moyens des ménages situés dans les 1er et 4ème quintiles (respectivement ayant les bilans les plus négatifs et les plus positifs)	52
Tableau 20: Description des parcelles dont les bilans apparents d'azote appartenant aux 1er et 5ème quintiles	53
Tableau 21: Importance des aires paysagères sur les terroirs de Sob, Sassem et Barry Sine ..	56
Tableau 22: Cultures pratiquées sur les terroirs de Sob, Sassem et Barry Sine	56
Tableau 23: Importances des catégories animales sur les terroirs de Sob, Sassem et Barry Sine	60
Tableau 24: Structure démographique des terroirs de Sob, Dihine et Barry Sine	61
Tableau 25: Nature et importances de flux apparents de fertilisants vers l'aire cultivée des terroirs de Sob, Sassem et Barry Sine	65
Tableau 26: Natures, importances et origines de l'alimentation des catégories embouchées ou non (autres gestions regroupées) en part relative par rapport au rationnement total sur les terroirs de Sob, Sassem et Barry Sine	66
Tableau 27: Importances et natures des flux apparents azotés entrants sur les terroirs de Sob, Sassem et Barry Sine	67
Tableau 28: Importances et natures des flux apparents azotés sortants sur les terroirs de Sob, Sassem et Barry Sine	67
Tableau 29: Bilans et efficiences d'azote apparent aux trois échelles pour les terroirs de Sob, Sassem et Barry Sine	68
Tableau 30: Distributions et statistiques descriptives des bilans d'azote à l'échelle parcelle pour les terroirs de Barry Sine, Sassem et Sob	69

REMERCIEMENTS

Voici une page de plus qui finit par se tourner pour moi, non sans mal. Une page qui fut laborieuse et longue. J'espère que le temps consacré sera gage de qualité de ce mémoire de fin d'études. Je n'y suis pas arrivé tout seul, et de loin. Je tiens ainsi à remercier sincèrement :

Dominique Masse pour m'avoir offert l'opportunité de réaliser ce stage de fin d'études de qualité, ainsi que son travail d'encadrement, de conseils et de relecture tout du long,

Jonathan Vayssières pour ses conseils pratiques et avisés avant, pendant et après les temps de terrain. Je le remercie également pour m'avoir co-encadré tout du long de ce stage, et plus particulièrement pour m'avoir mis à disposition la méthode d'analyse pluri-échelle des flux de biomasse/azote et fourni les données de flux des deux autres terroirs enquêtés antérieurement.

Céline Bourlet pour ses conseils autant sur le terrain qu'après mon retour en France. Tout cela malgré la distance,

Les membres du projet CERAO pour leur appui méthodologique : Valéry Delaunay, Richard Lalou, Matthieu Vigne,

Théo Saunier-Zoltobroda, mon binome de travail et ami, qui est tout autant responsable de l'accomplissement des objectifs de mission,

Les habitants de Sob sans qui ce travail n'aurait pas pu être possible. Leur accueil et aide resteront gravés en moi. Espérons que ce travail leur sera profitable au plus vite,

André Diatte et Ousmane Faye, traducteurs et amis,

Enfin mais non le moindre, je remercie ma famille, et plus particulièrement mes parents qui m'ont soutenu à chaque instant de cette épreuve marathonnienne pour eux aussi, mais enfin terminée.

GLOSSAIRE, LEXIQUE & ACRONYMES

GLOSSAIRE

Diodj : forêt arbustive en français ; correspond à une zone où pousse une forêt résiduelle arbustive (principalement à *Guiera senegalensis* J.F.Gmel.). Ces forêts peuvent être inondables en hivernage suivant leur localisation. Elles constituent des lieux privilégiés de pâturage pour le cheptel et de prélèvement en bois-énergie ou bois de construction.

Mbel : bas-fond en français ; correspond à une dépression topographique inondée en hivernage. Les bas-fonds sont aujourd'hui non cultivés et constituent une zone privilégiée de pâturage pour le cheptel.

Mbind : concession en français ; correspond à l'unité de résidence sereer

Ngak : cuisine en français ; correspond à l'unité de production sereer

Ped, pedala : termes génériques pour désigner les terres de parcours. Il font référence au réseau de couloirs non cultivés permettant de déplacer le cheptel en saison de culture sur le terroir. Ils englobent également les *mbel* et *diodj*.

LEXIQUE SCIENTIFIQUE

Adansonia digitata L. : (*Bombacaceae*)

baobab

Arachis hypogaea L. : (*Fabaceae*) arachide

Celtis integrifolia Lam : (*Ulmaceae*)

Micocoulier d'Afrique

Citrullus lanatus (Thunb.) Matsum. &

Nakai : (*Cucurbitaceae*) pastèque

Combretum micranthum G.Don :

(*Combretaceae*) kinkéliba

Euphorbia balsamifera Aiton :

(*Euphorbiaceae*) euphorbe

Faidherbia albida (Delie) A. Chev. :

(*Fabaceae*) acacia

Guiera senegalensis J.F.Gmel. :

(*Combretaceae*) *ngud* (en sereer)

Hibiscus sabdariffa L. : (*Malvaceae*)

bissap ou oseille de Guinée

Pennisetum glaucum (L.) R.Br. : (*Poaceae*)

mil à chandelle, mil pénicillaire ou petit

mil (*pod* en sereer ; *sunaa* en wolof)

Pennisetum polystachion (L.) Schult. :

(*Poaceae*) mil à cycle long (*match* en

sereer ; *matye* en wolof)

Sorghum bicolor (L.) Moench : (*Poaceae*)

sorgho

Striga hermonthica (Del.) Benth. :

(*Scrophulariaceae*) striga

Vigna unguiculata (L.) Walp. : (*Fabaceae*)

niébé

Zea mays L. : (*Poaceae*) maïs

ACRONYMES & SIGLES

ANR : Agence Nationale de la Recherche

CERAO : CERéales en Afrique de l'Ouest

Cf. : se référer à

CIRAD : Centre de Coopération

Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement

et al. : et collaborateurs

etc : *et cætera*

FAO : organisation des nations unies pour l'alimentation et agriculture

ha: hectare (1ha=10 000 m²)

i.e.: c'est-à-dire

IRD : Institut de Recherche pour le Développement

ISTOM : Ecole supérieure d'agro-développement international

kg: kilogramme

LMI IESOL : Laboratoire Mixte

International Intensification Ecologique des SOLs d'Afrique de l'Ouest

MB: Matière Brute

MS: Matière Sèche

N: azote

ORSTOM

SIG : Système d'Information

Géographique

t : tonne

UBT : Unité Bovin Tropical (1

UBT=250kg de poids vif)

« Le rôle du développement s'entend comme un accompagnement. Grâce à des méthodes, des acquis scientifiques et un certain recul, il faut donner [aux paysans] les moyens de réfléchir sur eux-mêmes et sur leur mode d'existence ».(Rabot 1990)

INTRODUCTION

Dans la région soudano-sahélienne (isohyètes réparties entre 500 et 700mm) les systèmes de production agricole sédentaires prédominent (Pieri 1992). Propre aux climats de mousson, cette région est soumise à des aléas climatiques intra-annuel et inter-annuel importants (Boulier et Jouve 1990). Le cadre biophysique présente aussi certaines contraintes notamment au niveau pédologique. Par nature, les sols présents sont très anciens et très évolués. Ils se caractérisent par des textures grossières en surface et des teneurs en matière organique et en éléments minéraux, azote, phosphore, généralement très faibles (Charreau et Fauck 1967, Ruthenberg 1971, Pieri 1992, Milleville et Serpantié 1994). L'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) distinguait en 2001 l'existence de 15 systèmes de production agricole sur cette zone du continent africain, parmi lesquels, les « systèmes agropastoraux à base de mil et de sorgho » (Dixon et al. 2001). Dans ces systèmes agropastoraux, la matière organique revêt un rôle central et multiple. Sa mobilisation dans les différents flux de l'agro-éco-système permet d'assurer plusieurs services écosystémiques qu'ils soient liés à la production, notamment agricole (maintien de la fertilité des sols), ou aux supports de production comme les propriétés biologiques et chimiques des sols. Elle peut donc être considérée comme un indicateur de durabilité dans ces systèmes (Manlay 2000, Rufino et al. 2006).

En particulier dans le centre du Sénégal, la société sereer au cœur de la région que l'on désigne par bassin arachidier, fait reposer la fertilité des champs sur un lien étroit entre agriculture et élevage. Cette « civilisation du bovin et du mil » (Pélissier 1966) a donné au bétail une place prépondérante dans les transferts de fertilité depuis les aires non cultivées (*i.e.* terres de parcours) vers celle cultivée (Pélissier 1966, Lericollais 1999). Ce système connaît depuis les années 1970 des changements structurels majeurs du fait notamment de contraintes démographiques et socio-économiques, accentués par des péjorations climatiques d'ordre pluviométrique (Badiane 2006). Ces divers facteurs ont fait apparaître plusieurs modifications, dont la plus apparente est l'expansion des terres cultivées allant jusqu'à la saturation des terroirs, et de façon concomitante le rétrécissement des aires de parcours et forêts (Milleville et Serpantié 1994, Lericollais 1999, Lalou et Delaunay 2012). La conséquence pour l'élevage a été la généralisation de la transhumance des troupeaux hors du terroir pendant la saison de culture, voire pendant le reste de l'année. Ces changements de pratiques entraînent des modifications dans les flux de matière organique à l'échelle des terroirs et aboutit à observer aujourd'hui, de nouvelles modalités de gestion de ces ressources organiques (Dugué 1998 ; Diarisso et al. 2015).

Dans les années 1990, l'étude aux échelles régionales et continentales de ces systèmes agraires montrèrent des bilans de nutriments négatifs et Smalling et al, (1997) les désignèrent d'« agriculture minière », marquant ainsi un état de dégradation de la fertilité des écosystèmes exploités. Lericollais (1970, 1999) concluait sur un système agricole sereer en crise lorsqu'il prenait l'exemple du terroir de Sob dans le bassin arachidier sénégalais. Dans les années 2000, la vision portée sur le développement de ces régions du monde tendait à changer. Les solutions pour augmenter leur productivité agricole ne passait plus par la mécanisation et l'utilisation d'intrants chimiques. Au contraire les solutions se tournèrent alors vers la recherche d'un mimétisme et d'une synergie entre l'écosystème et l'exploitation effectuée par les sociétés agricoles présentes. La diversité et la complexité ainsi créées permettraient alors l'augmentation de la productivité des systèmes de production de manière durable (Altieri 2002, Odum et Odum 2003, Mitsch et Jørgensen 2003).

Les études réalisées par Odru et al et Audouin et al en 2013 sur deux terroirs sereer de la région d'étude ont révélé des pratiques agricoles différentes selon les terroirs. Ainsi Odru et al (2013) notait sur le terroir de Sassem le maintien d'un fonctionnement traditionnel avec des règles de jachère collective, permettant de maintenir le cheptel sur le terroir toute l'année. Quant à Audouin et al (2014), elle montrait l'existence sur le terroir de Barry Sine d'une pratique d'élevage d'embouche bovine avec stabulation des animaux pendant une période de l'année. Un pré-diagnostic du terroir de Sob – principal terroir d'étude de ce rapport – réalisé en 2012 par le Laboratoire Population, Environnement, Développement (LPED) révélait un terroir singulier. L'analyse menée sur la période 2010-2012 a noté notamment un développement important de la production de pastèques (en moyenne 42,2% des exploitations agricoles l'ont cultivé sur le pas de temps 2010-2012) (Lalou et Delaunay 2012). Pourtant ces trois terroirs sont tous situés dans un rayon de 8 km de diamètre. On peut donc considérer qu'ils sont proches géographiquement et qu'ils évoluent *a priori* dans un cadre écologique semblable soumis à un même régime pluviométrique et des conditions biophysiques identiques.

Se pose donc la question de l'impact de ces différentes pratiques d'agriculture et d'élevage sur la durabilité des trois terroirs. Plus précisément, peuvent-elles générer des structures de flux de matières organiques et de nutriments différenciées ; et corollairement ces structures de flux engendrent-elles des bilans de nutriments équilibrés aux différentes échelles d'observation que sont la parcelle agricole, l'unité de production ou le terroir ?

En effet la diversité de pratiques agricoles et d'occupations du sol impacte très probablement les flux de biomasse – et donc les flux de nutriments – aux trois échelles : parcelle, unité de production et terroir. Passer d'un système divagant (Sassem) à un système d'embouche (Barry Sine) a probablement des conséquences importantes sur le recyclage de la biomasse au sein des activités d'agriculture et d'élevage, et sur le niveau de fertilisation des cultures. Les systèmes d'entretien de la fertilité des sols y sont probablement différents : le maintien de la structure agraire avec jachère enclose devrait favoriser un renouvellement de la fertilité des champs principalement par les déjections animales directement restituées au champ via les pratiques traditionnelles de parage et de divagation (cas de Sassem) ; à l'inverse l'embouche en stabulation avec production de fumier à proximité des concessions devrait sous-entendre une nouvelle voie de valorisation par l'épandage du fumier sur l'aire cultivée (cas de Barry Sine et Sob). Enfin passer d'un système de culture à dominance vivrière (Sassem) à un système comportant des cultures de rente (arachide à Barry Sine et pastèques à Sob) accroît probablement les exportations de biomasse et de nutriment hors du terroir (via les fanes d'arachide et les fruits de pastèque) avec des besoins en engrais minéraux certainement plus importants pour entretenir la fertilité des sols.

L'étude des trois terroirs de Sob, Sassem et Barry Sine constitue une étude de cas particulièrement pertinente étant donné qu'ils sont situés dans un environnement agro-écologique semblable et qu'ils ont des pratiques fortement différenciées. La réalisation d'un diagnostic des flux de biomasses à l'échelle territoriale permet le calcul de bilans azotés aux échelles de la parcelle, de l'unité de production et du terroir ; et la construction de schémas stocks-flux entre les compartiments bio-fonctionnels des terroirs. Ces résultats sont présentés et analysés dans ce rapport. Ce travail a été réalisé à partir d'une collecte de données réalisée sur le terroir de Sob pendant la période Mars 2014 - Août 2014, et grâce à la mobilisation des données et travaux effectués sur les terroirs de Sassem et Barry Sine en 2013 par Odru et al (2013) et Audouin et al (2014)

CHAPITRE 1 : CADRE DE LA MISSION

1. LE PROJET CERAO : AMELIORER LA PRODUCTION CEREALIERE EN AFRIQUE DE L'OUEST (ADAPTE DE CERAO 2013)

La présente mission fut réalisée dans le cadre du projet de recherche fondamentale CERAO¹ (Céréales en Afrique de l'Ouest). Il est financé par le programme Agrobiosphère de l'Agence Nationale de la Recherche (ANR) qui s'intéresse à la problématique des changements globaux et de leurs conséquences sur l'exploitation des agro-écosystèmes en termes d'adaptation et de viabilité. Dans ce cadre, le projet s'est fixé comme objectif principal l'amélioration de la production céréalière dans les régions semi-arides sub-sahariennes d'Afrique de l'Ouest via l'identification des règles écologiques et sociologiques en place. L'hypothèse de recherche du projet avance que ces socio-agro-écosystèmes ouest africains sont gouvernés par des méta-règles tirant avantage du fonctionnement des écosystèmes naturels présents, qui leur confèrent viabilité et durabilité. Le projet CERAO fait intervenir différentes unités et organismes de recherche français et sénégalais aux champs disciplinaires variés pour vérifier cette hypothèse. Les différentes tâches du projet mobilisent l'agronomie, l'anthropologie, la biogéochimie, la climatologie, l'écologie, la géographie, la génétique, la modélisation, et enfin la pédologie. L'approche multidisciplinaire doit permettre la production et l'analyse de modèles de trajectoires de ces socio-agro-écosystèmes affichant des structures et dynamiques aujourd'hui contrastées dans un contexte climatique et socio-économique contraignants.

L'Ancien bassin arachidier sénégalais constitue la région d'étude du projet (**carte 1**) pour trois critères : cette région est représentative des agrosystèmes rencontrés en Afrique de l'Ouest soumis au climat semi-aride ; elle fait face aux contraintes et évolutions globales citées précédemment ; et enfin, elle a fait l'objet d'un suivi pluridisciplinaire (agronomique , démographique, géographique, sanitaire, sociologique) depuis l'installation de l'Observatoire Population Santé de Niakhar (installé dans la ville du même nom) dans les années 1960. Ce suivi constitue une ressource bibliographique descriptive et analytique importante permettant de retracer les évolutions passées de ce territoire.

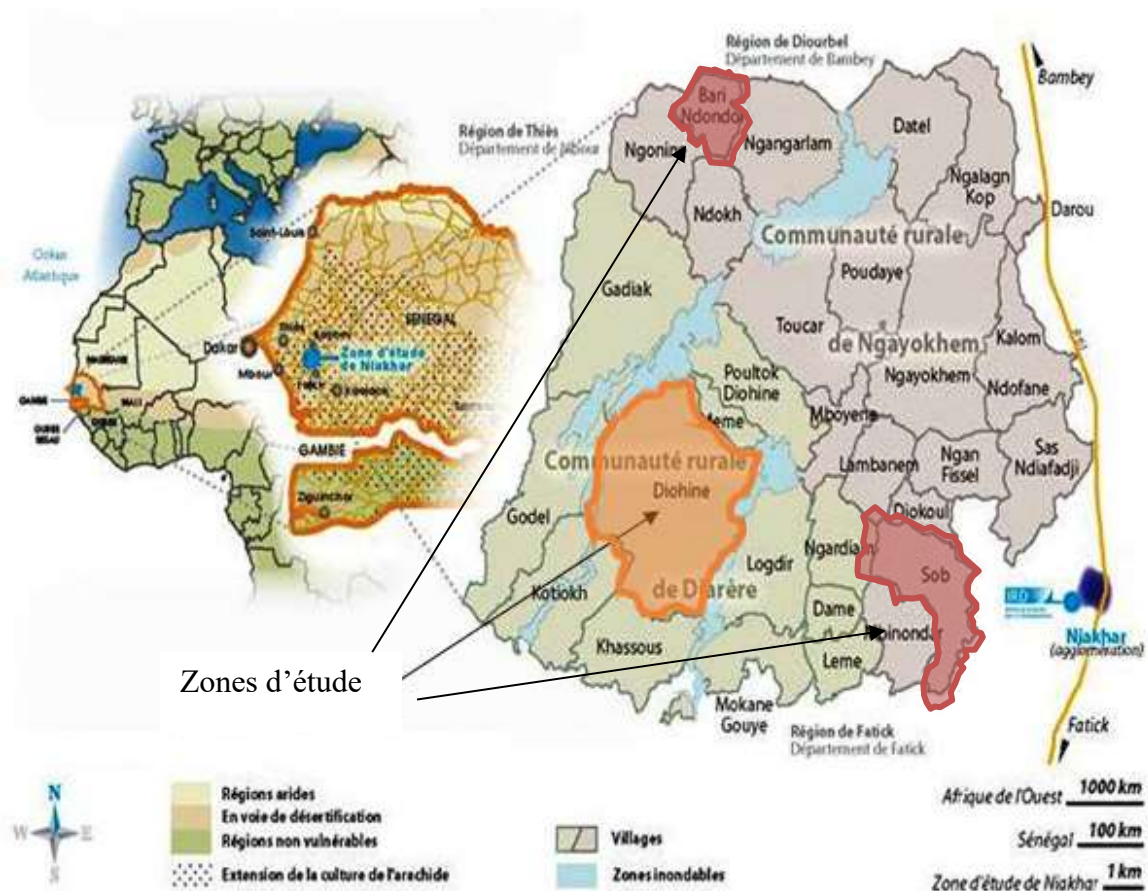
A terme, la découverte des potentielles règles sociales et écologiques en place dans ces systèmes permettra de donner des directives pour les projets de Développement à venir en savane d'Afrique de l'Ouest, mobilisant entre autres les concepts de l'ingénierie écologique².

¹ Le projet CERAO a pour titre complet : Auto-adaptation des agro-socio-écosystèmes tropicaux face aux changements globaux ? Etude à long terme en vue d'une intensification écologique de la production de céréales dans les zones de savanes en Afrique de l'Ouest.

² L'ingénierie écologique peut être appliquée au socio-agro-écosystème. Elle correspond alors en la recherche d'une productivité maximale via l'utilisation de l'écosystème et de ces fonctionnalités (Odum et Odum 2003)

2. INSERTION DE LA MISSION DANS LES OBJECTIFS DU PROJET CERAO

Le projet a retenu trois terroirs agro-sylvo-pastoraux dans la zone d'étude aux gestions agricoles contrastées (conservation de la pratique de la jachère, stabulation du bétail, introduction de la pastèque comme culture de rente, etc) pour tester son hypothèse d'étude. Ces trois terroirs sont ceux de Sassem (quartier du terroir de Diohine), Barry Sine et Sob (**carte 1**)



Carte 1: Localisation des trois terroirs de Sob, Diohine et Barry Sine aux échelles régionale, nationale et locale (source : IRD)

La tâche 3.3 du projet CERAO a pour objectif d'évaluer le rôle que joue l'organisation des constituants des agro-socio-écosystèmes étudiés (sol, plantes, humains, animaux) dans leur durabilité. Dans le cadre de la mission, les caractérisations de l'état et du fonctionnement du socio-agro-écosystème puis l'analyse de sa durabilité, furent réalisées grâce à un diagnostic des flux de biomasses à l'échelle du terroir. Les deux terroirs de Sassem et Barry Sine ont été étudiés respectivement par Odru et al (2013) et Audouin et al (2014). En plus du diagnostic, les deux auteures ont apporté un éclairage supplémentaire. Odru et al a synthétisé l'évolution du système agraire de la zone depuis le XVIII^{ème} siècle jusqu'aux années 1980 (Odru et al 2013) et la combinaison de ces deux travaux ont permis de construire une analyse diachronique des flux de biomasses. Grâce à la conduite d'ateliers participatifs sur les deux terroirs de Diohine et Barry Sine, Audouin s'est intéressée à la perception qu'avaient les agriculteurs sur la gestion actuelle de la fertilité de leur terroir ainsi que sur les axes potentiels d'amélioration (Audouin et al 2014).

2.1. LA COMMANDE DE L'IRD ET DU CIRAD

L'objectif de la mission réalisée dans le cadre de ce stage de fin d'étude était double : réaliser le diagnostic des flux de biomasses du terroir de Sob, et comparer son organisation et comportement par rapport aux deux autres analyses des terroirs de Sassem et Barry Sine réalisées antérieurement par Odru et al (2013) et Audouin et al (2014). La problématique posée était la suivante : *dans un environnement agro-écologique semblable, des différences de pratiques agricoles peuvent-elles générer des structures de flux de matières organiques et de nutriments différenciés ; et corollairement ces structures de flux engendrent-elles des bilans équilibrés aux différentes échelles d'observation que sont la parcelle agricole, l'unité de production agricole ou le terroir.*

La mission a été réalisée en binôme avec Théo Saunier-Zoltobroda, élève ingénieur agronome à l'ISTOM (école supérieure d'agro-développement international) alors en stage de Master 2. Le travail fut ainsi coordonné lors des parties de préparation méthodologique, de collecte de données sur le terrain, et de saisie des données sous tableur informatique. Les informations recueillies ont ainsi permis la rédaction d'un autre rapport sur l'analyse comparative de l'hétérogénéité spatiale des flux de biomasse à l'échelle des trois terroirs d'étude (cf. Saunier-Zoltobroda et al, 2015) Pour les besoins de la mission, l'UMR Selmet (Systèmes d'élevage méditerranéens et tropicaux) du Cirad a mis à disposition le modèle conceptuel, le tableur permettant la conversion des flux de biomasse en flux d'azote, et le guide d'enquête – outils également utilisés pour les deux études antérieures de Odru et al (2013) et Audouin et al (2014) –, ainsi que les deux bases de données correspondant aux données des terroirs de Sassem et Barry Sine. La mise à disposition de ces outils communs a permis de réaliser une étude identique d'un point de vue méthodologique avec les deux études réalisées en 2013 sur les terroirs de Sassem (Odru et al 2013) et Barry Sine (Audouin et al 2014).

2.2. CHRONOGRAMME DE LA MISSION

La mission fut découpée entre deux lieux d'accueil : le laboratoire mixte international « intensification écologique des sols cultivés en Afrique de l'Ouest » (LMI IESOL) de Dakar pour le travail de préparation méthodologique puis de traitement & analyse des données, et l'antenne terrain de l'IRD de Niakhar, situé à 5 km du terroir de Sob, qui a servi de base-vie lors des séjours de terrain ([tableau 1](#))

	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout
Etapes	Préparation méthodologique		1er séjour de terrain	Ajustement méthodologique & traitement des premières données	2eme séjour de terrain	Traitement des données; analyse; rédaction du mémoire
LEMSAT-Dakar		- Revue bibliographique - Préparation et familiarisation avec la méthodologie conceptuelle et pratique - Familiarisation avec le guide d'entretien & la base de données		- Assimilation et révision de la partie du guide d'entretien dédiée aux flux - traitement SIG des données récoltées		- Saisie dans la base de données des informations récoltées
Terroir de Sob	- Séjour rapide d'appréhension du terroir		- Présentation de la mission sur le terroir de Sob - Collecte des informations structurelles par unité de production du terroir via entretiens - Géoréférencement du parcellaire d'usage de l'hivernage 2014 & traitement sous logiciel SIG		- Collecte des informations de flux	

Tableau 1: Chronogramme de la mission

CHAPITRE 2 : MATERIEL & METHODE

1. LA ZONE D'ETUDE

1.1 SITUATION GEOGRAPHIQUE DE LA ZONE

Le terroir d'étude de Sob est situé à environ 130 km au Sud-Est de Dakar au Sénégal. Sob fait partie de l'ancien bassin arachidier, lui-même imbriqué dans l'espace géographique plus grand du bassin arachidier (**cartes 2 et 3**). Le nom de bassin arachidier correspond à la zone géographique située au Centre-Ouest du Sénégal, depuis le développement de l'arachide comme culture de rente dans les systèmes de production agricole sous l'ère coloniale française. L'ancien bassin arachidier est situé au Centre-Ouest de cet espace géographique. Il est également appelé Pays sereer du fait de l'ethnie qui y est majoritairement établie.

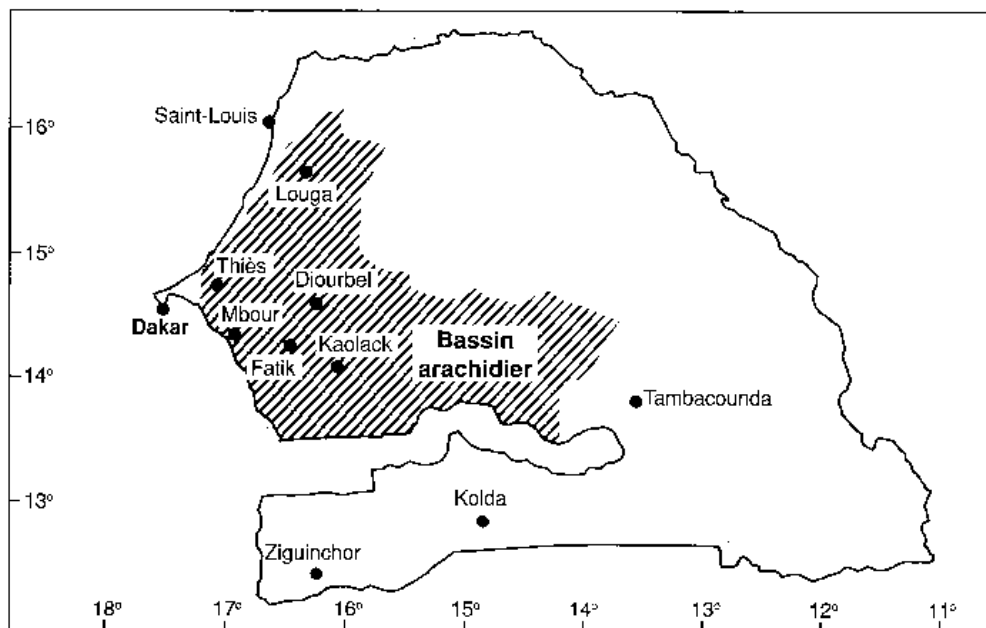
Historiquement, ce terroir a fait l'objet de nombreuses analyses relevant de champs disciplinaires variés suite à l'établissement par l'ORSTOM (futur IRD), de l'« Observatoire de population et de santé de Niakhar » en 1962. On peut citer les travaux du géographe André Lericollais qui agrègent, en particulier dans son dernier ouvrage *Paysans sereer* (1999), un recueil descriptif et analytique sur la zone d'étude dont le présent rapport s'est inspiré à de nombreuses reprises.

1.2. CONDITIONS CLIMATIQUE ET BIOPHYSIQUE

Le Pays sereer est marqué par un climat sahélo-soudanien continental. Les régimes des pluies est monomodal et s'étale sur une période de 3 à 4 mois entre début Juillet et fin Octobre. Il y tombe alors en moyenne entre 400 et 800 mm de pluie. Les précipitations sont marquées par une forte variabilité spatio-temporelle (Boulier et Jouve 1990).

D'un point de vue géomorphologique, le Pays sereer est établi sur un erg quaternaire. La morpho-pédologie est de type dunaire à relief peu marqué. Trois principaux types de sol de texture sableuse à sablo-argileuse se répartissent sur ce modelé : des sols ferrugineux non lessivés sableux sur les antiformes ; des sols hydromorphes argileux dans la dépression interdune ; et enfin sur les versants, un panel de sols intermédiaires entre les deux textures précédentes (Lericollais 1972).

La végétation en place est le résultat d'un aménagement anthropique important et ancien. Le paysage champêtre est caractérisé par un maillage plus ou moins continu de haies vives, ainsi que de *Faidherbia albida* ponctuant l'aire cultivée. Les dépressions topographiques hydromorphes restent non cultivées et sont le lieu de développement d'une forêt résiduelle arbustive (Lericollais 1972, Lericollais 1989, Lericollais 1999).



Carte 2: Localisation bassin arachidier au Sénégal (source : FAO)



Carte 3: Localisation du terroir de Sob aux échelles nationale, de son arrondissement et des terroirs villageois limitrophes (source : Lericollais 1972)

2. LE MATERIEL D'ETUDE : LES TERROIRS ET L'ORGANISATION DE LEUR SOCIO-SYSTEME PRODUCTIF

2.1. ACCEPTATION DU TERROIR RETENUE, CELLE DES GEOGRAPHES AFRICANISTES

L'acceptation du terroir reste inchangée par rapport aux travaux de Odru et al (2013) et Audouin et al (2014). De la même manière, nous reprenons la définition avec laquelle les géographes africanistes l'ont défini ; à savoir que le terroir représente « l'espace cultivé et exploité par une communauté villageoise » (Rabot 1990).

De façon pratique, les terroirs ont été entendus comme l'espace géographique regroupant l'aire ayant été cultivée par les habitants du terroir durant l'hivernage 2014, un espace de parcours qu'ils exploitent, et la zone d'habitat humain.

2.2. ORGANISATION ACTUELLE DU SOCIO-SYSTEME PRODUCTIF

L'unité sociale sereer qui est la plus proche du concept d'unité de production agricole est le *ngak* en sereer, qui peut être traduit par foyer, cuisine ou ménage (Lericollais 1972, Gastellu 1980). Cette unité constitue l'unité de consommation et son « chef [...] a la responsabilité d'assurer l'approvisionnement vivrier et de subvenir aux autres besoins de base des membres ».

Comme pour les études réalisées sur les terroirs de Sassem et Barry Sine par Odru et al (2013) et Audouin et al (2014), cette unité sociale a constitué la porte d'entrée privilégiée pour les enquêtes réalisées sur Sob.

3. MODELES ET INDICATEURS

Intéressons-nous dans cette section à la méthode mobilisée pour analyser les flux de biomasses à l'échelle du terroir villageois de Sob. On décrira le modèle conceptuel utilisé et les indicateurs construits à partir de celui-ci, et enfin les outils statistiques utilisés.

3.1. MODELISATION PLURI-ECHELLE DU TERROIR

3.1.1. UN MODELE CONCEPTUEL PLURI-ECHELLE DE TRANSFERT DE BIOMASSES D'UN TERROIR AGRO-SYLVO-PASTORAL

Le terroir – ou agro-écosystème villageois – est constitué d'un ensemble d'unités de production agricole, d'une zone cultivée et d'espaces de parcours. Il a été modélisé selon trois échelles spatio-temporelles d'analyse qui permettent d'apprécier au mieux les relations agriculture-élevage. Ces trois échelles sont l'échelle du terroir, l'échelle de l'unité de production agricole³, et enfin celle des sous-systèmes constitutifs de cette unité (**figure 1**).

³ En lien avec la section 3.2. « Organisation actuelle du terroir », l'unité de production agricole correspond au foyer, aussi appelé ménage dans la suite du document.

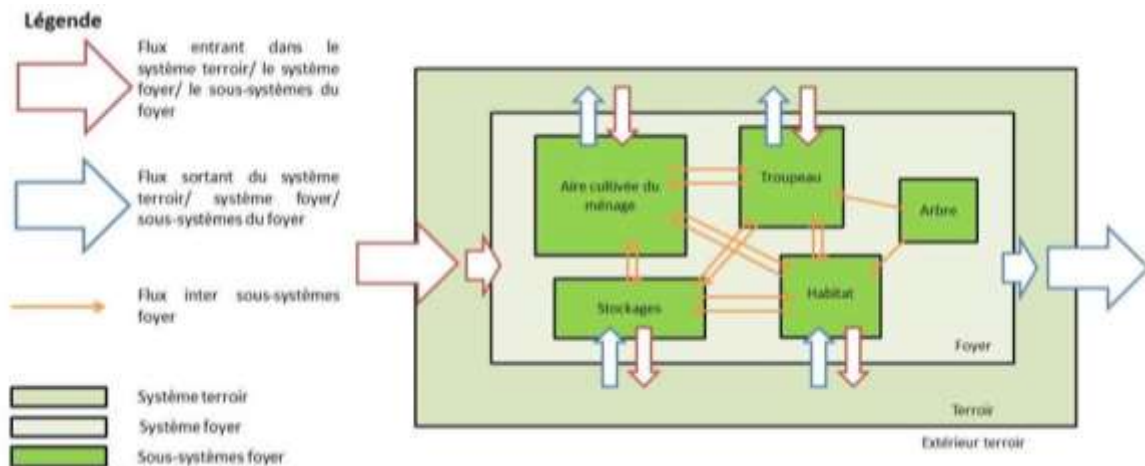


Figure 1: Schéma du modèle conceptuel de l'étude (adapté de (Audouin et al 2014))

Le modèle conceptuel utilisé reprend les principes de base énoncés par Rabot (1990) nécessaires à la modélisation dans l'espace des flux de matières. Chaque transfert sera caractérisé dans la suite du document par :

- Un vecteur
- Une zone de départ et une zone d'arrivée
- Les quantités prélevées et finalement restituées
- Les transformations intermédiaires et la qualité des éléments finalement transférés
- Les effets induits.

3.1.1.1. Les compartiments d'analyse aux trois échelles spatio-temporelles

Le modèle comprend trois échelles (**figure 1**) :

- Les sous-systèmes constitutifs du foyer, qui constituent l'échelle d'observation la plus fine. Parmi ces sous-systèmes, **l'aire cultivée** du foyer, qui permet de comprendre les pratiques culturales et leurs influences sur les aptitudes de production agricole ; le **parc arboré** présent sur l'aire cultivée du foyer, système d'où partent les prélèvements comme bois-énergie ou affouragement ; le **cheptel** du foyer, qui permet d'apprécier par ses activités (alimentation, déplacements, déjections) comment il participe au transfert de fertilisants et aux flux de biomasses (Diarisso et al. 2012) ; les **structures de stockage** de productions agricoles, coproductions agricoles et fumures organiques ; et enfin le sous-système **habitat** correspondant aux habitants du foyer, qui consomme les produits agricoles récoltés.
- L'échelle du foyer permet de comprendre la logique de prise de décisions pour les diverses pratiques de production et d'utilisation de la biomasse (Diarisso et al. 2012). Cette échelle permet de trouver une première cohérence dans la gestion effectuée sur les sous-systèmes de culture, d'élevage et de stockages, et d'en comprendre les modalités (Odru et al 2013).
- L'échelle du terroir villageois englobe les systèmes précédents en plus des diverses zones de parcours. Cette échelle permet d'apprécier les logiques de valorisation des espaces et des ressources partagées par les différents types d'agriculteurs et leur influence sur les transferts de fertilité. En d'autres termes, cette dernière échelle permet de comprendre « les complémentarités et concurrences entre les unités paysagères et entre unités de production pour les ressources » (Odru et al 2013).

3.1.1.2. Les flux de biomasses considérés aux différentes échelles spatio-temporelles

Pour chacune des trois échelles spatio-temporelles d'analyse, différentes natures de flux furent considérées. Leur quantification fut basée sur deux sources d'informations : soit l'estimation à dire d'enquêtés, soit le calcul en utilisant des indicateurs issus de la littérature. Les figures suivantes (**figures 2, 3, 4**) rassemblent les flux considérés.



Figure 2: Flux de biomasses considérés à l'échelle d'analyse spatio-temporelle de la parcelle (C) signifie que le flux est calculé entre autres à partir d'indicateurs issus de la littérature.

- (1) Les « fertilisations organiques » font référence à plusieurs natures de flux : déchets organiques et fumiers épandus et dépôts directs de fèces du cheptel
- (2) Les produits phytosanitaires épandus ont été recensés malgré l'absence d'azote dans leur composition. L'objectif était aussi de fournir une base de données la plus complète possible sur les pratiques culturales
- (3) Les « productions et co-productions sortantes » sortent du système parcelle grâce aux prélèvements du socio-système (récoltes) mais aussi suite au pâturage des résidus de cultures par le cheptel
- (4) Les « prélèvements manuels autres » font référence aux prélèvements par le socio-système d'adventices comme fourrage et de bouses de vache comme combustible.

Le flux de fertilisations organiques provient de plusieurs origines dont les dépôts directs de fèces du cheptel du terroir lorsqu'ils sont parqués ou laissés en divagation. La quantification des dépôts lors de ces deux pratiques a nécessité : la quantité excrétée par UBT par jour (fèces : $2,09\text{kgMS}\cdot\text{j}^{-1}\cdot\text{UBT}^{-1}$; urine : $3\text{kgMB}\cdot\text{j}^{-1}\cdot\text{UBT}^{-1}$ (Vigan 2013)) ; la durée de divagation des animaux du ménage passé sur le parcellaire du ménage (valeur calculée avec quantité de biomasse ingérée par jour par UBT ($4,75\text{kgMS}\cdot\text{j}^{-1}\cdot\text{UBT}^{-1}$, (Vigan 2013))). Pour la divagation, la quantité de coproduits agricole présente sur la parcelle fut en plus nécessaire (estimation à dire d'acteurs).

Les prélèvements de feuillage pour affouragement du bétail ne font pas partie du système parcelle du fait que le temps n'a pas permis de quantifier et caractériser le couvert arboré présent sur l'aire cultivée, et que ces prélèvements sont fait sur une aire plus large que l'aire cultivée (aire d'habitat, aire de parcours).

Les excréta humains n'ont pas été considérés dans le cadre de l'étude.

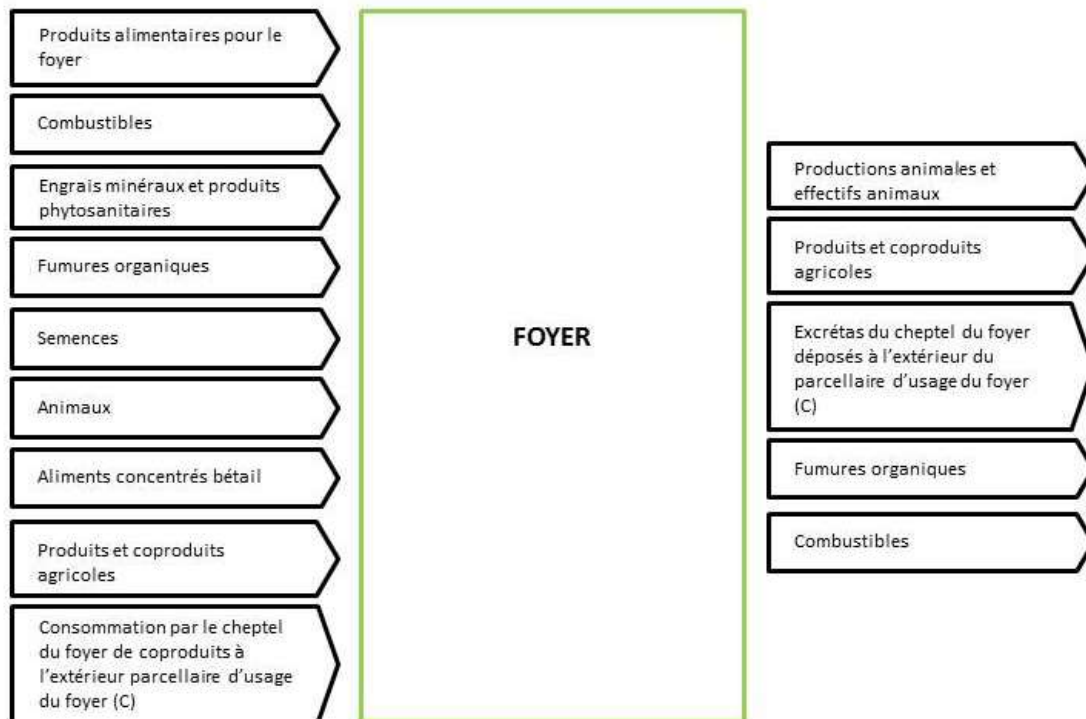


Figure 3: Flux de biomasses considérés à l'échelle d'analyse spatio-temporelle du foyer (C) signifie que le flux est calculé entre autres à partir d'indicateurs issus de la littérature
Le parcellaire d'usage 2014 du foyer fait référence au parcellaire total (possédé et emprunté) exploité par le foyer durant l'hivernage d'étude.

Le cheptel du foyer géré en système traditionnel sédentaire et transhumant est laissé à divaguer sur le terroir en saison sèche. Une partie de leur prise alimentaire est alors constituée par les coproduits agricoles laissés au champ et la végétation herbacée résiduelle. Dans le modèle, la quantité d'aliments prélevée par ces animaux est issue d'un calcul de différence entre les besoins alimentaires en matière sèche du cheptel divaguant ($4,75\text{kgMS}\cdot\text{j}^{-1}\cdot\text{UBT}^{-1}$, (Vigan 2013)), et l'éventuel rationnement fourni par le foyer. En cas de manque, la prise alimentaire autonome priorise les coproduits laissés sur le parcellaire d'usage du foyer. Si cette quantité laissée au champ à l'échelle du foyer est inférieure aux besoins alimentaires nécessaires au cheptel, il y a alors import de biomasse via prise alimentaire en dehors du système du foyer, et export de biomasse via excréation. Au contraire, si la biomasse totale laissée sur l'aire cultivée du foyer est supérieure aux besoins totaux de son cheptel, il y a alors export de biomasse alimentaire et apport de biomasse fécale par des troupeaux extérieurs au foyer dont les besoins ne sont pas déjà couverts.

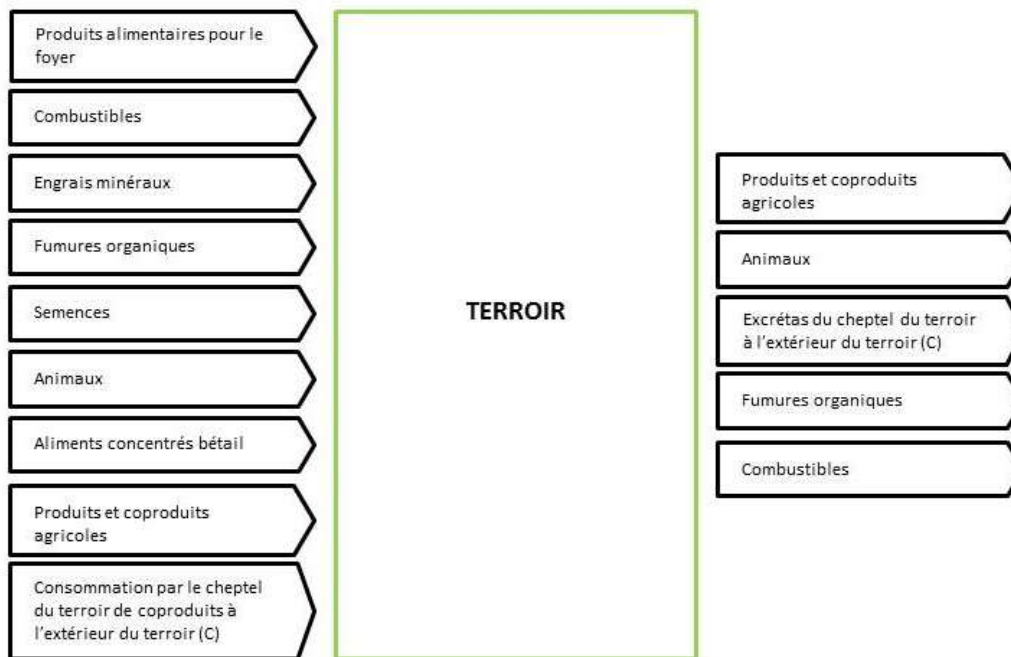


Figure 4: Flux de biomasses considérés à l'échelle d'analyse spatio-temporelle du terroir (C) signifie que le flux est calculé entre autres à partir d'indicateurs issus de la littérature

3.1.2. FLUX APPARENTS DE BIOMASSE ET D'AZOTE

L'étude s'est focalisée sur les flux apparents de biomasses. « [Ils correspondent aux] flux concrets [...] que l'on pourrait théoriquement soumettre à des pesées. Les flux non-apparents, *i.e.* les flux gazeux⁴ et les flux verticaux⁵ [...] n'ont pas été considérés » (Odru et al 2013).

Dans le cadre de l'étude, les flux étudiés regroupent ainsi deux des trois flux horizontaux de fertilisants énoncés par Dugué (1998) : les flux liés à un transport par les populations humaines et ceux liés au déplacement du bétail. Le troisième type de flux – flux de fertilisants liés aux processus érosifs mécaniques – n'a pas été pris en compte. En plus de ces flux à fonction de fertilisation de l'aire cultivée, les flux de biomasses animale (effectifs, productions), végétale (productions, ressources naturelles), alimentaire, ainsi que les fertilisants minéraux ont été pris en compte.

La prise en compte de l'azote comme nutriment étudié repose sur le fait « qu'il [soit] présent dans la grande majorité des biomasses circulantes et il s'agit d'un élément indispensable à la vie, à la croissance et à la reproduction des plantes et des animaux (dont l'homme). La disponibilité de cet élément (ou nutriment) pour les plantes est un bon indicateur de la fertilité des sols. » (Odru et al2013).

Les données brutes ont été récoltées via entretiens semi-directifs auprès de tous les foyers du terroir. Ces valeurs ont ensuite fait l'objet de conversions en masse de matière sèche puis en masse d'azote. Les facteurs de conversion utilisés sont les mêmes que ceux utilisés dans les

⁴ Dans le cadre de l'azote, les flux gazeux sont liés aux réactions impliquées dans son cycle biochimique regroupant les processus de dépôt atmosphérique, fixation symbiotique des légumineuses, nitrification bactérienne, etc

⁵ Les flux verticaux concernent les remontées de fertilisants effectuées par les systèmes racinaires des végétaux pérennes (Dugué 1998).

études de Odrú et al (2013) et Audouin et al (2014). Ces facteurs de conversions issus de la littérature sont recensés dans leurs rapports.

Les indicateurs construits à partir de ce jeu de données à dire d'acteurs et les analyses qui en découlent ont ainsi permis d'élaborer une représentation à dire d'acteurs des flux de biomasse et de nutriment à l'échelle globale du terroir.

3.2. DECLINAISON DU MODELE EN SCHEMAS STOCKS ET FLUX A L'ECHELLE DU TERROIR

3.2.1. STRUCTURE DU SCHEMA STOCK-FLUX APPARENTS D'AZOTE

3.2.1.1. Le schéma et ses composants

L'extrapolation à l'échelle terroir du modèle à compartiments de Rufino et al. (2006) d'une unité de production agricole africaine a permis de considérer le terroir agro-sylvo-pastoral sereer comme étant composé des sous-systèmes suivants (**figure 5**) : un système terroir où sont compris plusieurs sous-compartiments bio-fonctionnels : *compartiment des animaux non transhumants*, *compartiment végétal exploité*, *compartiment humain*, *compartiment fumures*, *compartiment fourrages* et les productions agricoles stockées (*grenier*).

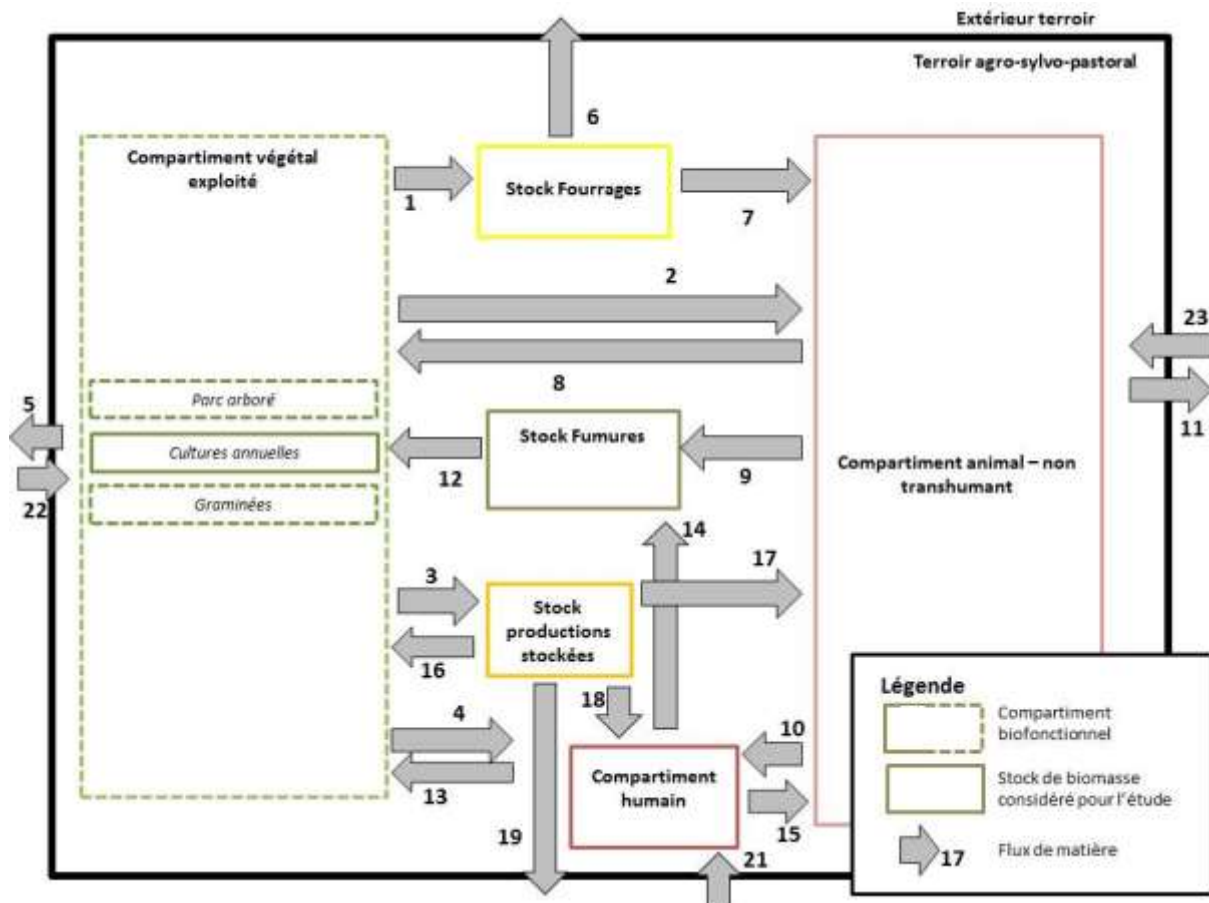


Figure 5: Schéma stock et flux apparents d'azote d'un terroir agro-sylvo-pastoral (adapté de Rufino et al. 2006)

Notes : la description détaillée des flux est à lire dans le tableau 3.

Chaque compartiment bio-fonctionnel et chaque flèche correspondent respectivement à un stock de biomasses et un flux ayant lieu entre ces stocks. Il y a proportionnalité des longueurs de compartiment et des largeurs de flèche avec respectivement les biomasses stockées et échangées sur le pas de temps de l'étude.

Le **compartiment végétal exploité** comprend la surface agricole utile du terroir avec son parc arboré ainsi que les aires de parcours. Ce compartiment fournit produits et coproduits agricoles, matériaux-énergie et matériaux-construction à destination du socio-système productif, du cheptel ou pouvant être échangé sur le terroir ou à l'extérieur. Le **compartiment humain** rassemble la population du terroir permanente et temporaire. Via les activités de consommation/transformation que ce compartiment réalise, il alimente les compartiments fumures ou végétal en déchets ménagers (flux 14 et 13) et le compartiment animal en résidus de transformation (flux 15). Le **compartiment fumures** rassemble le fumier créé à partir des déjections stockées du cheptel resté à l'enclos (flux 9), et des déchets stockés provenant du compartiment humain (flux 14). Il alimente le compartiment végétal (flux 12). Aucune vente ou don de fumures organiques à l'extérieur du terroir n'a été observée. Le **compartiment fourrages** représente l'ensemble des coproduits agricoles récoltés et stockés. Il alimente le compartiment animal pour affouragement ou les marchés extérieurs pour échanges (flux 7 et 6). Le **compartiment des animaux non transhumants** représente le cheptel n'ayant pas été amené en transhumance au cours du pas de temps de l'étude. Les animaux transhumants, présents de manière temporaire sur le terroir, ne sont pas considérés dans ce stock. Ils sont modélisés dans les flux reliant l'extérieur du terroir à ce compartiment (flux 11 et 23 suivant leur sortie/entrée). Ensemble – animaux non transhumants et transhumants –, ils interagissent avec : l'aire cultivée via leurs excréments directs et les prélèvements de biomasses végétales (flux 2 et 8) ; le compartiment humain pour autoconsommation de productions animales ou échanges d'effectifs (flux 10) ; ou encore les marchés extérieurs lors d'achats/ventes (flux 11 et 23). En saison sèche, les courts séjours à l'extérieur du terroir des animaux non transhumants pour chercher de la nourriture entraînent des entrées (apport de biomasse fourragère depuis l'extérieur) et des sorties (dépôt d'excréments) (flux 23 et 11). Le **compartiment grenier** représente les produits agricoles issus de l'aire cultivée du terroir et stockés (flux 3). Il alimente le compartiment humain pour la consommation ou les marchés extérieurs pour échanges (flux 18 et 19). Il sert également de stock semencier pour la saison de culture suivante (flux 16). Un dernier compartiment est celui représentant **l'extérieur du terroir**. Il correspond aux marchés et unités de productions agricoles extérieures avec lesquelles des échanges sont effectués, ou encore aux zones où le cheptel part transhumer en hivernage.

3.2.1.2. Notion de temporalité et règles méthodologiques prises

Les flux de biomasses furent recensés sur une durée de un an : de la fin de la saison sèche de l'année $n-1$ au début de l'hivernage de l'année n . Dans le cas du terroir de Sob, la période s'étala du 4 Juillet 2014 au 3 Juillet 2015⁶. Le choix de ces dates permet de couvrir un cycle complet concernant la gestion au sens large des systèmes de culture présents sur le terroir et des finalités de ses produits (rationnement du cheptel, alimentation du socio-système, divers échange intra-terroir et avec l'environnement extérieur, etc). Tout flux qui n'a pas eu lieu dans ce pas de temps n'a pas été considéré pour l'étude.

⁶ C'est-à-dire de la première pluie de l'hivernage 2014 ayant entraînée les semis de légumineuses à la fin de la saison sèche 2015 (la première pluie ayant fait démarrée les semis de légumineuses est tombée le 7 juillet 2015)

Le travail de terrain permis d'observer plusieurs trajectoires possibles pour certaines natures de flux. Certains avaient une trajectoire passant par un compartiment intermédiaire avant d'être effectivement valorisée (consommée, épandue, vendue, etc). C'est le cas des flux des différentes productions et coproductions agricoles : elles peuvent être stockées au grenier pendant une certaine durée ou être échangées ou consommées immédiatement. La notion de temporalité fut donc importante pour modéliser les trajectoires pertinentes pour chacun des flux. Concernant le terroir de Sob, ces décisions méthodologiques furent établies sur la base d'observations sur le terrain et d'informations provenant des enquêtés. Pour les terroirs de Diohine et Barry Sine, les lectures des rapports de Odru et al (2013) et Audouin et al (2014), ainsi que des échanges avec ces auteurs permit d'arriver au même objectif.

L'étude du calendrier de travaux agricoles du terroir (**tableau 2**) a amené à faire attention à certains flux de biomasses :

- Les semis de céréales et pastèque sont effectués en réalité à sec avant le début de l'hivernage. Ils ont été intégrés dans la période de l'étude et seulement pour l'hivernage 2014 ;
- Les apports d'engrais minéraux sont épandus habituellement durant l'hivernage. Ils ont été comptabilisés pour l'hivernage 2014. Ils sont donc à destination de la culture de 2014.
- Les apports de fumures organiques et dépôts d'excrétas du cheptel sont épandus durant la saison sèche. Ils ont été comptabilisés pour la saison sèche 2015. Ils sont donc à destination de la culture 2015.

Périodes	Année n						Année n+1					
	Sara'ndam		Ndig		Sek		Iid					
	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J
Semis	Arachide, niébé, bissap						Mil-Sorgho-Pastèque					
Fertilisations minérales	Mil, Pastèque											
Fertilisations organiques	Champs de case et champs de brousse (déchets ménagers)						Champs de case et champs de brousse (parcage nocturne; Divagation; Epandage fumiers; Déchets ménagers)					
Récoltes produits			Niébé	Mil	Sorgho	Arachide						
Récoltes co-produits			Niébé	Niébé-Mil	Sorgho	Arachide						

Tableau 2: Itinéraire technique simplifié des cultures pluviales sur Sob
Sara'ndam, Ndig, Sek et Iid correspondent aux noms donnés des différentes périodes de l'année selon les sereer. *Sara ndam* : période des premières pluies ; *Ndig* : hivernage ; *Sek* : saison des récoltes ; *Iid* : saison sèche.

3.2.2. METHODOLOGIE DE QUANTIFICATION DES FLUX

A l'instar des flux entrants et sortants des systèmes parcelle, foyer et terroir, la construction des flux de biomasses entre les bio-compartiments (**tableau 3**) repose principalement sur les estimations des enquêtés. Cependant, pour certains leur quantification se fit par calcul en utilisant des indicateurs issus de la littérature (marqués d'un (C) dans le **tableau 3**). Ils concernent les flux de :

- Alimentation du tas de fumier par les animaux séjournant à l'enclos.
 Ce flux fut initialement calculé en utilisant les estimations des enquêtés du temps de séjour à l'enclos et la vitesse de déjections par UBT par jour (facteur issu de la littérature). Or on ne retrouvait pas la correspondance entre cette quantité calculée et la quantité en fumier effectivement épandue sur l'aire cultivée selon l'estimation des enquêtés. La

quantité alimentant le tas fut donc calculée par différence entre celle effectivement épanchée et les autres origines de produits alimentant le tas (plus de précisions en [Annexe 1](#) : Explication détaillée des choix méthodologiques pris pour évaluer l'alimentation du tas de fumier en déjections et l'affouragement du cheptel concerné).

- Affouragement du cheptel du terroir en coproduits jusqu'alors stockés.

Cette quantité provenait initialement de l'estimation à dire d'enquêtes du rationnement du cheptel du foyer. Or on ne retrouvait pas la correspondance entre le rationnement effectivement donné aux animaux concernés et les quantités effectivement récoltées (après avoir soustrait les ventes). La quantité issue du stock fourrager alimentant le cheptel concerné fut donc calculé en soustrayant la quantité récoltée aux éventuelles sorties par ventes ou dons (plus de précisions en [Annexe 1](#) : Explication détaillée des choix méthodologiques pris pour évaluer l'alimentation du tas de fumier en déjections et l'affouragement du cheptel concerné).

Compartiment d'origine du flux	Compartiment de destination du flux	Nature(s) générique(s) du flux	Flèche correspondante la figure 2
Végétal exploité	Stock fourrages	Coproduits stockés	1
	Animal	- Prélèvement autonome du cheptel en coproduits durant la vaine pâture de saison sèche (C) - Affouragements en vert et en produits d'émondage	2
	Stock productions	Produits stockés	3
	Humain	- Produits agricoles non stockables pour consommation immédiate - Prélèvement de combustibles	4
	Extérieur terroir	Vente immédiate (1) de produits et coproduits agricoles de rente (2)	5
Fourrages	Extérieur terroir	Vente de coproduits vivriers qui furent stockés (2)	6
	Animal	Affouragement cheptel du terroir en coproduits jusqu'alors stockés (1) (C)	7
Animal	Végétal exploité	Dépôt direct de déjections et urine sur l'aire cultivée via parcage et divagation (C)	8
	Fumures	Alimentation du tas de fumier (3) par les animaux séjournant à l'enclos (C)	9
	Humain	Prélèvement en effectifs animaux et productions pour autoconsommation intra-terroir	10
	Extérieur terroir	- Vente d'effectifs animaux - Vente de productions animales - Effectif transhumant quittant le terroir au cours de la saison sèche - Quantités déjetées par les animaux non transhumant hors du terroir lors de la période de divagation de saison sèche (C)	11
Fumures	Végétal exploité	Epandage sur l'aire cultivée de fumiers stockés d'origine animale et humaine	12
Humain	Végétal exploité	Epandage sur l'aire cultivée de déchets du compartiment humain non stockés	13
	Fumures	Dépôt de déchets du compartiment humain sur le tas de fumier	14
	Animal	Alimentation du cheptel en résidus d'alimentation	15
Productions stockées	Végétal exploité	Semences jusqu'alors stockées (1)	16
	Animal	Rationnement en produit principal jusqu'alors stocké (1)	17
	Humain	Alimentation en produits principaux jusqu'alors stockés (1)	18
	Extérieur terroir	Vente à l'extérieur du terroir de produits principaux vivriers (2) jusqu'alors stockés	19
Extérieur terroir	Humain	Achat de consommables alimentaires et combustibles pour les besoins alimentaires du compartiment humain	21
	Végétal exploité	- Achat d'engrais et agents biocides - Achat de semences	22
	Animal	- Achat d'effectifs animaux - Effectifs transhumant revenant sur le terroir - Ressource en pâturage prélevée hors du terroir par le cheptel non transhumant lors de la divagation de saison sèche (C)	23

Tableau 3 : Description synthétique de la composition des flux de biomasse entre les compartiments du schéma stock-flux du terroir agro-sylvo-pastoral sereer

(C):flux de biomasses calculés

- (1) Les termes « immédiat » et « jusqu'alors stockés » renvoient à la notion de temporalité (décrite dans la section précédente 3.2.1.2.).
- (2) « Produits vivriers/ de rente » et « coproduits vivriers/de rente » : les cultures de rente, c'est-à-dire dont l'échange apporte un retour en numéraire, sont constituées par les cultures de l'arachide, de la pastèque, du maraichage et dans une moins grande proportion le niébé et le bissap. A l'inverse les céréales du mil, du sorgho et du maïs sont considérées comme cultures vivrière. Par extension on dira que les coproduits de ces deux groupes d'espèces végétales sont des coproduits de rente ou vivriers. Cette simplification reste cohérente avec la notion de temporalité. En effet les produits et coproduits de rente sont majoritairement vendus lors de la récolte, alors que ceux vivriers, s'ils sont vendus, ne le sont qu'après un temps de stockage.
- (3) Tas de fumier : les tas de fumiers rencontrés sur chacun des terroirs furent morphologiquement et qualitativement différents. Pour des besoins de présentation ils furent regroupés sous ce nom générique commun

3.3. INDICATEURS CALCULES

3.3.1. CALCUL DES BILANS ET EFFICIENCES D'AZOTE

Le bilan et l'efficacité azotés ont été calculés à trois échelles d'analyse : parcelle (seul sous-système du foyer analysé), foyer, et terroir sur un pas de temps d'un an du début de la saison des pluies (juillet année n) à la fin de la saison sèche (juin année $n+1$).

La formule du bilan apparent utilisée pour chacun des systèmes est la suivante :

$$\text{Bilan apparent} = (\text{Entrée de biomasse} - \text{Sortie de biomasse}) \times \frac{1}{\text{Surface}}$$

Avec l'entrée et la sortie de biomasse en kilogramme par an et la surface en hectares. Le bilan apparent est alors en kilogramme par hectare et par an. La surface à considérer pour chacune des trois échelles d'analyse est respectivement : la surface de la parcelle, la surface du parcellaire d'usage du foyer durant l'hivernage 2014 et la surface agricole utile du terroir.

La formule de l'efficacité d'utilisation est la suivante :

$$\text{Efficacité d'utilisation} = \frac{\text{Sortie de biomasse}}{\text{Entrée de biomasse}}$$

Avec l'entrée et la sortie de matière en kilogramme par an. L'efficacité d'utilisation est sans unité.

3.3.2. CALCUL DES INDICATEURS DU SCHEMA STOCK-FLUX APPARENTS D'AZOTE

3.3.2.1. Evaluation des stocks de biomasses

La **figure 5** faisait référence à 6 compartiments bio-fonctionnels : compartiments humain, animaux non transhumants, fumures, grenier, fourrages et cultures annuelles (sous compartiment du compartiment végétal exploité). Ils représentent des stocks de biomasse apparente convertis en azote qui possèdent une signification matérielle dans la réalité : ils sont tous observables à un moment donné sur le terroir.

Le mode calculatoire de leur stock n'est pas homogène, et leur comparaison n'est pas toujours possible puisque certains fonctionnent selon un cycle. Leur valeur de stock n'est alors valable qu'à un certain temps du pas de temps d'étude.

C'est le cas des compartiments grenier, cultures annuelles (végétal exploité), fumures qui sont des stocks transitoires. En effet, les observations de terrain et les entretiens avec les agriculteurs du terroir ont montré que ces trois stocks redevenaient nuls à un certain moment de l'année, avant leur reconstitution lors du cycle suivant : les tas de fumiers des ménages sont entièrement épandus avant le début de la saison de culture, les restes de pailles laissés sur l'aire cultivée et ainsi disponibles pour la période de vaine-pâturage, sont intégralement mangés en fin de saison sèche et les greniers terminent très souvent vides avant même la récolte de l'hivernage suivant. Ces stocks représentent alors :

- Compartiment fumures : sa valeur représente le total de fumures stocké sur le pas de temps de l'étude
- Compartiment fourrages : il représente le stock total de coproduits récoltés et stockés de l'aire cultivée du terroir

- Compartiment végétal exploité : il est lui-même divisé suivant les sous-compartiments bio-fonctionnels du parc arboré, cultures pluviales et graminées (présentes sur les zones de parcours et dans les jachères). Seul le stock du compartiment cultures pluviales a été calculé. Il représente le total de biomasses fourragères laissées au champ en début de saison sèche pour la vaine-pâturage.
- Compartiment grenier : il représente le total de produits agricoles récoltés sur l'aire cultivée et stockés.

Les stocks sont quantifiés sur la base des estimations des enquêtés. Le **tableau 4** définit leur nature composite et le mode calculatoire utilisé.

Nom du compartiment sur la figure 2	Description de la matière stockée (en kg.ha ⁻¹ .an ⁻¹)
Compartiment animal non transhumant	Stock estimé à partir de l'effectif du cheptel non transhumant du terroir (1).
Compartiment humain	Stock estimé à partir des effectifs permanents et temporaires des habitants du terroir
<i>Compartiment végétal exploité – sous-compartiment cultures pluviales</i>	Biomasse constituée des résidus de récolte des cultures annuelles laissées au champ avant début de la divagation
<i>Fumure</i>	Stock estimé à partir des quantités de fumiers (2) épandues sur l'aire cultivée
<i>Grenier</i>	Stock estimé à partir de la somme des productions stockées (produits principaux vivriers et produits de rente non périssables n'ayant pas été vendu)
<i>Fourrages</i>	Stock estimé à partir de la somme des co-productions stockées (coproduits vivriers et coproduits de rente n'ayant pas été vendu)

Tableau 4: Description de la nature des stocks du terroir agro-sylvo-pastoral sereer
En italique, les stocks transitoires.

- (1) Il est important de préciser la localisation géographique du cheptel animal appartenant au terroir. En effet pour les lots gérés de manière traditionnelle ou en embouche, leur variation d'effectifs correspond à une entrée (achat) ou une sortie (vente) qui est également synonyme d'une entrée/sortie du terroir. Pour les lots transhumants, un deuxième échange avec le terroir est possible : celui du départ/retour en transhumance. Ainsi le calcul du stock animal est basé sur celui de la charge animale annuelle sur le terroir des lots non transhumant.
- (2) Ce stock correspond à la somme des fumures déclarées provenant du tas de fumier et épandues sur l'aire cultivée pendant le pas de temps. Ces fumures sont de différentes natures et origines : déjections animales, refus alimentaires pailleux et déchets divers provenant de l'habitat. Les quantités à épandre furent aussi amenées au champ par l'intermédiaire de divers contenants : charrettes, bassines, sacs. Le travail effectué sur les « unités villageoises » permis de quantifier ces flux en masse de matière brute pour chaque cas.

3.3.2.2. Evaluation des flux de biomasses

Les flux de biomasse entre compartiments ont été calculés en additionnant les différentes natures de flux comme indiqué dans le **tableau 3**. Les flux furent convertis en kilogramme d'azote par hectare de SAUT par an.

4. LES DONNEES RECOLTEES

4.1. LE JEU DE DONNEES ET OUTILS MIS A DISPOSITION

Le présent travail a bénéficié de plusieurs travaux et sources de données :

- La structure de la base de données permettant le calcul des flux de biomasses à l'échelle d'un terroir et la structure du guide d'entretien correspondante, outils développés par l'UMR Selmet du CIRAD dans le cadre du projet Animal Change

- les deux bases de données produites par le binôme de stagiaires précédentes Odru et al (2013) et Audouin et al (2014) sur leur terroir respectif de Sassem et Barry Sine,
- les données démographiques et géomatiques du LPED et de l'Observatoire de Santé et Population de Niakhar
 - o dernier recensement démographique de Sob datant de décembre 2013
 - o données géomatiques relatives à la tenure de la terre du terroir et au parc arboré de Sob de 2012
- les images satellites haute résolution du terroir de Sob de juin et octobre 2014 commandées pour le projet CERAO (satellites Pléiades)

4.2. LE TERROIR DE SOB : RECOLTE ET EXPLOITATION DES DONNEES

4.2.1. RECOLTE DES DONNEES

4.2.1.1. Les données collectées et organisation pour y parvenir

Les informations récoltées à l'échelle du terroir furent de deux types : structurelles et dynamiques. Le premier séjour de terrain effectué au mois de mai 2015 permit de récolter les informations structurelles : parcellaire d'usage avec ses caractéristiques sociale (tenure de la terre) et agro-pédologique (type de sol, rotations pratiquées sur la période 2012-2015) avec géo-référencement systématique⁷ ; mise à jour de l'effectif humain permanent et temporaire sur Sob en 2015 à partir des dernières données démographiques fournies par le LPED ; effectifs du cheptel du terroir (avec catégorie animale et type de gestion). Le second séjour, effectué au mois de juillet 2015, a permis d'évaluer les flux concernant les différents sous-systèmes des unités de production (aire cultivée, lots d'élevage, socio-système). L'inter-séjour a quant à lui permis de traiter la première salve de données structurelles et de parfaire la méthodologie avant le second séjour.

4.2.1.2. Structure et conduite des entretiens

La porte d'entrée la plus pertinente pour comprendre les principales pratiques agricoles et pratiques d'élevage est de s'intéresser aux responsables des unités de production agricole que sont les chefs de foyer (**cf. section 2.2.**). Nous avons donc commencé par les enquêter. D'autres acteurs au sein du foyer sont également impliqués dans ces pratiques. Les femmes furent interrogées sur les questions de consommation du foyer, de prélèvement de combustibles, de vente de la volaille ou des porcs, de gestion des cultures de bissap et niébé. Dans certains cas – foyers avec de nombreuses épouses et/ou de nombreux hommes dépendant du chef de foyer – les entretiens devenaient quasi-individuels puisque de nombreux membres géraient de manière autonome certains champs et certaines têtes de bétail.

Les premières étapes d'immersion par l'observation et le dialogue compréhensif furent respectées pour appréhender l'organisation du terroir de Sob. Ce processus d'immersion permit de comprendre l'agencement des saisons pratiques – moments définis dans le temps et l'espace où un même ensemble de travaux agricoles est observable à l'échelle du terroir – pour la conduite de l'élevage (alimentation, localisations) et la gestion des cultures.

⁷ Le traitement informatique des informations cartographiques s'est fait sous le logiciel QGIS 2.6-Brighton (<http://qgis.org/fr>)

La structure du guide comprenait 5 entrées thématiques :

- Structure du foyer en termes socio-éco-démographique :
 - o de population humaine permanente et temporaire, converties grâce à l'âge en unités de travail et de bouches à nourrir
 - o activités extra-agricole éventuelles des membres du foyer
- Structure et flux du système de culture :
 - o surface agricole utilisée en hivernage 2014 (parcelles possédées et empruntées) et occupations de sols correspondantes en 2012, 2013, et 2015, typologie à dire d'acteurs de la pédologie des parcelles (avec l'imprécision correspondante (Jankowski 2013)), typologie à dire d'acteurs de la considération du champ (champ de case/champ de brousse)
 - o Récoltes en produits
 - o Mode de fertilisation organique et minérale utilisé pendant le pas de temps de l'étude
 - o Outillage possédé
- Structure et flux du système d'élevage :
 - o Catégories animales présentes et gestion correspondante spatio-temporalisée (ration alimentaire, localisations suivant la saison pratique)
 - o Flux spatio-temporalisés liés aux échanges (vente, achat, confiage, don) entre foyers du terroir et avec l'extérieur du terroir
- Entrées/sorties de l'habitat humain
 - o Consommation journalière du ménage en produits agricoles issus de son aire cultivée ou suite à des échanges avec d'autres foyers du terroir, ou avec l'extérieur du terroir
 - o Déchets et finalités
- Arbres
 - o Prélèvements spatio-temporalisés pour les besoins en combustible et en matériel de construction

Toute la période de collecte d'informations sur le terroir fut réalisée avec le concours de deux traducteurs français-sereer.

4.2.2. EXPLOITATION DES DONNEES DE SOB

La collecte de données permettant de réaliser le diagnostic des flux de biomasses sur le terroir de Sob a été réalisée de manière exhaustive, c'est-à-dire sur l'ensemble des ménages répertoriés dans la base de données démographique de l'Observatoire de Santé et Population de Niakhar. Mais le manque de temps pour consolider l'ensemble de la base de données, nous a contraints de n'utiliser qu'un échantillon de ménages du terroir, représentatif statistiquement, pour pouvoir exploiter des valeurs de flux et de stock par hectare pertinentes.

4.2.2.1. Construction d'un échantillon aléatoire représentatif

La taille d'un échantillon statistiquement représentatif se calcule grâce aux deux formules suivantes : celle calculant la taille globale de l'échantillon et sa taille corrigée.

La Taille Globale d'un échantillon est donnée par la formule ci-dessous :

$$TG = t^2 \times p \times \frac{1-p}{m^2}$$

Avec **TG** la taille de l'échantillon ; **t** le niveau de confiance ; **p** la probabilité que l'individu fasse partie de l'échantillon et **m** l'erreur d'estimation acceptée.

La taille corrigée d'un échantillon est donnée par la formule ci-dessous :

$$Tc = \frac{TG}{1 + \frac{TG - 1}{N}}$$

Avec **Tc** la taille corrigée de l'échantillon **TG** la taille globale de l'échantillon et **N** la taille de la population.

Les valeurs calculées de **Tc** et **TG** sont répertoriées dans le **tableau 3** ci-dessous :

Variable fixée	Valeur
<i>t</i>	95%
<i>N</i>	114
<i>m</i>	5%
<i>p</i>	1/N
Résultats	Valeur
<i>TG</i>	13
<i>Tc</i>	12

Tableau 5: Variables fixées et résultats de la taille de l'échantillon à prendre selon les formules de TG et Tc

Avec *t* le niveau de confiance ; *p* la probabilité que l'individu fasse partie de l'échantillon ; *m* l'erreur d'estimation acceptée ; *N* la taille de la population ; *TG* la taille de l'échantillon ; *Tc* la taille corrigée de l'échantillon

Cette formule définissant la taille minimale d'échantillon fonctionne avec une erreur d'estimation inférieure à 10% pour des grandes populations, soit $N > 150$. En dessous de cet effectif l'erreur d'estimation devient supérieure à 10%.

Nous avons donc décidé de prendre une taille d'échantillon de 30 ménages pour l'exploitation et analyse des résultats. En effet, cette valeur est supérieure aux tailles globale et corrigée, et permettant de supposer que la distribution suit une loi normale selon le théorème central limite.

La formule permettant de calculer l'erreur d'estimation devient alors :

$$m = t^2 \times \sqrt{\left(\frac{p \times (1 - p)}{n}\right)}$$

Avec *t* le niveau de confiance ; *p* la probabilité que l'individu fasse partie de l'échantillon ; *m* l'erreur d'estimation acceptée ; *n* la taille de l'échantillon

La valeur de l'erreur d'estimation est alors de 3,25% (cf. **tableau 4**).

Variable fixée	Valeur
<i>t</i>	95%
<i>n</i>	30
<i>p</i>	1/N
Résultats	Valeur
<i>m</i>	3,25%

Tableau 6: Variables fixées et résultat de l'erreur d'estimation en prenant un échantillon de 30 individus

L'échantillon a été tiré selon la méthode de tirage d'un échantillon aléatoire simple.

4.2.2.2. Conséquence pratique sur le calcul des valeurs des bilans et efficacités aux échelles parcelle, foyer, terroir

Les valeurs de bilans aux trois échelles parcelle, foyer et terroir sont calculés par hectare. A l'échelle du terroir, elles sont ramenées sur la surface agricole utile du terroir (SAUT). En ce

qui concerne Sob, le travail géomatique a permis de calculer une valeur fictive de SAUT correspondant à l'aire exploitée par les 30 ménages de l'échantillon, nommée SAUT-échantillon.

4.2.2.3. Conséquence pratique sur le calcul des valeurs de stocks et flux du schéma stock-flux de Sob

Les valeurs de stock et de flux d'azote utilisées dans le schéma stock-flux sont divisées par la surface agricole utile du terroir. Dans le cas de Sob, ces valeurs furent divisées par la SAUT de l'échantillon.

5. OUTILS STATISTIQUES UTILISES

Des analyses statistiques ont été réalisées sur les distributions de bilans apparents d'azote de Sob aux deux échelles spatio-temporelles parcelle et foyer. On utilisa l'outil de boîte de Tukey pour décrire ces distributions, et les tests de Student à deux échantillons et un échantillon furent appliqués pour conclure sur des différences entre échantillons ou des tests de nullité. Tous les tests furent réalisés à l'aide de Xlstat 2015⁸.

⁸ <https://www.xlstat.com/fr/>

CHAPITRE 3 : RESULTATS

Dans un premier temps, nous présenterons les résultats propres à la structure et aux dynamiques des flux de biomasses recensés sur le terroir de Sob. Ils seront ensuite comparés aux états et fonctionnements décrits dans les écrits de Odru et al (2013) et Audouin et al (2014) respectivement sur les terroirs de Sassem et Barry Sine, ainsi qu'aux traitements de leur données respectives.

1. ETAT STRUCTUREL DU TERROIR DE SOB

1.1. STRUCTURE PAYSAGERE DU TERROIR

Occupation du sol	Surface (ha)	Part relative à la STT
Surface Agricole Utile Terroir (SAUT)	542,58 (2)	90,33%
<i>Aire de cultures pluviales</i>	<i>525,86 (1)</i>	<i>96,92%</i>
<i>Aire en jachère hivernage n-1</i>	<i>16,03 (1)</i>	<i>3,05%</i>
<i>Aire de maraichage</i>	<i>0,80 (2)</i>	<i>0,03%</i>
Aire de parcours	49,20 (2)	8,19%
Aire d'habitat	8,86 (2)	1,48%
Surface Totale Terroir (STT)	600,64 (2)	

Tableau 7 : Surface des aires paysagères de Sob

SAUT : Surface Agricole Utile ; STT : Surface Totale Terroir

(1) Données extrapolées à l'échelle du terroir de Sob à partir de l'échantillon de données

(2) Données obtenues à partir du travail géomatique

Le terroir de Sob s'étend sur une superficie de 600 ha. Il est divisé en deux entités spatiales : une campagne-parc (Lericollais 1989) et une aire d'habitat. La campagne-parc est elle-même partagée entre deux aires paysagères : une aire cultivée avec son parc arboré et une aire de parcours ([tableau 7](#)).

- L'aire cultivée et son parc arboré : elle s'étendait sur 543 ha pendant l'hivernage 2014 (soit 90% de la SAUT). Son organisation est toujours divisée traditionnellement selon les deux auréoles concentriques de champs de case – entourant les îlots d'habitat humain – et de champs de brousse. Un parc arboré composé principalement d'acacias (*Faidherbia albida* (Delie) A. Chev.) ponctue cette aire. D'un point de vue pédologique, 70% du terroir est établi sur un sol ferrugineux non lessivé à texture sableuse (Lericollais 1972). Ces sols sont aujourd'hui totalement exploités pour l'agriculture. L'introduction progressive d'un outillage attelé durant les années coloniales (XX^{ème} siècle) – conjugué à d'autres déterminants démographique & socio-économique – a également permis de mettre en valeur une partie des sols argilo-sableux du terroir. On note en plus une petite zone maraichère irriguée au Sud-Est du terroir (0,8 ha, soit 0,6% de la SAUT) établie sur un sol à texture argilo-sableuse. Cette zone est l'unique endroit du terroir où l'eau de la nappe phréatique est suffisamment douce pour permettre l'irrigation de jardins maraichers durant la saison sèche.
- L'aire de parcours : elle couvre moins de 10% de la surface totale du terroir. Elle rassemble plusieurs sous-unités paysagères aux usages différents :
Les bas-fonds (*mbel* en sereer) qui correspondent à des dépressions topographiques non cultivées et temporairement engorgées durant l'hivernage. Ils ont une fonction d'abreuvoir pour les animaux durant cette période.
Les *ped* correspondent à des couloirs non cultivés délimités de manière plus ou moins continue par des haies vives à majorité d'euphorbes (*Euphorbia balsamifera* Aiton). Ces chemins constituent un maillage au sein du terroir qui relie les différents bas-fonds. Les

bergers les utilisent principalement durant l'hivernage pour accompagner les animaux restés sur le terroir pour s'abreuver ou pâturer dans les bas-fonds.

La dernière unité est représentée par les *diodj*. Ils correspondent à des espaces où une forêt résiduelle, principalement arbustive, a été sauvegardée. Ils sont généralement situés sur des sols hydromorphes. Les arbustes majoritaires sont le *ngud* (*Guiera senegalensis* J.F.Gmel.) et le *kinkéliba* (*Combretum micranthum* G.Don). Ils font l'objet d'importants prélèvements comme bois-énergie.

- L'aire d'habitat : Elle couvre 2% du terroir. Elle est divisée en quatre hameaux : *Sob* au Centre-Est du terroir, *Mbin Diomaye Sie* au Centre-Ouest, *Ndoffane* au Sud-Ouest et *Pinda-kob* au Sud-Est (**Annexe 2**). Le hameau de *Sob* est celui qui concentre l'essentiel de la population du terroir (51 concessions sur les 58 présentes sur le terroir).

Le régime pluviométrique monomodal a produit un polymorphisme marqué du paysage. L'absence de pluie pendant les 8 à 9 mois de saison sèche laisse une terre à nue en fin de saison – phénomène également conjugué avec les prélèvements du cheptel laissé en divagation. Au contraire l'hivernage est synonyme d'une explosion floristique. Une pluie efficace suffit à faire germer plantes désirées (mil, sorgho, arachide, etc) et graminées sauvages.

1.2. L'AIRES CULTIVEES DU TERROIR

1.2.1. CULTURES PLUVIALES PRATIQUEES & IMPORTANCES

L'aire cultivée du terroir est partagée entre deux spéculations principales : la culture vivrière du mil (45% de la SAUT) et celle de rente de l'arachide (29% de la SAUT) (**tableau 8**).

Occupations de sol	Occupation de la culture par rapport à la SAUT
En considérant la culture principale (1)	
Mil	44,50%
Sorgho	3,59%
Arachide	29,16%
Pastèque	16,83%
Niébé	2,72%
Bissap	0,00%
Jachère	3%

Tableau 8: Occupations de sols de l'aire cultivée de l'hivernage 2014 sur le terroir de Sob SAUT : Surface Agricole Utile du Terroir

(1) Par culture principale nous retranscrivons la perception des enquêtés qui placent le mil, l'arachide et la pastèque comme cultures principales. Dès qu'une de ces trois cultures occupe une parcelle, les associations sont volontairement omises à l'oral. En d'autres termes, lors d'association mil-sorgho, le mil prime, lors d'association arachide-niébé-bissap ou arachide-niébé ou arachide-bissap, l'arachide prime, etc.

Selon les enquêtés, l'aire cultivée du terroir est établie pour presque 44% de sa surface sur des sols *dior* – sols à texture sableuse, 24% sur sol *dek* et 32% sur ces sols à la texture intermédiaire entre le sableux et le sablo-argileux (*dek-dior* en sereer).

D'un point de vue spatial, on définit une auréole des champs de case contiguë à la zone d'habitats. Elle est uniquement cultivée en cultures vivrières. Au-delà de cette aire, se trouve celle des champs de brousse qui mélangent cultures vivrières, cultures de rente et jachère (**carte 4**).

Sur l'auréole de champs de case, la culture est pratiquée en continu au fil des années. Sur celle des champs de brousse, 3% de la SAUT fut laissée en jachère l'hivernage 2014. Les raisons avancées furent la possession d'un lieu de parcage nocturne pour les animaux n'ayant

pas transhumés, la mise en repos d'une parcelle à cause d'un manque de fertilité ou un semis raté.

La culture associée (*ndonate* en sereer) est répandue à l'échelle du terroir pour les cultures à fonction vivrière comme celles de rente – à l'exception de la pastèque (*Citrullus lanatus* (Thunb.) Matsum. & Nakai). Les champs d'arachide (*Arachis hypogaea* L.) sont ainsi majoritairement associés⁹ aux cultures intercalaires de niébé (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) et/ou bissap (*Hibiscus sabdariffa* L.). Les quelques champs de niébé cultivés en pur (2,8% de la SAUT) sont principalement des champs de niébé fourrager. La pastèque a occupé 17,4% de la SAUT. Elle fut gérée sur l'ensemble du terroir en culture pure. Enfin, aucun champ de bissap semé en pur n'a été observé. Concernant les cultures vivrières, elles sont représentées par le mil et le sorgho (*Sorghum bicolor* (L.) Moench). Des cas marginaux de culture de maïs (*Zea mays* L.) furent aussi observés (considérés trop marginaux pour être recensés). Le mil hâtif¹⁰ (*Pennisetum glaucum* (L.) R.Br.) représente la majorité du mil rencontré¹¹, l'autre étant le mil à cycle long¹² (*Pennisetum polystachion* (L.) Schult.).

Concernant le mil plusieurs conduites en termes d'associations furent observées suivant l'auréole considérée. Néanmoins à l'échelle du terroir, le mil est majoritairement semé seul sur l'auréole des champs de case alors qu'on peut le retrouver associé au sorgho en champs de brousse. La stratégie d'associer ces deux céréales sur les deux auréoles concentriques diverge entre enquêtés. Certains ayant habitude de semer en association mil et sorgho en champ de case déclarent qu'ils peuvent ainsi surveiller et protéger le sorgho plus facilement contre le cheptel – du fait de la proximité du champ avec l'habitat – jusqu'à la fin de son cycle cultural, plus long que le mil hâtif¹³. D'autres sèment le mil en culture pure sur leurs champs de case car ils jugent plus important de remplir leur grenier en mil. Une dernière gestion du mil fut observée. Plus marginale, elle consistait à cultiver en séquence mil hâtif et niébé fourrager. Le niébé fourrager était alors semé environ un mois avant la récolte du mil.

Certains enquêtés ont enfin cultivé du sorgho en culture pure (3,7% de la SAUT). Cette occupation de sol n'était visible que sur des zones à sols *dek* – sol à texture argilo-sableuse ayant tendance à l'hydromorphie et la compaction.

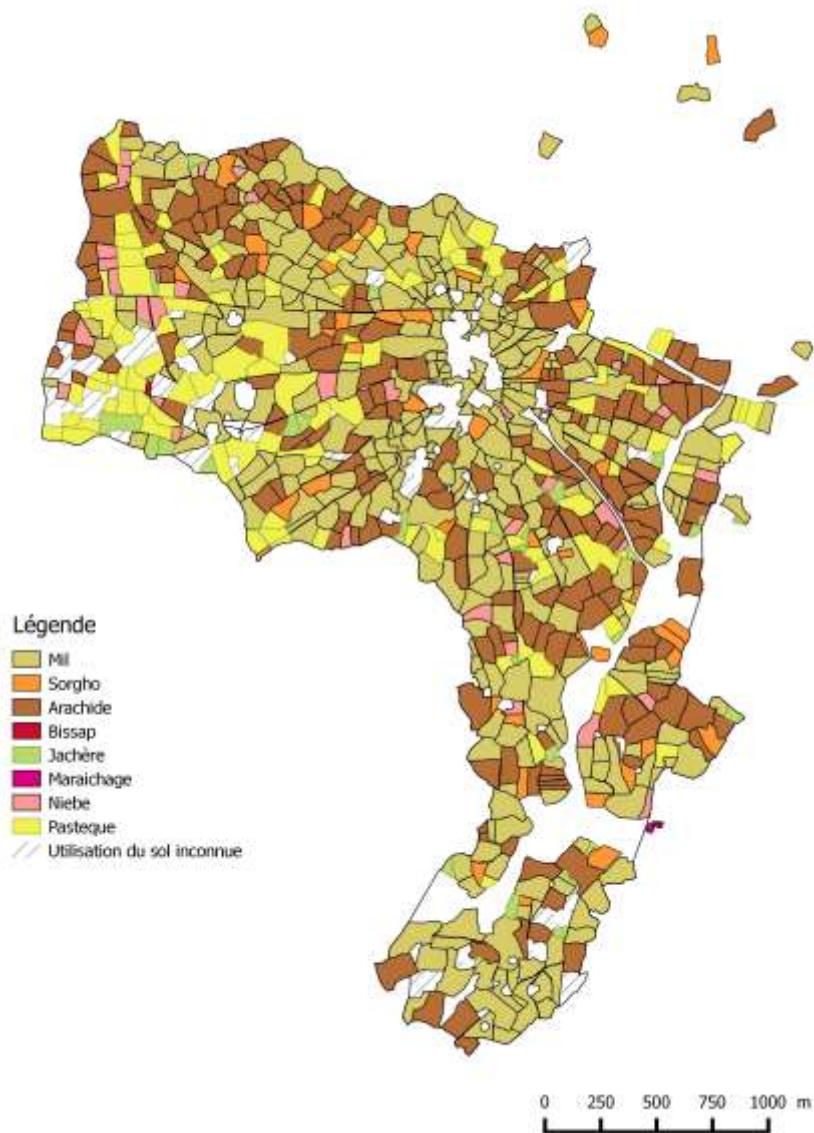
⁹ L'arachide fut semée à 96% en association contre 4% en culture pure durant l'hivernage 2014

¹⁰ Considéré comme hâtif car il boucle son cycle cultural en 90 jours

¹¹ 98% de la surface totale cultivée en mil

¹² 120 jours de cycle cultural

¹³ La récolte des pailles de sorgho fut courant novembre 2014, tandis que celle des pailles de mil hâtif fut courant octobre.



Carte 4: Assolement à l'échelle du terroir de Sob pour l'hivernage 2014 (d'après Saunier-Zoltobroda et al. 2015)

1.2.2. TENURE DE LA TERRE

En méthodologie on présentait le terroir comme l'espace cultivé et exploité par une communauté villageoise. Cette acception rentre en conflit avec les limites historiques du terroir établies par Lericollais en 1972 (Lericollais 1972). Pour l'hivernage 2014, deux types de parcelles peuvent être définies : celles localisées à l'intérieur de ce périmètre historique et celles situées à l'extérieur.

Sur cette dichotomie on note que la communauté de Sob a emprunté 12,4% de sa SAUT à l'extérieur des limites historiques du terroir dans 20 villages alentours (**tableau 9**). Ces parcelles ont été semées principalement en cultures de rente (pastèque ou arachide). Suivant la confiance qui règne entre le prêteur et le demandeur, les mêmes champs peuvent être prêtés plusieurs années consécutives au même demandeur. Néanmoins, le prêteur a pris l'habitude de prêter un champ différent d'une saison de culture sur l'autre suite à la loi de 1972 qui

permet à un utilisateur de déclarer qu'un champ lui appartient s'il montre 3 années consécutives d'utilisation (Gastellu 1988).

Concernant les prêts à l'intérieur du terroir, la zone de *Ndoffane* à l'Ouest du terroir concentre la plupart de ces prêts (carte en [annexe 2](#)). Tous ces champs appartiennent à un même propriétaire terrien dont le ménage ne constitue pas une main d'œuvre suffisante pour exploiter l'intégralité de son parcellaire possédé. Les champs empruntés dans cette zone sont généralement à vocation de la culture de la pastèque quel que soit le précédent cultural.

Parcellaire d'usage du terroir de Sob en hivernage 2014	Pourcentage en surface
Surface agricole située à l'intérieur du périmètre historique de Sob	87,61%
<i>Surface agricole possédée-utilisée localisée à l'intérieur du périmètre historique de Sob</i>	78,36%
<i>Surface agricole prêtée entre foyers du terroir, située à l'intérieur du périmètre historique de Sob</i>	9,25%
Surface agricole empruntée située à l'extérieur du périmètre historique de Sob	12,39%

Tableau 9: Répartition des surfaces agricoles intra et extra-périmètre historique du terroir utilisées par la communauté de Sob lors de l'hivernage 2014

UP=unité de production agricole

1.3. STRUCTURE DU CHEPTEL DU TERROIR

A l'échelle du terroir de Sob, on a dénombré un cheptel de 1183 UBT.an⁻¹¹⁴ composé à 81% de ruminants ([tableau 10](#)). Le chargement total sur la SAUT était de 2,36 UBT.ha⁻¹.an⁻¹¹⁵.

	UBT.ha ⁻¹ .an ⁻¹ (SAUT)	Importance catégorie animale vis-à-vis du chargement du terroir	Importance de la gestion pratiquée au sein de la catégorie considérée
Bovins	1,82	68,6%	
<i>Transhumants</i>	<i>1,36</i>		<i>74,50%</i>
<i>Embouchés</i>	<i>0,10</i>		<i>5,45%</i>
<i>Sédentaires</i>	<i>0,37</i>		<i>20,05%</i>
Ovins	0,11	4,1%	
<i>Transhumants</i>	<i>0,00</i>		<i>1,70%</i>
<i>Embouchés</i>	<i>0,01</i>		<i>10,72%</i>
<i>Sédentaires</i>	<i>0,09</i>		<i>87,58%</i>
Caprins	0,21	7,9%	
<i>Transhumants</i>	<i>0,00</i>		<i>0,00%</i>
<i>Embouchés</i>	<i>0,00</i>		<i>0,61%</i>
<i>Sédentaires</i>	<i>0,21</i>		<i>99,39%</i>
Ruminants		80,6%	
Equins	0,29	11,0%	
<i>Transhumants</i>	<i>0,01</i>		<i>3,10%</i>
<i>Sédentaires</i>	<i>0,28</i>		<i>96,90%</i>
Asins	0,08	3,1%	
<i>Transhumants</i>	<i>0,03</i>		<i>35,29%</i>
<i>Sédentaires</i>	<i>0,05</i>		<i>64,71%</i>
Volaille	0,01	0,4%	
Porcins	0,13	4,8%	
Monogastriques		19,4%	

Tableau 10: Catégories animales et conduites d'élevage associées concernant le terroir de Sob en 2014
SAUT : Surface Agricole Utile Terroir

¹⁴ Extrapolation aux 114 ménages du terroir de Sob à partir du chargement animal calculé pour les 30 ménages, soit 311 UBT.an-1

¹⁵ Chargement calculé à partir des données de l'échantillon. Le chargement extrapolé étant de 2,18UBT.ha⁻¹.an⁻¹

Trois gestions furent observées suivant les catégories animales (**tableaux 10 et 11**) :

- **La conduite transhumante.** Elle concernait essentiellement les bovins puisqu'ils constituaient 97% du cheptel total en UBT ayant transhumé l'hivernage 2014. Des ânes et chevaux accompagnèrent aussi les troupeaux bovins pour leur fonction de transport de matériel. Les troupeaux restèrent en moyenne 156 jours hors du terroir sur le pas de temps de l'étude. La majorité des troupeaux est revenu courant décembre 2014 pour repartir courant mai 2015. Il fut même observé que quelques troupeaux transhumants n'étaient pas revenus la saison sèche 2014-2015. La raison avancée par ces ménages était l'insuffisance de ressources fourragères en coproduits de pailles et fanes, et herbacées spontanées ayant poussées durant l'hivernage 2014.

Quelques troupeaux de bovins et camélidés transhumants extérieurs au terroir furent également observés. Ils étaient de passage sur le terroir pour l'abreuvoir puis passaient quelques jours sur les aires de parcours environnantes, avant de poursuivre leur route. Leur présence ne fut pas comptabilisée dans l'étude du fait de la durée de séjour réduite et de l'absence d'informations fiables à leur sujet (effectifs et durée de séjour sur le terroir).

- **La conduite d'embouche.** Ce mode de gestion consiste à faire prendre de la masse aux animaux par l'intermédiaire d'une alimentation importante et riche en concentrés (tourteaux d'arachide, aliments enrichis pour bétail, sons divers, etc), pour ensuite les revendre sur les marchés environnants. Les animaux embouchés séjournent à temps complet dans l'enclos. Sur Sob, la pratique d'embouche est principalement une embouche d'achat-revente avec l'extérieur du terroir. Quelques cas d'embouche de finition sur des animaux pris du troupeau traditionnel furent aussi observés. Les bovins furent la principale catégorie animale embouchée (88% du total d'UBT embouchés). L'activité d'embouche était principalement une activité de saison sèche et s'effectua généralement sur une période d'embouche de 3-4 mois pour les bovins. 10% du cheptel ovin fut également géré de cette manière. Dans ce cas, beaucoup d'agriculteurs ont fait juxtaposer la date de fin d'embouche avec la fête religieuse du mouton (*Tabaski*).

La conduite des porcins ressembla aussi à de l'embouche puisque la finalité était identique : prise de poids rapide de l'animal puis vente à l'extérieur du terroir. Les ménages étaient cette fois-ci naisseurs-engraisseurs. Les porcs étaient rationnés avec des concentrés provenant principalement du ménage (résidus de battage du mil essentiellement) mais aussi de l'herbe fraîche et les restes alimentaires quotidiens. Ils étaient parqués en enclos au moins durant la période de culture. Ils étaient laissés à divaguer en saison sèche. Cette pratique d'embouche est principalement une affaire de femme et suivant les ressources monétaires disponibles, l'alimentation apportée provenait plus ou moins des marchés extérieurs. Ainsi les temps d'embouche étaient plus ou moins longs (environ 7 mois d'embouche pour un jeune né sur le terroir) et les cycles d'embouche plus ou moins nombreux.

- **La conduite traditionnelle sédentaire.** Cette gestion concerne les asins et équins qui constituent un moyen de transport toute l'année et une force de travail agricole durant l'hivernage ; les petits ruminants ; et quelques bœufs non transhumants.

Les chevaux peuvent être singularisés au sein de cette gestion car ils constituent une ressource de travail très importante pour les agriculteurs. Ils sont plus appréciés dans toutes les tâches champêtres par rapport à l'âne fatigable plus vite et moins docile. Les équins étaient ainsi mieux rationnés en quantité et qualité, même en saison sèche.

La gestion des ruminants et asins est plus homogène : en hivernage ils sont conduits sur les espaces de pâturage et en saison sèche ils sont laissés autonomes en divagation. Ils peuvent être rationnés en fin de saison sèche lors d'un manque important de nourriture spontanée.

On peut enfin rattacher à cette gestion, celle extensive de la volaille. Elle est laissée libre au sein de la concession toute l'année. Elle est souvent rationnée à base de grains de mil. C'est une activité d'élevage exclusivement féminine.

Une dernière pratique d'élevage observée au sein de quelques ménages fut le maquignonage. Il consiste à acheter-revendre sur les marchés, sans passage obligé des animaux par le foyer. Cette technique est basée sur l'asymétrie d'informations sur la place de marché et consiste à trouver un acheteur acceptant de payer l'animal à un prix plus élevé que le vendeur ne l'a acheté. Elle n'a pas été recensée dans les flux car on considère qu'elle n'entraînait aucune incidence ni sur la structure (effectif du cheptel du terroir), ni les flux de biomasses à l'échelle du terroir (pas de rationnement de l'animal, ni de déjections suffisamment conséquentes).

La charge précédente – 1180 UBT.an⁻¹ – est construite sur le critère d'appartenance de l'animal à un foyer du terroir. Il ne tient pas compte de la présence/absence de l'animal sur le terroir. Or la transhumance saisonnière est une gestion non négligeable puisqu'elle a concerné la moitié du chargement du terroir ([tableau 11](#)).

Gestions rencontrées suivant la catégorie animale	UBT.ha ⁻¹ .an ⁻¹ (SAUT)	Part de la catégorie en gestion vis-à-vis du cheptel terroir	Part de la catégorie vis-à-vis du type de gestion
Catégories transhumantes	1,40	52,65%	
Bovins	1,36	51,14%	97,13%
Ovins	0,00	0,07%	0,13%
Caprins	0,00	0,00%	0,00%
Equins	0,01	0,34%	0,65%
Asins	0,03	1,10%	2,09%
Catégories embouchées	0,11	4,22%	
Bovins	0,10	3,74%	88,49%
Ovins	0,01	0,44%	10,36%
Caprins	0,00	0,05%	1,14%
Catégories traditionnelles sédentaires	1,01	37,89%	
Bovins	0,37	13,76%	36,32%
Ovins	0,09	3,58%	9,44%
Caprins	0,21	7,85%	20,72%
Equins	0,28	10,69%	28,21%
Asins	0,05	2,02%	5,32%
Autres	0,14	5,24%	
Porcins	0,13	4,82%	92,00%
Volaille	0,01	0,42%	8,00%

Tableau 11: Conduites et catégories animales associées sur le terroir de Sob en 2014

1.4. LE SOCIO-SYSTEME PRODUCTIF DE SOB

La communauté humaine de Sob était constituée de 1145 personnes sur l'année 2014, soit 1,91hab.ha⁻¹. Elle est organisée en unités de résidence et unités de production que sont respectivement les concessions et foyers. 58 concessions furent dénombrées avec 2 ménages en moyenne par concession. Ces deux unités d'organisation du socio-système ne sont pas figées dans le temps puisque sur le pas de temps de l'étude, des concessions mono-ménage s'étaient créées ainsi que de nouveaux ménages dans des concessions préexistantes. De la même manière que la littérature le soulignait en 1999 et la tendance à la concession à ménage unique est toujours observable (Guigou 1999).

Les migrations saisonnières – structurelles selon Roch (1975) et Lombard (1999) – les plus couramment observées étaient celles de saison sèche dont les objectifs étaient d'alléger la pression de consommation alimentaire sur la production agricole de l'hivernage passé et d'alimenter l'unité de production en numéraire grâce à un travail extra-agricole (Lombard 1999). Ainsi il fut observé des absences d'actifs partis pour les villes de la cote ou encore

Fatick (préfecture de la région). Ce flux humain fut néanmoins marginal puisqu'il a concerné moins de 5% de la population selon les enquêtes.

2. FLUX D'AZOTE A L'ECHELLE DU TERROIR DE SOB

Les flux d'azote entre compartiments à l'échelle du terroir de Sob sont représentés sur la **figure 6**. A l'échelle territoriale, si on considère la somme totale des flux d'azote inter-compartiments durant le pas de temps de l'étude, 36,2% de ce total a été échangé avec l'environnement extérieur au terroir, alors que 63,8% ont été échangés entre ses compartiments constitutifs.

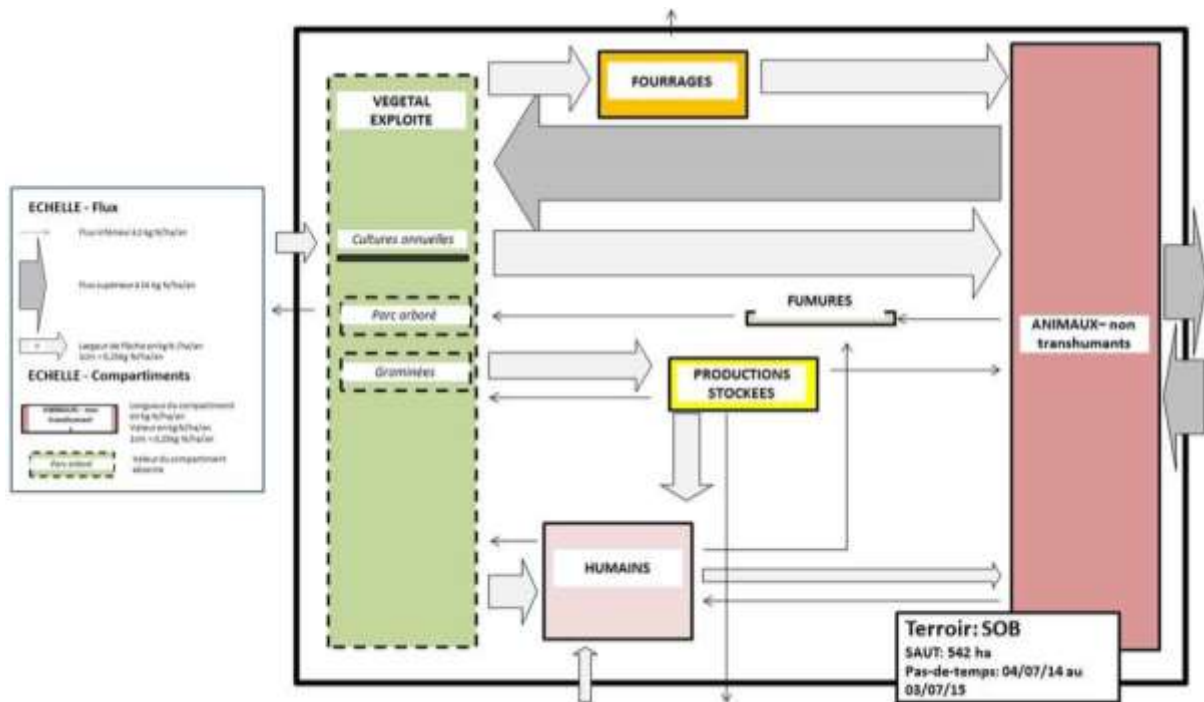


Figure 6: Schéma stock-flux apparents d'azote du terroir de Sob

2.1. TRANSFERTS DE FERTILISANTS VERS L'AIRE CULTIVEE : LE CHEPTTEL, VECTEUR PRINCIPAL

A l'échelle du terroir, les flux de fertilisants vers l'aire cultivée proviennent de 4 compartiments bio-fonctionnels : les animaux via les dépôts directs de fèces et d'urine ; le stock de fumures organiques via épandage ; les humains via l'épandage direct de déchets ménagers divers ; et l'environnement extérieur au terroir via l'achat de fertilisants minéraux. Leur somme représente 18% de l'azote total ayant circulé sur le terroir pendant le pas de temps de l'étude.

Le cheptel constitue le principal vecteur – direct via les pratiques de parcage nocturne et divagation, et indirect via la production de fumier – de transfert de fertilisants à destination de l'aire cultivée puisque 78% de l'azote total introduit sur les parcelles provient des animaux. Sur cette quantité introduite, 14% provient de la pratique du parcage nocturne et 86% de sa divagation en saison sèche (**tableau 12**).

Compartiment d'origine	Nature du flux composite/sous-flux	Azote (kgN.ha ⁻¹ .an ⁻¹)	%
Animal	Dépôt direct de déjections sur aire cultivée	24,25	
	- Prélèvements bouses de vaches comme combustibles	- 6,80	
	= Déjections effectivement destinée à l'aire cultivée	= 17,45	72,79%
	<i>via parcage nocturne</i>	2,40	13,73%
	<i>via divagation en saison sèche</i>	15,05	86,27%
Fumures	Fumures épandues	1,38	5,74%
Humain	Déchets pour épandage aire cultivée	0,83	3,46%
Extérieur terroir	engrais achat	4,32	18,02%

Tableau 12: Importances et origines des fertilisants à destination de l'aire cultivée du terroir de Sob

Le parcage nocturne était essentiellement pratiqué avec les bovins et majoritairement en saison sèche. La peur de se faire voler son bétail, et particulièrement les petits ruminants, fut la principale raison avancée. Quelques cas marginaux de parcage sur les champs de case furent néanmoins observés pour les caprins. En hivernage, lorsque le parcage nocturne est pratiqué, il était opéré sur des parcelles laissées en jachère. Sur Sob, les jachères sont annuelles et l'hivernage dernier elles représentaient 3% de la SAUT. Elles correspondaient à une surface moyenne de 0,45ha¹⁶. La jachère ne constituait qu'un lieu de séjour pour la nuit. En journée les bœufs étaient systématiquement amenés par des bergers sur les meilleurs espaces pour paître. Plusieurs organisations furent observées suivant les ménages qui parquaient leur troupeau : de manière individuelle à l'échelle d'un seul ménage, ou collective à l'échelle de plusieurs ménages de la même concession, voire de concessions différentes. Dans ces deux cas de gestion collective, le troupeau était déplacé sur les champs de chaque ménage (de l'ordre de un ou deux par ménage suivant la durée de séjour du troupeau sur le terroir avant le départ en transhumance). Egalement, une pratique peu répandue de confiage fut observée avec certains ménages faiblement dotés en têtes de bétail. Ces derniers les confiaient à un ménage ayant un troupeau plus important, qui profitait alors d'un effectif plus grand pour fumer ses parcelles.

Concernant la pratique de collecte, stockage et épandage de fumiers, elle fut faite à partir du mélange des déjections produites par les animaux séjournant à l'enclos (ruminants d'embouche, ruminants traditionnels, et asins/équins) et des restes d'affouragement pailleux non consommés. Cependant aucune pratique de litière pailleuse à l'enclos ne fut observée, et la majorité des canes de mil et sorgho étaient récupérées comme combustible par le foyer. Dans la majorité des cas on remarqua la séparation en plusieurs tas de fumure suivant les catégories animales les ayant produits. Ainsi ceux provenant des bovins sont souvent séparés de ceux des asins/équins. La fumure issue des petits ruminants est soit individualisée elle aussi, soit mélangée au tas des asins/équins. Les déjections de la volaille ou des porcins ne faisaient pas l'objet d'un tas en particulier. Dans le meilleur des cas, les fientes de volailles étaient récoltées lors du balayage de la cour du foyer et déposées sur le tas de déchets ménagers (individualisé ou mélangé à l'un de ceux cités plus haut), ou directement épandues sur les champs de cases du foyer. Suivant le tas, la destination du fumier sur l'aire cultivée n'est pas la même. Ainsi celui composé d'excrétas de bovins est largement préféré pour les champs de pastèques. Le tas issu des déjections des asins/équins est le moins apprécié. Son épandage augmenterait les risques d'infestation du champ par des insectes phytophages ou de parasitage par le striga (*Striga hermonthica* (Del.) Benth.) dans le cas des céréales.

Enfin, on nota qu'une partie du flux lié au dépôt de fèces par le cheptel était détournée suite aux prélèvements des habitants de Sob pour l'utiliser comme combustible. Les parcelles

¹⁶ Moyenne effectuée sur l'échantillon sur 9 parcelles déclarées en jachère annuelle lors de l'hivernage 2014

principalement touchées furent les champs de brousse sur lesquels du bétail avait été parqué. Les raisons sont bien sûr la forte concentration en bouses sur ces parcelles ci mais aussi la possibilité de récolter les excréments à l'abri des regards. Malgré le fait que cette pratique soit très répandue parmi les ménages, elle n'est pas appréciée. Pour preuve, certains foyers ont déclaré avoir réduit en morceaux les bouses déposées sur leurs champs de case afin de conserver la matière organique déposée et ses effets fertilisants. Ainsi cette pratique tend plus à diminuer les forts dépôts en champs de brousse que de réduire uniformément la quantité déposée par divagation sur l'aire cultivée. En moyenne $1808\text{kgMS.foyer}^{-1}$ aurait ainsi été récupéré sur la surface totale du terroir, soit en moyenne 425kgMS.ha^{-1} (soit $6,80\text{kgN.ha}^{-1}$). Cette biomasse représenterait un détournement de 28% en azote du total déposé par le cheptel via parcage et divagation.

2.2. GESTIONS DU CHEPTEL : LOCALISATIONS & ALIMENTATIONS

Chacune des gestions rencontrées fut associée à des pratiques spécifiques en termes de nature d'alimentation et de localisation spatio-temporelle sur les différentes aires paysagères du terroir ([tableau 13](#)).

Les ruminants d'embouche séjournent à l'enclos jour et nuit du début de la pratique jusqu'à leur vente à l'extérieur du terroir. Leur alimentation est très riche en concentrés et fourrages. Cette activité d'élevage se fait principalement pendant la saison sèche du fait de la disponibilité des fourrages tout juste récoltés et d'un calendrier de travail beaucoup moins rempli par rapport à la période de culture.

Les animaux de trait résident à l'enclos principalement la nuit. Les étalons et ânes mâles y résident aussi la journée pour éviter la saillie des femelles. Ils sont sortis uniquement pour effectuer les travaux champêtres en hivernage et assurent également les transports en charrette toute l'année. En hivernage, les ânesses et juments sont généralement parquées sur les espaces de pâturage (bas-fonds, *ped*). En saison sèche elles sont laissées à divaguer. Les juments sont souvent ramenées à la concession en fin de saison sèche pour être nourries et ainsi mieux préparées à la période des travaux champêtres. Les ânesses au contraire peuvent être laissées en divagation jour et nuit jusqu'aux premières pluies. Il est crucial d'avoir un étalon prêt pour les travaux champêtres ou pour le transport en charrette. Aussi ils reçoivent une alimentation conséquente toute l'année en grains de mil et un affouragement important (fanés et sous-produits de transformation du mil, de l'arachide ou du niébé). Le rationnement est similaire pour les juments, ânesses et ânes mais en proportion moindre.

Les ruminants gérés en système traditionnel sédentaire ou transhumant sont généralement laissés à divaguer durant la saison sèche. Leur alimentation est alors basée sur les résidus de récoltes laissés pour la vaine pâture et la ressource herbacée spontanée. Ils peuvent éventuellement être guidés par des bergers sur les meilleures zones de parcours enherbées du terroir ou en dehors. Ils sont parqués la nuit sur les parcelles du ménage (au moins pour les bovins) ou ramenés à l'enclos. Ils peuvent alors bénéficier d'un affouragement complémentaire. En hivernage les troupeaux n'étant pas partis en transhumance (principalement les petits ruminants), sont conduits dans les meilleures zones en herbe pour pâturer et s'abreuver. Des sorties temporaires hors du terroir sont également régulières durant cette saison.

La ressource herbacée s'amenuise durant la saison sèche pour quasi disparaître vers fin juin. La soudure atteint son paroxysme vers début juillet (*Sara'ndam* en sereer), début des premières pluies efficaces. Dès les premières averses les habitants sont sommés d'attacher

leur troupeau à l'enclos. Cette mise en défens générale du terroir doit permettre à la végétation spontanée de lever. Les stocks restants de fanes et pailles sont alors intensément utilisés. Le parc arboré est lui aussi mis à contribution. Les feuillages de baobabs (*Adansonia digitata* L.) et de micocouliers d'Afrique (*Celtis integrifolia* Lam) font partie des espèces les plus utilisées pour l'affouragement des animaux. Passé une quinzaine de jours les animaux pouvant sortir – juments, ânesses, ruminants traditionnels sédentaires –, ils sont amenés en parcage ou guidés par des bergers sur les différentes zones herbeuses non cultivées.

Deux types de sorties saisonnières du terroir sont à noter (hors vente) : celle liée au départ en transhumance et celle liée aux déplacements réguliers sur les bas-fonds situés sur les terroirs limitrophes. Ces deux sorties temporaires sont synonymes de pertes de biomasses fécales pour le terroir. Ainsi la transhumance serait responsable d'un manque de presque 1,5tN¹⁷ à l'extérieur du terroir et les déplacements journaliers en dehors du terroir de 0,8tN¹⁸. La somme représenterait 50% du total ayant été déposé en parcage et divagation sur le terroir lors de l'année d'étude.

¹⁷ Valeurs obtenues à partir de l'extrapolation des données de l'échantillon représentatif de Sob

¹⁸ Valeurs obtenues à partir de l'extrapolation des données de l'échantillon représentatif de Sob

		Périodes											
		Sara'ndam		Ndig		Sek			Iid				
Gestion & catégorie animale		J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J
Localisation	Ruminants transhumants	Absent du terroir					(Retours de transhumance entre décembre et Janvier) Divagation diurne ou conduite avec berger Parcage nocturne (Départs en transhumance entre Avril, Mai, Juin)						
Alimentation		×					Vaine-pâture						Affouragement pailleux de pré-départ
Localisation	Ruminants traditionnels	Parcage diurne sur aires non cultivées ou conduite avec bergers (majoritaire) Nuit à l'enclos, voire parcage sur jachère (peu observé; réservé aux bovins)					Divagation diurne ou conduite avec berger Nuit à l'enclos; voire parcage nocturne (bovins majoritairement)						
Alimentation		émondages baobabs	Pâture sur aires non cultivées				Vaine-pâture et émondages; complémentation en concentrés de fin de saison sèche pour les plus faibles						
Localisation	Animaux de trait traditionnels (mâles)	Jour et nuit à l'enclos + travaux champêtres					Jour et nuit à l'enclos						
Alimentation		Affouragement en herbacées et grains de mil			Fanes de légumineuses et grains de mil				Pailles de céréales ou fanes de légumineuses et grains de mil				
Localisation	Animaux de trait traditionnels (femelles)	Parcage diurne sur aires non cultivées (majoritaire) ou conduite avec bergers + travaux champêtres Nuit à l'enclos					Divagation diurne Nuit à l'enclos						
Alimentation		Affouragement en herbacées			Fanes de légumineuses				vaine-pâture, voire pailles de céréales ou fanes de légumineuses				
Localisation	Ruminants embouchés	Jour et nuit à l'enclos											
Alimentation		Concentrés et pailles de céréales											
Localisation	Porcs	Jour et nuit à l'enclos					Divagation jour et nuit						
Alimentation		Affouragement en herbacées; restes alimentaires et concentrés					Restes alimentaires et concentrés						
Localisation	Volaille	Divagation au sein de l'aire d'habitat											
Alimentation		Grains de mil											

Tableau 13: Alimentations et localisations saisonnières principalement rencontrées selon la catégorie animale et la gestion associée

Note : Le tableau commence en Juillet, mois où l'hivernage débute. Il termine courant Octobre. Les derniers travaux aux champs (récoltes des fanes d'arachide) terminent fin décembre.

2.2.1. ORIGINES DU FOURRAGE

Sur l'ensemble des fourrages ayant été produit sur le terroir de Sob, 96% en N, a été récolté pour être stocké et ainsi assurer l'affouragement du cheptel. Seulement 2% de la biomasse fourragère (en azote) fut laissée sur l'aire cultivée pour la vaine-pâture. Elle fut constituée en majorité de pailles de céréales. Sur l'ensemble du fourrage consommé lors du pas de temps de l'étude, 2% en azote venait de l'extérieur du terroir (uniquement de la fane d'arachide et de la paille de mil) (**tableau 14**).

Origine et destination des coproduits récoltés	Biomasse	N
Coproduits récoltés & stockés	91,42%	95,80%
Coproduits récoltés & vendus à l'extérieur terroir	0,26%	0,29%
Coproduits laissés pour vaine-pâture saison sèche 2015	6,30%	1,68%
Coproduits achetés à l'extérieur terroir	2,03%	2,23%

Tableau 14: Importances des finalités des fourrages ayant circulés sur le terroir de Sob sur le pas de temps de l'étude

2.2.2. LA PRATIQUE DE L'EMBOUCHE ET SA DEPENDANCE A L'EXTERIEUR DU TERROIR

La description du cheptel du terroir a mis en évidence que 4% du chargement annuel fut géré en embouche l'année de l'étude. Cette gestion d'élevage est caractérisée par un rationnement important en quantité et qualité à base de concentrés au sens large (sons, tourteaux, aliment pour bétail) et de fourrages. La comparaison du rationnement des lots embouchés par rapport à ceux gérés en transhumance ou sédentaire traditionnel le confirme. La prise alimentaire est en moyenne cinq fois supérieure (en kgN.UBT⁻¹) pour les lots embouchés. Egalement on constate que cette pratique, au travers de l'origine des aliments, dépend pour presque moitié d'achats en concentrés faits sur les marchés extérieurs au terroir (**tableau 15**).

Aliments	Animaux embouchés	Animaux autres gestions
Alimentation provenant de l'extérieur du terroir		
Concentrés	46,25%	6,53%
Fourrages	0,28%	1,41%
Alimentation herbacée	0,00%	2,71%
Total	46,53%	10,65%
Alimentation provenant du terroir de Sob		
Sous-produits de transformation et produits agricoles	7,86%	10,86%
Coproduits agricoles	29,00%	52,42%
Affouragement en vert et prélèvements arborés	16,61%	24,05%
Vaine-pâture	0,00%	2,02%
Total	53,47%	89,35%
Rationnement total (en kgN.UBT⁻¹)	44,57	8,89

Tableau 15: Natures et importances du rationnement moyen des catégories embouchées par rapport à celles sédentaires et transhumantes (catégories porcs et volailles non comprises)

2.3. LIENS AVEC L'ENVIRONNEMENT EXTERIEUR (HORS BETAIL)

Le terroir a entretenu lors du pas de temps de l'étude des liens avec son environnement extérieur via des flux de différentes natures :

- liés au cheptel : échanges d'effectifs animaux, achats de concentrés pour bétail et fourrages, échange de biomasses via prélèvements autonomes en dehors du terroir pour les animaux non transhumants et déjections associées, retour/départ des animaux transhumants
- liés à l'aire cultivée : échanges de semences, de produits et coproduits agricoles et achat d'engrais minéraux
- liés au socio-système : achats d'aliments et combustibles

2.3.1. *DEPENDANCE DU SOCIO-SYSTEME A L'ENVIRONNEMENT EXTERIEUR AU TERROIR*

Intéressons-nous à la dépendance du socio-système au travers de ses consommations. Les entrées d'aliments et de combustibles à destination de la population ont constitué 9% des entrées totales d'azote sur le terroir. Cette dépendance fut en premier lieu alimentaire, et essentiellement due à l'achat de riz (100% du riz consommé fut acheté à l'extérieur de Sob). Pour les ménages les plus aisés monétairement, il constitua le déjeuner journalier durant toute l'année. A côté de cet achat régulier, on retrouve l'achat de mil en seconde position. Il constitue un achat complémentaire de fin de saison sèche/début d'hivernage pour les ménages dont la production n'a pas tenu jusqu'aux récoltes de l'hivernage 2015¹⁹. Il constitua presque 10% du mil consommé annuellement sur le terroir (**tableau 16**).

Aliments	Part relative par rapport au total des entrées de consommables sur le terroir en azote	Pourcentage de dépendance alimentaire à l'environnement extérieur au terroir (1)
Grains riz	39,48%	100%
Grains mil	25,43%	9%
Grains maïs	8,48%	100%
Grains sorgho	0,00%	0%
Grains niébé	0,01%	0%
Grains arachide	3,74%	3%
Poisson	22,86%	100%
Sucre	0,00%	100%
Charbon de bois	0,00%	100%

Tableau 16: Dépendance du socio-système en termes de consommables vis-à-vis du total entré depuis l'extérieur du terroir

(1) part de l'achat sur la production locale récoltée non vendue

2.3.2. *FINALITES DES PRODUCTIONS AGRICOLES*

Les cultures de l'arachide, niébé et pastèque ont été désignées jusqu'à présent comme cultures de rente. Le **tableau 16** montre sur Sob que cette acception est à nuancer pour toutes les cultures, excepté la pastèque et le maraichage. 75% de l'arachide et 90% du niébé ont été conservés sur le terroir comme produit alimentaire ou semences pour l'hivernage suivant. En particulier pour l'arachide, personne n'a déclaré vendre à une quelconque coopérative. Les seules ventes sporadiques furent faites lorsque des commerçants se déplaçaient sur le terroir à la recherche de ce produit, ou quand le ménage est allé vendre sa production sur les marchés environnants. Il n'y a également aucun organisme fournisseur de « bonnes » semences et presque tous les agriculteurs triaient et gardaient leurs meilleures graines pour l'hivernage suivant. Au contraire, Presque 90% de la pastèque fut vendue à des marchands étrangers au terroir. Courant septembre, lors de la période de récolte, une multitude de commerçants viennent sur le terroir marchander les champs de pastèques prêts à être récoltés. Une fois l'accord trouvé, ils repartent approvisionner les centres urbains alentours. Les produits de maraichage sont également destinés principalement à la vente. Ce sont principalement des piments, des tomates et des aubergines qui sont vendus sur le marché le plus proche de Niakhar.

¹⁹ La récolte des épis se fait courant octobre 2015.

Produits agricoles et finalités	Allocation des récoltes selon les finalités observées
Arachide (produit entier) - quantité autoconsommée ou gardées comme semences	73%
Total arachide (produit entier) - quantité vendue	27%
Niébé (produit entier) - quantité autoconsommée ou gardées comme semences	91%
Total niébé (produit entier) - quantité vendue	9%
Bissap (produit entier) - quantité autoconsommée	95%
Bissap (produit entier) - quantité vendue	5%
Pastèque (produit entier) - quantité autoconsommée	12%
Pastèque (produit entier) - quantité autoconsommée	88%
Maraichage - quantité autoconsommée	3%
Maraichage - quantité vendue	97%

Tableau 17: Destinations des cultures, dites de rente, sur le terroir de Sob

3. BILANS ET EFFICIENCES PLURI-ECHELLES DU TERROIR DE SOB

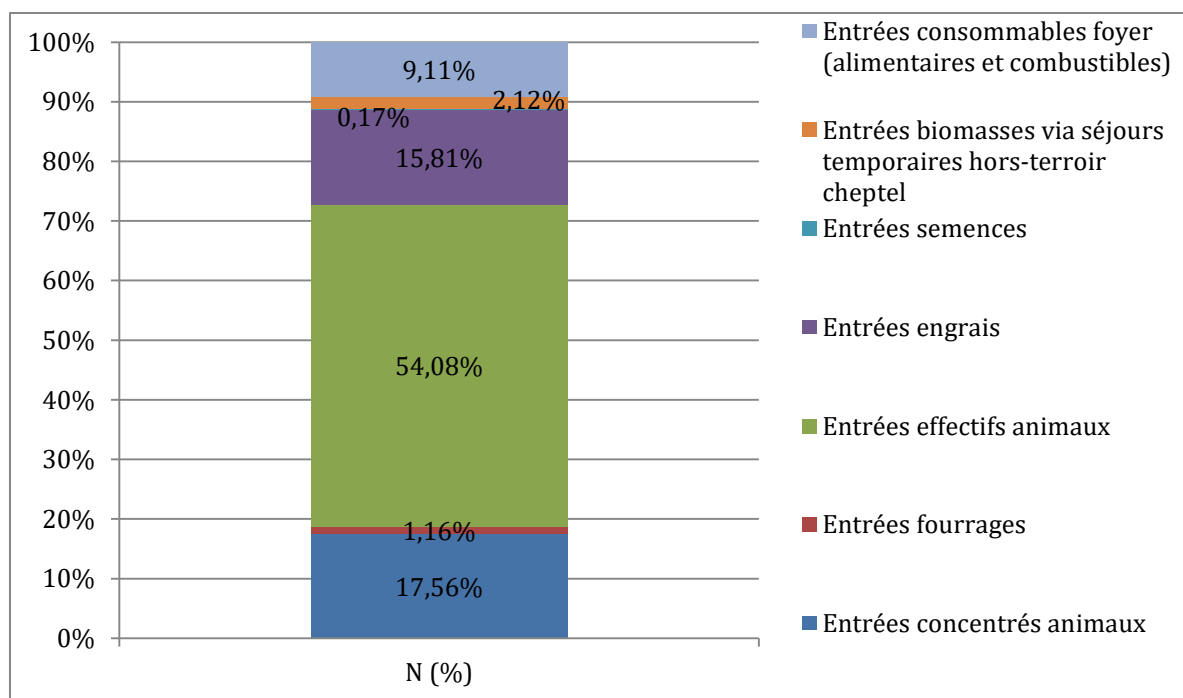
Indicateurs	Echelle de la parcelle			Echelle du foyer			Echelle du terroir
	Moyenne	Ecart-type	Nombre observations	Moyenne	Ecart-type	Nombre observations	
Bilan d'azote apparent (en kgN.ha ⁻¹ .an ⁻¹)	-9,01	28,09	204	12,09	22,29	30	4,10
Entrées d'azote (en kgN.ha ⁻¹ .an ⁻¹)	18,50	25,06		55,91	108,05		24,37
Sorties d'azote (en kgN.ha ⁻¹ .an ⁻¹)	27,51	15,73		43,83	99,28		20,27
Efficiences azotées apparentes (sans unité)	3,65	3,09		0,77	0,58		0,83

Tableau 18: Bilans et efficacités azotés aux échelles du terroir, du foyer et de la parcelle sur le terroir de Sob

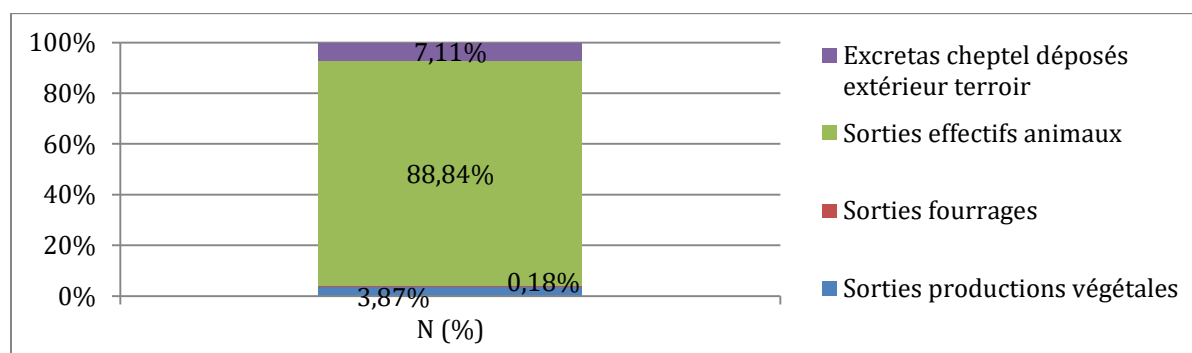
3.1. ECHELLE TERROIR

A l'échelle terroir, le calcul du bilan azoté apparent – c'est-à-dire la différence entre les entrées et sorties de matières apparentes converties en azote – a été positif sur le pas de temps de l'étude. En termes d'efficacité – c'est-à-dire ce qu'une unité azotée injectée dans le système terroir a produit en sortie –, on note qu'une unité d'azote apportée au terroir en rend 0,83 (**tableau 18**).

L'étude de la nature des flux d'azote ayant circulés entre le terroir et son environnement extérieur révèle que le système d'élevage, à l'échelle de Sob, a constitué le principal vecteur d'entrées avec 57% de l'azote total entré sur le pas de temps de l'étude, et de sorties avec 95% (**graphiques 1 et 2**).



Graphique 1: Proportion des flux apparents entrants en azote sur le terroir de Sob



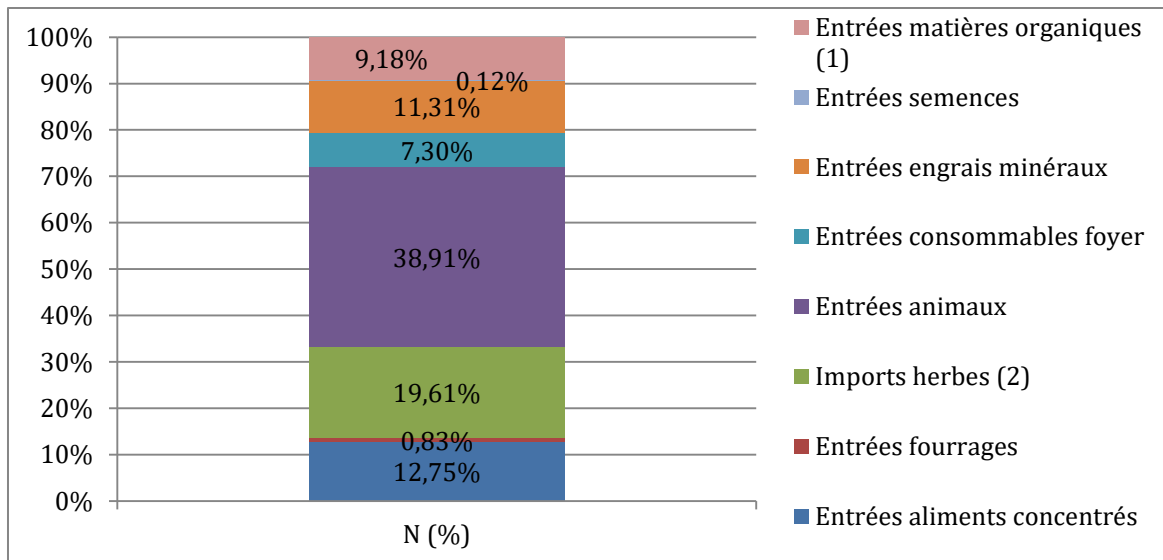
Graphique 2: Proportion des flux apparents sortants en azote sur le terroir de Sob

3.2. ECHELLE FOYER

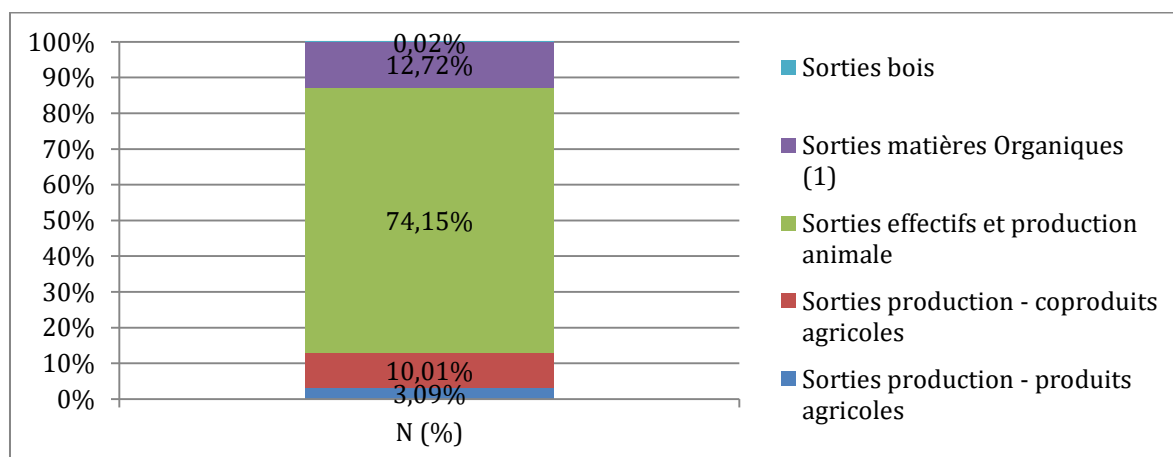
3.2.1. CHIFFRES SYNTHETIQUES ET OBSERVATION GRAPHIQUE

A l'échelle du foyer, le bilan d'azote est significativement positif selon un test de Student ($p < 0,05$) et vaut $12 \text{kgN} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{an}^{-1}$ et l'efficacité azotée de 0,77 (**tableau 18**).

En prenant en compte l'échange d'effectifs, et le rationnement global, le cheptel constitue de nouveau le vecteur majoritaire des flux apparents d'azote. Il agrège respectivement 72% et 74% de l'azote entré et sorti à l'échelle du système foyer (**graphique 3 et 4**).



Graphique 3 : Proportion des flux apparents entrants en azote à l'échelle foyer pour le terroir de Sob
 (1) Explication détaillée de la nature du flux et son calcul en méthodologie (section 3.1.1.2.)
 (2) idem.



Graphique 4 : Proportion des flux apparent sortants en azote à l'échelle foyer pour le terroir de Sob
 (1) Explication détaillée de la nature du flux et son calcul en méthodologie (section 3.1.1.2.)

3.2.2. ANALYSE STATISTIQUE DES QUINTILES EXTREMES

Intéressons-nous aux foyers présents dans les premier et cinquième quintiles pour tenter de faire correspondre les valeurs extrêmes avec d'éventuelles structures et fonctionnements communes.

Concernant le système d'élevage, on constate des sorties de bétail supérieures aux entrées pour les deux quantiles. La différence est particulièrement prononcée pour les foyers aux bilans les plus négatifs. On peut considérer qu'ils furent en déstockage d'effectifs animaux sur l'année d'étude. Pour les foyers du 5ème quintile, les échanges d'effectifs semblent plus à l'équilibre. Ajouté aux entrées de fourrage et aliments pour bétail élevées, on peut supposer que l'activité d'élevage est importante en terme commercial pour ces foyers-ci ([tableau 19](#)).

Indicateurs de flux	Foyers 1er quintile	Foyers 5eme quintile
Bilan moyen	-15,34	40,63
Efficienc e moyenne	1,69	0,46
Entrées moyennes (kgN.ha⁻¹.an⁻¹)	41,99	138,06
Concentrés achetés/reçus	3,15	9,28
Fourrages achetés/reçus	7,66	8,03
Alimentation ménage achetée/reçue	1,02	27,83
Engrais minéraux achetés/reçus	4,48	4,75
Semences achetées/reçues	0,00	0,20
Animaux achetés/reçus	20,80	85,28
Entrée matière organique (1)	4,32	1,01
Bois acheté/reçu	0,55	1,67
Sorties moyennes (kgN.ha⁻¹.an⁻¹)	57,33	97,43
Productions agricoles vendues/données	0,61	0,02
Fourrages vendus/donnés	2,43	4,18
Animaux vendus/donnés	44,50	92,97
Sortie matière organique (2)	9,79	0,27
Bois vendu/donné	0,00	0,00

Tableau 19: Fonctionnements moyens des ménages situés dans les 1er et 4ème quintiles (respectivement ayant les bilans les plus négatifs et les plus positifs)

- (1) Cette entrée composite fait référence à la biomasse prélevée par le cheptel divaguant du ménage hors de son parcellaire d'usage lors de la saison sèche, ainsi qu'aux dépôts de fèces par le cheptel extérieur au ménage sur son parcellaire d'usage (si coproduits laissés pour vaine pâture).
- (2) Cette sortie composite fait référence aux fèces déposées par le cheptel divaguant du ménage à l'extérieur du parcellaire d'usage du ménage lors de sa prise alimentaire de saison sèche.

3.3. ECHELLE PARCELLE

A l'échelle parcelle, le bilan moyen est statistiquement inférieur à 0 selon un test de Student ($p < 0,05$). La distribution des valeurs (**graphique 5**) montre une large dispersion des bilans avec une étendue $252 \text{ kgN.ha}^{-1}.\text{an}^{-1}$. Malgré tout 75% des valeurs sont négatives. La majorité des parcelles de Sob a donc eu un export d'azote sur l'année d'étude (**graphique 5**).

Si on différencie les bilans des champs appartenant respectivement aux auréoles des champs de case et champs de brousse, ils sont statistiquement différents selon un test de Student (avec $p < 0,05$) et positifs pour la première auréole entourant les habitations alors qu'ils sont négatifs pour la seconde (**graphiques 6 et 7**).

Intéressons-nous aux parcelles dont les bilans d'azote sont situés dans les 1^{er} et 5^{ème} quintiles (respectivement bilans les plus négatifs et les plus positifs) (**tableau 20**). On note que le 1^{er} quintile regroupant les parcelles aux bilans les plus négatifs, sont à 97% situées sur l'auréole des champs de brousse et furent principalement cultivées en arachide, souvent associée avec niébé et bissap, lors de l'hivernage 2014. En termes de fertilisation, aucun apport de fertilisants minéraux ne fut observé sur ce groupe de parcelles. Concernant les pratiques de fertilisations organiques – à destination des cultures de l'hivernage suivant (2015) –, on a constaté que sur les neuf parcelles ayant reçu un apport de fumier (apport moyen de $5,1 \text{ kgN.ha}^{-1}$), quatre allaient être semées en pastèques et six en céréales. En ce qui concerne le parcage, seulement deux en ont bénéficié (dépôt moyen de $4,6 \text{ kgN.ha}^{-1}$) et était destiné à une culture de céréales pour l'hivernage suivant (2015). Enfin aucun coproduit ne fut laissé pour la vaine-pâture, ce qui a entraîné un très faible passage en saison sèche des animaux laissés à divaguer.

Les 41 parcelles du 5^{ème} quintile (*i.e.* ayant eu les bilans d'azote les plus élevés) ont une occupation de sol plus diverse en 2014 (pour moitié des céréales ou de la pastèque). En termes de fertilisation, 75% des parcelles du 5^{ème} quintile ont profité d'un apport de fertilisants minéraux en hivernage 2014 ; 32% ont profité d'un parcage nocturne (dépôt moyen de 55 kgN.ha^{-1}) ; et enfin 39% d'un apport de fumier (apport moyen de 11 kgN.ha^{-1}).

La comparaison des valeurs d'entrée et de sortie du bilan azoté montre que les parcelles constituant le 5^{ème} quintile ont eu les entrées en azote les plus importantes (6 fois plus importantes que pour les parcelles du 1^{er} quintile), mais aussi les sorties les moins importantes (1,6 fois moins importantes). Le 5^{ème} quintile regrouperait des parcelles qui ont eu de faibles récoltes, à l'inverse de celles au bilan négatif.

Concernant le 1^{er} quintile aux sorties en azote relativement élevées, les légumineuses ont occupées 83% des parcelles. Une hypothèse pourrait provenir de la capacité de ces plantes à fixer l'azote atmosphérique, qui aurait pu procurer une autre source d'azote, et donc à participer à de relatives bonnes récoltes.

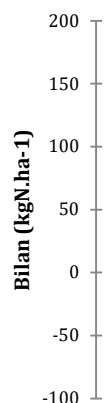
Concernant les parcelles du 5^{ème} quintile, Elles furent semées à 40% en pastèque. Or cette dernière n'est composée qu'à $8,9 \times 10^{-2}\%$ de MS. Et à $8,7 \times 10^{-4}\%$ d'azote par kilogramme de MS. On pourrait donc supposer que les exports en produits sont faibles en termes d'azote et qu'ils participent à de faibles exports à l'échelle du quintile

De manière générale, on peut également rappeler deux points :

- le bilan azoté correspond à la différence des entrées et sortie sur une période d'un an. Or les parcelles sont insérées dans des rotations d'apport de fertilisants – en particulier sur l'auréole des champs de brousse – qui possèdent des cycles sur plusieurs années. Les notions d'arrière effet de la fumure ou de stock résiduel de matière organique du sol ne sont donc ni étudiés ni perceptibles dans le cadre de l'étude. Cet aspect pourrait donc expliquer les rendements importants des parcelles du 1^{er} quintile malgré des apports relativement faibles durant l'année d'étude.
- Les flux verticaux de pertes azotées n'ont pas été abordés. Ainsi les pertes et apports opérés lors des processus physico-biochimiques n'apparaissent pas. En particulier, les pertes par lessivage et lixiviation lors de premières pluies ou encore les celles par volatilisation de l'azote sous l'action du rayonnement solaire.

Indicateurs	Parcelles 1er quintile	Parcelles 5ème quintile
Nombre observations	41	41
Part de la SAUT	18,13%	18,07%
Localisation spatiale		
Champs de case	7%	43%
Champs de brousse	93%	57%
Occupations de sol 2014		
Céréales	17%	47%
Légumineuses	83%	13%
Bissap	0%	0%
Pastèque	0%	40%
Indicateurs	kgN.ha ⁻¹ .an ⁻¹	kgN.ha ⁻¹ .an ⁻¹
Bilans moyens	-40,42	29,95
Flux d'entrée	8,53	52,85
<i>Semences</i>	3,31	1,56
<i>Engrais minéraux</i>	0,00	21,33
<i>Fumures organiques</i>	5,22	29,96
Flux de sortie	51,02	22,90
<i>Co produits récoltés</i>	21,84	4,76
<i>Produits agricoles récoltés (produits entiers)</i>	14,12	5,02
<i>Prélèvements en vaine pâture</i>	0,18	0,33
<i>Prélèvements manuels</i>	12,80	12,80

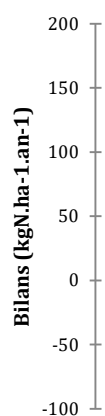
Tableau 20: Description des parcelles dont les bilans apparents d'azote appartenant aux 1er et 5ème quintiles



Légende : points bleus : extrema ; croix rouge : moyenne ; barres horizontales boîte (de haut en bas) : 3^{ème} quartile, médiane et 1^{er} quartile

Statistique	Bilans azotés apparents (kgN.ha-1)
Nb. d'observations	206
Minimum	-82,20
Maximum	174,94
1er Quartile	-22,27
Médiane	-11,94
3ème Quartile	-0,95
Moyenne	-9,01
Variance (n-1)	789,30
Ecart-type (n-1)	28,09

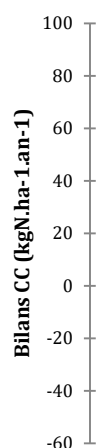
Graphique 5: Distribution des valeurs de bilans azotés apparents des parcelles de l'aire cultivée du terroir de Sob



Légende : points bleus : extrema ; croix rouge : moyenne ; barres horizontales boîte (de haut en bas) : 3^{ème} quartile, médiane et 1^{er} quartile

Statistique	Bilans azotés apparents (kgN.ha ⁻¹ .an ⁻¹)
Nb. d'observations	164
Minimum	-82,2
Maximum	174,94
1er Quartile	-25,19
Médiane	-15,07
3ème Quartile	-4,12
Moyenne	-12,50
Variance (n-1)	759,74
Ecart-type (n-1)	27,56

Graphique 6: Distribution des valeurs de bilans azotés apparents des champs de brousse du terroir de Sob



Légende : points bleus : extremas ; croix rouge : moyenne ; barres horizontales boîte de haut en bas : 3^{ème} quartile, médiane et 1^{er} quartile

Statistique	Bilans azotés apparents (kgN.ha ⁻¹ .an ⁻¹)
Nb. d'observations	41
Minimum	-51,303
Maximum	83,367
1er Quartile	-8,698
Médiane	2,286
3ème Quartile	12,200
Moyenne	5,323
Variance (n-1)	683,699
Ecart-type (n-1)	26,148

Graphique 7: Distribution des valeurs de bilans azotés apparents des champs de case du terroir de Sob

4. ETAT ET FONCTIONNEMENT COMPARES DES TERROIRS DE SASSEM, BARRY SINE ET SOB

L'étude menée en 2013 par Odru et al. sur le terroir Diohine s'est cantonnée à l'un de ses quartiers : celui de Sassem. Ce terroir est en effet divisé en plusieurs quartiers constitués d'une population à l'activité agricole plus ou moins importante. Le quartier de Sassem a conservé ce caractère agricole de façon dominante (Odru et al. 2013). On maintiendra cette précision de lieu dans la suite du rapport.

Les études menées sur les terroirs de Sob et Barry Sine se sont faits quant à elles à l'échelle des terroirs.

4.1. STRUCTURE DES TERROIRS

4.1.1. UN PAYSAGE SEMBLABLE A L'ECHELLE DES TERROIRS

En première observation, les trois terroirs possèdent un environnement écologique semblable : un paysage topographiquement plat constitué de sols variant d'une texture sableuse sur les dunes à différents gradients sablo-argileux dans les dépressions topographiques. Le climat est sensiblement le même, à savoir un climat semi-aride avec un régime de précipitation monomodal s'étalant de Juin-Juillet à Octobre-Novembre. Il est caractérisé par sa forte variabilité spatio-temporelle. La végétation est constituée d'une savane arborée avec une prédominance de *Faidherbia albida* sur l'aire cultivée. L'activité agricole s'est développée traditionnellement sur les dunes au sol sableux drainant. L'introduction de la mécanisation légère des unités de production agricole suite à la colonisation du XXème siècle constitue l'un des facteurs qui contribua à une extension de l'aire cultivable. Aujourd'hui les sols à structure plus compacte d'interdune sont également mis en valeur. Les cultures principales sont à base de céréales et d'arachide. Elles sont gérées en système pluvial durant les trois à quatre mois d'hivernage.

Dans le détail, le quartier de Sassem possède deux unités paysagères singulières par rapport aux autres terroirs : la présence d'un marigot²⁰ représentant 25% de la surface totale du terroir, et celle d'une jachère dont la localisation et la superficie sont décidées traditionnellement chaque année de manière collective par le conseil villageois (appelée *aire de pâturage* dans le **tableau 21**). Elle est à distinguer de la jachère individuelle (*jachère hivernage n-1* dans le tableau).

La surface du terroir utilisée pour l'agriculture pluviale ou maraichère diverge suivant les terroirs : elle est totalement dédiée à cette pratique sur Barry Sine alors que Sob et Sassem possèdent en plus, des zones non cultivées au sol hydromorphe (marigots et bas-fonds) – et donc engorgés durant l'hivernage –, et des reliquats de forêts (*diodj*) et autres terres de parcours (*ped*) volontairement conservés. Ainsi le terroir de Sassem est cultivé à 74% et celui de Sob à 90% de leur surface totale terroir (STT).

²⁰ Reliquat d'un ancien bras de fleuve, toujours inondable en hivernage et non cultivé

Unités paysagères	Sob		Sassem (Odru et al, 2013)		Barry Sine (Audouin et al, 2014)	
Surface Agricole Utile Terroir (SAUT) (ha)	542,58	90,33%	205,45	74,24%	401,71	100,00%
<i>Aire cultures pluviales</i>	525,86 (1)	96,92%	162,48	79,09%	396,96	98,82%
<i>Aire en jachère hivernage n-1</i>	16,03 (1)	3,05%	4,68	2,28%	4,75	1,18%
<i>Aire de maraichage</i>	0,80	0,03%	1,38	0,67%	-	-
<i>Aire pâturage</i>	-	-	36,90	17,96%	-	-
Aire de parcours (ha)	49,20	8,19%	-	-	-	-
<i>Aire marigot</i>	-	-	67,23	24,29%	-	-
Aire d'habitat (ha)	8,86	1,48%	4,08	1,47%	0,02	0,00%
Surface Totale Terroir (STT (ha))	600,64		276,75		401,72	

Tableau 21: Importance des aires paysagères sur les terroirs de Sob, Sassem et Barry Sine
(1) Valeurs extrapolées à partir de l'échantillon représentatif statistiquement de Sob

4.1.2. STRUCTURE DE L'AIRES CULTIVEE

Parcelles et cultures	Sob		Sassem (Odru et al, 2013)		Barry Sine (Audouin et al, 2014)	
Champs de case (ha)	96,46 (1)	17,78%	28,33	12,55%	189,74	47,23%
	446,12	82,22%	197,33	85,45%	211,95	52,77%
Champs de brousse (ha)	(1)					
<i>dont sole de jachère collective</i>	-	-	36,90		-	-
cultures vivrières (ha)	60,76	49,68%	137,86	84,85%	270,44	68,13%
<i>En considérant la culture principale</i>						
(2)						
<i>Mil</i>	56,22 (1)	92,53%	119,02	86,33%	219,83	81,29%
<i>Sorgho</i>	4,54 (1)	7,47%	18,85	13,67%	47,41	17,53%
<i>Maïs</i>	-	-	-	-	3,19	1,18%
cultures de rente (ha)	61,55	50,32%	24,62	15,15%	126,52	31,87%
<i>En considérant la culture principale</i>						
(2)						
<i>dont arachide</i>	36,84 (1)	59,85%	15,82	64,26%	121,82	96,28%
<i>dont pastèque</i>	21,26 (1)	34,54%	-	-	0,00	0,00%
<i>dot niébé</i>	3,44 (1)	5,59%	8,80	35,74%	4,45	3,52%
<i>dont bissap</i>	0,00 (1)	0,00%	0,00	0,00%	0,25	0,20%
Surface cultivée totale année n-1	122,31		162,48		396,96	

Tableau 22: Cultures pratiquées sur les terroirs de Sob, Sassem et Barry Sine

(1) Valeurs extrapolées à partir de l'échantillon représentatif statistiquement de Sob

(2) Acception de la culture principale expliquée à la note 1 du tableau 8 (chapitre Résultats, section 1.2.1)

Organisation auréolaire

Les champs entourant les ilots d'habitat – auréole des champs de case – représentent pour Sob et Sassem entre 10 et 20% de la SAUT. Pour Barry Sine, cette auréole se partage à part égale avec celle des champs de brousse.

Les ateliers participatifs menés par Audouin et al. (2014) sur les terroirs de Sassem et Barry Sine ont fait ressortir le fait que les enquêtés de Barry Sine avaient une acception de la distance différente par rapport à ceux de Sassem : ils avaient une notion d'éloignement plus lointaine. Or, la notion de distance est une des composantes de la définition d'un champ de case. Ils correspondent entre autres, à ceux qui collent les habitats. On peut donc supposer que pour les habitants de Barry Sine, cette dimension géographique de l'organisation auréolaire des parcelles est différente. Une conséquence qu'il serait alors intéressant de vérifier serait : est-ce que la gestion de leur auréole en champs de case est homogène (même succession culturelle, même pratique de fertilisation, etc) ? Entre autre est ce que le deuxième caractère donné à un champ de case est respecté ; à savoir le fait qu'ils récupèrent une large part de la

fumure organique produite au niveau du ménage ? Voire tout simplement, est ce que la notion d'auréoles de champs case et champs de brousse est applicable au terroir de Barry Sine ? Saunier-Zoltobroda et al (2015) amènent un élément de réponse en montrant que sur ce terroir, on ne peut pas conclure sur une gestion particulière d'apport azoté sur les champs de case par rapport à ceux situés en auréole de brousse. Ni la distance au foyer, ni l'apport de matière fertilisante ne semblent donc être, pour le terroir de Barry Sine, des déterminants de cette de division auréolaire – pourtant reconnue et affirmée par les habitants.

Importances des cultures vivrières

La surface allouée aux cultures vivrières – mil, sorgho, et maïs dans une moindre mesure – est variable selon les terroirs : elle est d'égale importance par rapport aux cultures de rente sur Sob, constitue 2/3 de la SAUT sur Barry Sine et 4/5^{ème} sur Sassem (**tableau 22**).

Sur les trois terroirs, le mil à cycle court est l'espèce dominante. On note également la culture sporadique du mil à cycle long (*matye* en wolof ; *match* en sereer) sur Sassem et Sob²¹. Il est toujours conduit en association avec le mil à cycle court (*suuna* en wolof ; *pod* en sereer). Sur Sob, cette culture est cantonnée dans le Sud du terroir (hameau de *Mbind-a-kob*). Les habitants du hameau de Sob-centre disent ne pas vouloir réintroduire cette culture dans leur système. Ils ont pris l'habitude de cultiver le *pod* qui permet de rompre plus tôt avec la période de soudure du fait de son plus court cycle végétatif. La reprise de la culture du *match* impliquerait une saison de travail agricole plus longue avec les derniers travaux de récolte des pailles terminant courant janvier. Habitude qu'ils ne veulent pas reprendre. La réintroduction du *match* nécessiterait de plus une modification des habitudes d'élevage à l'échelle du terroir, puisque aujourd'hui les animaux sont remis à divaguer début janvier et les champs n'ayant pas encore été récoltés ont alors de gros risques d'être saccagés par les animaux. Un autre argument avancé vient de la fertilisation préliminaire que nécessite cette culture puisqu'il semblerait que le *match* nécessite un sol plus fertile que le *pod*. Auparavant, les agriculteurs avaient l'habitude de fumer les champs destinés à cette culture avec leur troupeau bovin. Or aujourd'hui, les effectifs des troupeaux ont diminué – ou partent plus tôt en transhumance – et les agriculteurs disent ne plus avoir la capacité de fumer suffisamment leurs champs pour le *match*. Enfin les quelques parcelles plantées en mil à cycle long n'ont rien donné sur Sob durant l'hivernage 2014 à cause d'un régime de pluie globalement médiocre (trop court et avec des temps de sécheresse entre deux pluies trop important en début d'hivernage).

Enfin sur Barry Sine, le mil à cycle long est absent des systèmes de cultures.

Le cas de la pastèque, une culture de rente importante sur le terroir de Sob

Alors que la culture de l'arachide et du niébé sont les seules cultures pluviales de rente sur Sassem et Barry Sine, il faut y rajouter la pastèque sur le terroir de Sob. Cette dernière y occupe 1/3 de la surface dédiée aux cultures de rente (**tableau 22**).

La pastèque y est exclusivement cultivée sur l'auréole des champs de brousse et uniquement sur les sols à texture sableuse. Elle demande une intensité de travail humain importante car nécessite une préparation préliminaire de la parcelle avec un quadrillage formé de poquets rempli de fumier, préférentiellement de bovins. Le semis se fait ensuite à la main et à sec (un mois environ avant les premières pluies). Après chaque pluie les agriculteurs viennent

²¹ Sur Sassem et Sob, le mil à cycle court a représenté respectivement 96% et 98% du mil cultivé sur les hivernages respectifs 2012 et 2014.

appliquer un insecticide²² jusqu'à la période de récolte courant septembre. En comparaison, l'arachide se sème à l'aide d'un semoir attelé. Très peu d'agriculteurs y mettent de l'engrais et le seul pesticide appliqué est un fongicide²³ qui est mélangé aux semences lors du semis. Les désherbages sont tout aussi importants pour cette culture.

Place de la jachère

Sur l'auréole de champs de brousse, seul Sassem a conservé du système traditionnel *sereer* une organisation en deux soles dont la jachère collective enclose²⁴. L'espace de jachère collective sert alors d'aire de pâturage. Elle permet la fixation de la majorité du cheptel durant l'hivernage. Inversement elle est le lieu privilégié d'une restitution de fertilisants de la part des animaux grâce à leur excréta. La présence de jachère en dehors de cette aire n'est pas intentionnelle. Elle est la conséquence d'une absence de levée des semis, de manque de semences, etc (Odru et al 2013).

Sur Sob .la jachère est très peu pratiquée. Lorsqu'elle est présente, – contrairement au cas de Sassem – elle est principalement volontaire pour permettre de parquer le cheptel ne pouvant pas transhumer (car trop jeunes ou trop faibles), et ceux non transhumants.

Importances de la pratique d'association culturale

L'association de plusieurs cultures sur une même parcelle (*ndonate* en *sereer*) fut une pratique très répandue sur les trois terroirs. Sur Sob, 55% des céréales furent semées avec une autre culture (principalement une autre céréale), tout comme 92% des légumineuses (l'association la plus répandue était arachide-niébé haricot-bissap). Sur Sassem, ce fut le cas pour respectivement 81% et 74% des céréales et légumineuses (Odru et al. 2013).

Le niébé fait partie des cultures souvent retrouvée en intercalaire. Cette pratique d'association fut plus importante sur Barry Sine que sur Sassem durant l'hivernage 2012²⁵. Elle atteignait plus de 90% sur Sob en 2014. Sur Sassem, l'association du niébé n'était observable que dans les champs de mil. Deux variétés de niébé furent alors observées : celui hâtif destiné à produire des haricots, et celui tardif destiné à produire de la fane. Ce second fut parfois observé en culture pure. Sur Sob ces deux types étaient également présents. La différence résidait dans l'association pratiquée puisque le niébé hâtif était toujours associé à l'arachide alors que le tardif était soit cultivé en séquence après le *pod*, soit en pur.

Boulier et al. (1990) ont observé que l'association culturale constituait une pratique traditionnelle en zone sahélo-soudanienne. Le semis associé d'espèces végétales sur une même parcelle permet de répondre efficacement au caractère aléatoire du climat et à ses périodes de stress hydrique. Odru et al (2013) avançait cette même raison pour Sassem : « maximisation du potentiel et limitation du risque ». Les entretiens rapides n'ont pas fait ressortir cet aspect sur Sob. A l'échelle de leur unité de production, les agriculteurs voyaient l'association culturale comme une obligation face au manque de terres : reflet de la saturation du terroir ?

²² « Diméthoate » (principe actif du même nom) ; « Optimal » (principes actifs : acetamipride et lambda-cyhalothrine)

²³ Parmi les produits phytosanitaires utilisés : le « Granox » utilisé lors des semis d'arachide pour éviter la fonte des semis (principes actifs : captafol-bénomyl et carbofuran)

²⁴ La deuxième sole étant une mosaïque de champs où les agriculteurs pratiquent une culture continue selon une rotation réfléchie à l'échelle de l'unité de production.

²⁵ Sur les terroirs de Barry Sine et Sassem respectivement 66% et 53% de niébé a été semé en culture associée (Audouin, et al. 2014)

4.1.3. STRUCTURE DES SYSTEMES D'ELEVAGE

Le chargement à l'échelle du terroir par SAUT apparait différent suivant les trois terroirs : il est le plus élevé pour Sob et le plus faible sur Sassem. La catégorie ruminante prédomine dans les cheptels des trois terroirs en représentant pour chaque terroir plus de 2/3 de la charge annuelle. Les bovins y sont majoritaires à chaque fois avec plus de 50% de l'effectif en UBT. Seuls Sob et Sassem pratiquent l'élevage porcin ([tableau 23](#)).

En première observation, les mêmes gestions d'élevage sont rencontrées sur les trois terroirs : embouche à l'enclos, transhumance ou gestion traditionnelle sédentaire pour les ruminants ; gestion spécifique des animaux de trait (asins et équins) ; volaille en autonomie à l'intérieur de la concession, et sur Sob et Sassem, gestion des porcs en semi-intensif.

Dans le détail, l'importance des pratiques divergent fortement entre les terroirs :

- La transhumance est une pratique peu répandue sur Sassem : deux gestionnaires de troupeaux sur huit l'ont pratiqué lors de l'année de l'étude (Odru et al. 2013). Même si les surfaces du pâturage collectif semblent décroître selon les enquêtés, peu décident d'envoyer leur troupeau hors du terroir. Les déjections déposées en parcage nocturne toute l'année et sur la sole de pâturage en hivernage sont considérées comme un apport de première importance de fertilisants pour le maintien de la fertilité de l'aire cultivée. Le terroir de Sob compte le plus d'animaux transhumants. Sur l'année d'étude cette gestion a concerné 1,40 UBT.ha⁻¹ contre 0,48 sur Barry Sine (soit 34% de moins) ([Annexe 4](#)).
- Concernant l'embouche, Sassem pratique peu l'embouche et principalement celle de finition des petits ruminants (Odru et al. 2013). Au contraire Sob et Barry Sine montrent une pratique d'élevage d'embouche développée. Toutes catégories animales confondues, cette pratique concerne 4% du chargement du terroir de Sob et 24% pour Barry Sine. Ils sont tous les deux spécialisés dans l'embouche bovine puisque cette catégorie a représenté plus de 80% des UBT embouchés sur le pas de temps de l'étude ([Annexe 3](#)). Contrairement à Sassem, les animaux destinés à l'embouche proviennent principalement d'effectifs achetés sur les marchés environnants.

Catégories animales	Sob			Sassem (Odru et al 2013)			Barry Sine (Audouin et al 2014)		
	UBT.ha ⁻¹ .an ⁻¹ (SAUT)	% UBT catégorie/UBT cheptel terroir	% UBT sous- catégorie/UBT catégorie	UBT.ha ⁻¹ .an ⁻¹ (SAUT)	% UBT catégorie/UBT cheptel terroir	% UBT catégorie/UBT cheptel terroir	UBT.ha ⁻¹ .an ⁻¹ (SAUT)	% UBT catégorie/UBT cheptel terroir	% UBT catégorie/UBT cheptel terroir
RUMINANTS	1,80	76,12%		0,75	69,11%		1,38	80,63%	
Bovins	1,48	62,70%	82,38%	0,42	55,81%	55,81%	0,90	65,44%	65,44%
Ovins	0,11	4,58%	6,02%	0,10	13,09%	13,09%	0,26	19,05%	19,05%
Caprins	0,21	8,83%	11,61%	0,23	31,10%	31,10%	0,21	15,51%	15,51%
MONOGASTRIQUES	0,56	23,88%		0,34	30,89%		0,33	19,37%	
Equins	0,34	14,34%	60,05%	0,14	42,61%	42,61%	0,24	73,17%	73,17%
Asins	0,09	3,73%	15,62%	0,08	24,35%	24,35%	0,08	22,82%	22,82%
Volaille	0,01	0,39%	1,63%	0,01	2,31%	2,31%	0,01	4,01%	4,01%
Porcins	0,13	5,42%	22,70%	0,10	30,73%	30,73%	-	-	-
Chargement annuel (UBT/an/ha (STT))		2,10			0,81			1,71	
Chargement annuel (UBT/an/ha (SAUT))		2,36			1,09			1,71	

Tableau 23: Importances des catégories animales sur les terroirs de Sob, Sassem et Barry Sine

4.1.4. SOCIO-SYSTEMES : ORGANISATION

L'organisation spatiale de l'habitat diffère entre les trois terroirs. Diohine se caractérise par une aire d'habitats concentrés où s'est mêlé – au moins durant un temps – les installations relatives au commerce de traite de l'arachide, aux services administratifs ou encore agricoles. Ce terroir, et par extension ses différents quartiers dont celui de Sassem, constitue un village-centre. Au contraire, l'habitat de Sob et Barry Sine forment une nébuleuse d'habitats dispersés, pour la plupart toujours traditionnels. On parle alors de village-parc (**tableau 24**).

Malgré la piste en latérite traversant Diohine, ce village-centre reste en partie enclavé au vu du faible trafic routier le desservant (Odru et al 2013).

Sob est relié au réseau routier uniquement par pistes sableuses. Néanmoins il n'est situé qu'à 5km de Niakhar, chef-lieu de la communauté rurale du même nom située le long de la route d'asphalte entre deux villes importantes économiquement : Fatick et Bambey. De nombreux allers-retours hebdomadaires sont à noter pour les unités de production capables d'échanger leurs productions ou bétail sur les marchés environnants. Le village s'est par ailleurs cotisé pour construire une rampe de chargement du bétail. Elle permet aux unités de productions désirant vendre leurs bœufs d'embouche, d'aller plus facilement au grand marché à bestiaux de Bambey une fois par semaine. Courant septembre, un autre trafic ramène de nombreuses fourgonnettes jusque dans Sob pour acheter la production de pastèques puis l'acheminer vers les centres de consommation urbains.

Enfin l'importante activité d'embouche bovine sur Barry Sine doit également entraîner un déplacement régulier important de la population pour échanger leurs têtes de bétail et acheter des concentrés pour animaux.

Variables d'état	Sob	Diohine (Odru et al, 2013)	Barry Sine (Audouin et al, 2014)
Date d'implantation du terroir	1871-1978 (Becker, 2014)	< XXème siècle	1898-1905
Organisation spatiale de l'habitat	Village-parc (Lericollais, 1972)	Village-centre (Odru et al, 2013)	Village-parc
Effectif humain annuel	1201,94	513,08	1296,14
Actifs annuels terroir	232,00	108,58	309,00
Actif/ha (SAUT)	0,43	0,53	0,77
Ha/actif	2,34	1,89	1,30
Densité humaine (population annuelle en hab/ha de STT)	2,00	1,85	3,23

Tableau 24: Structure démographique des terroirs de Sob, Diohine et Barry Sine
STT : Surface Totale Terroir

4.2. COMPARAISON DES SCHEMAS STOCK-FLUX APPARENTS D'AZOTE

La comparaison des structures à l'échelle des terroirs de Sob, Sassem et Barry Sine ont montré des différences concernant les pratiques culturales et les gestions d'élevage. *Est-ce que ces différences apparentes de structure et de fonctionnement entraînent-elles des flux apparents différents d'azote à l'échelle des terroirs ?* Tentons d'y répondre en rapprochant ces pratiques aux flux apparents d'azote entre les compartiments bio-fonctionnels correspondants (**figures 7, 8 et 9**).

En première observation, les trois terroirs montrent un fonctionnement basé sur un fort recyclage des nutriments entre leurs compartiments constitutifs. Les flux vers l'extérieur ou l'intérieur des limites des terroirs restent faibles comparativement à ceux observés entre les compartiments internes au terroir.

En particulier, l'étude comparative des pratiques maintenant la fertilité des aires cultivées ainsi que les pratiques d'élevage des cheptels territoriaux constitue une porte d'entrée intéressante en termes d'origine et d'allocation de la biomasse. L'étude comparative de la nature des dépendances avec l'extérieur des terroirs sera aussi abordée. Pour ce faire, intéressons-nous aux dynamiques de trois systèmes en particulier :

- le compartiment végétal exploité et les transferts de fertilisants à destination de l'aire cultivée : on s'intéressera en particulier à l'importance que constitue le cheptel dans les transferts de fertilisants azotés ;
- le compartiment animal et les conséquences des différentes gestions pratiquées : on s'intéressera à la dépendance en termes d'origine de l'alimentation que l'activité d'embouche entraîne vis-à-vis de l'extérieur du terroir ;
- la nature de la dépendance des terroirs vis-à-vis de leur environnement extérieur.

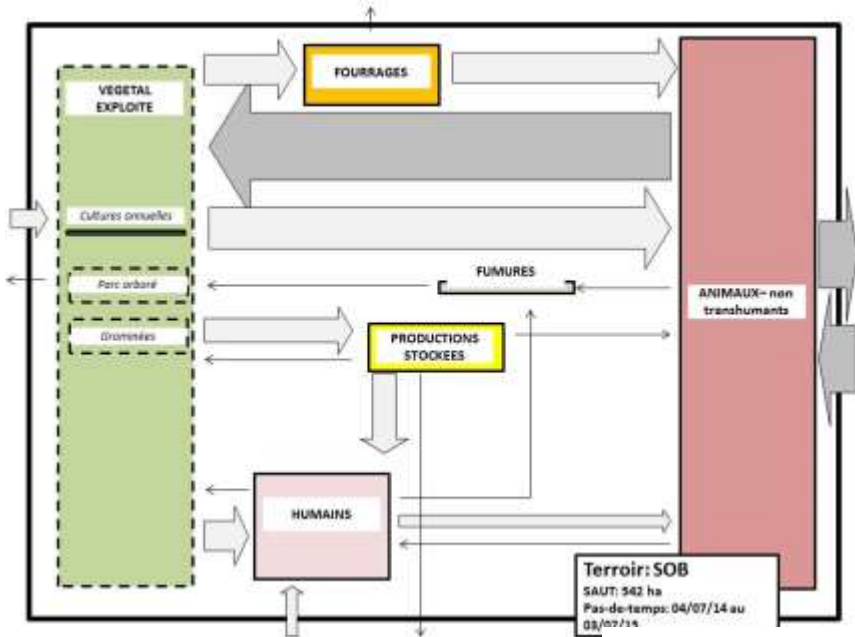


Figure 7: schéma stock-flux apparents d'azote du terroir de Sob

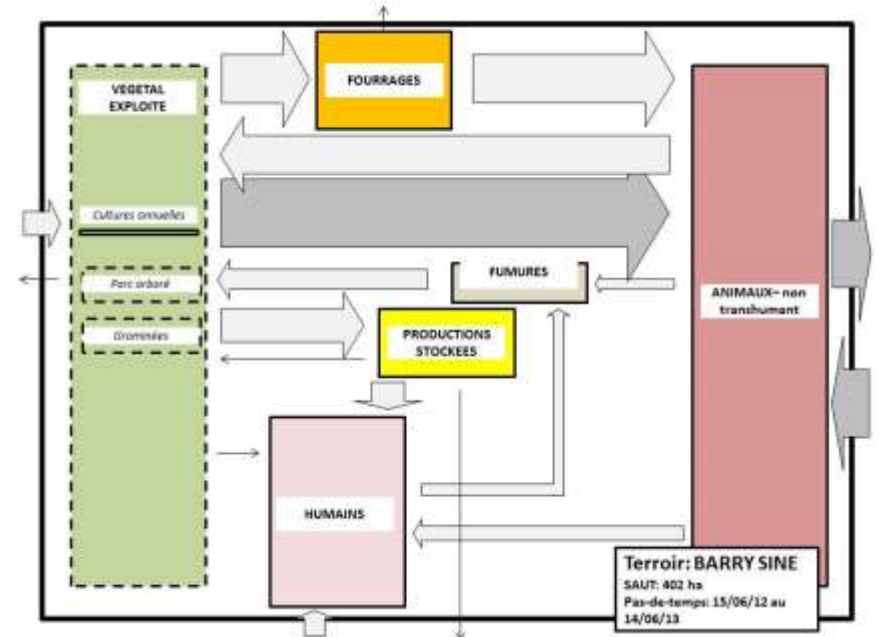


Figure 8: Schéma stock-flux apparents d'azote du terroir de Barry Sine (données : Audouin et al. 2014)

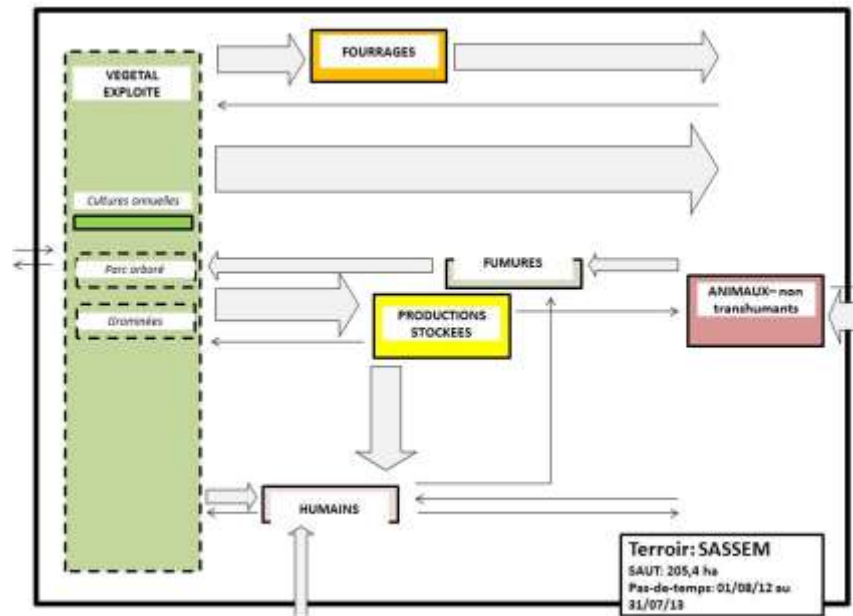
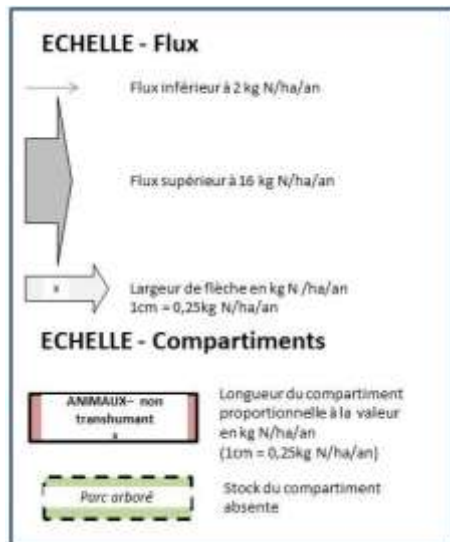


Figure 9: Schéma stock-flux apparents d'azote du terroir de Sassem (données : Odru et al. 2013)

4.2.1. TRANSFERTS DE FERTILISANTS VERS L'AIRE CULTIVEE

Importance du vecteur animal

En première observation, le cheptel constituerait sur les trois terroirs le premier vecteur de transfert d'azote avec au moins 65% de l'azote total transféré grâce à la pratique du parcage, de la divagation (cheptel alors considéré comme vecteur direct) et de l'épandage de fumures organiques (vecteur indirect) (**tableau 25**).

En fonction du terroir le caractère direct ou indirect du cheptel comme vecteur de transfert de fertilisants varie. Sur Sob il constituerait clairement le principal vecteur direct de transferts puisque 78% de l'azote total transféré vers l'aire cultivée s'est fait grâce aux pratiques de divagation et parcage nocturne. Sur Barry Sine, le bétail correspondrait aussi au premier vecteur direct mais il n'a contribué qu'à 48% des transferts totaux. Au contraire sur Sassem, le fumier a constitué une ressource quatre fois plus importante que les dépôts directs du cheptel.

Détournement des déjections animales depuis l'aire cultivée territoriale

Comme sur Sob, on constate un détournement du flux de matière fécale du cheptel via le prélèvement de bouses de vache comme combustible par le socio-système durant la saison sèche. Ces prélèvements auraient détourné 28 % du total en azote déposé par le cheptel. Sur Sassem, le total collecté selon l'estimation des enquêtés dépasse le total déposé par le cheptel selon calcul (+341% d'augmentation par rapport à la valeur déposée sur l'aire cultivée selon calcul). Aucune pratique de cet ordre ne fut observée sur le terroir de Barry Sine

Compartiment d'origine	Nature du flux composite/sous-flux	Sob		Sassem (Odru et al, 2013)		Barry Sine (Audouin et al, 2014)	
		kgN.ha ⁻¹ .an ⁻¹	Part du flux vis-à-vis du total épandu sur l'aire cultivée	kgN.ha ⁻¹ .an ⁻¹	Part du flux vis-à-vis du total épandu sur l'aire cultivée	kgN.ha ⁻¹ .an ⁻¹	Part du flux vis-à-vis du total épandu sur l'aire cultivée
Animal	Dépôt direct d'excrétas	24,25	78,80%	0,68	13,12%	8,99	47,76%
	<i>Via parcage nocturne</i>	3,33		0,67		3,13	
	<i>Via divagation de saison sèche</i>	20,92		0,01		5,86	
Fumures	Fumures épandues	1,38	4,47%	3,42	65,95%	4,66	24,79%
Humain	Déchets du foyer épandus	0,83	2,69%	0,31	5,90%	0,00	0,00%
Extérieur terroir	engrais épandus	4,32	14,04%	0,78	15,03%	5,16	27,45%
Total azote introduit sur l'aire cultivée		30,78		5,18		18,81	

Tableau 25: Nature et importances de flux apparents de fertilisants vers l'aire cultivée des terroirs de Sob, Sassem et Barry Sine
Les prélèvements de bouses de vaches par le socio-système comme combustible ne sont pas représentés

4.2.2. GESTIONS DES SYSTEMES D'ELEVAGE : ALIMENTATIONS ET DEPENDANCES VIS-A-VIS DE L'ENVIRONNEMENT EXTERIEUR AUX TERROIRS

Les trois terroirs pratiquent l'embouche animale. Cette pratique d'élevage repose entre autre sur une alimentation dont certains produits sont originaires de l'extérieur des terroirs. Interrogeons-nous sur la dépendance qu'entraîne cette pratique d'élevage en la comparant à la prise alimentaire des aux autres gestions pratiquées.

Natures et origines de l'alimentation	Sob		Sassem (Odru et al. 2013)	Barry Sine (Audouin et al. 2014)	
	Animaux embouchés	Animaux autres gestions	26	Animaux embouchés	Animaux autres gestions
Alimentation provenant de l'extérieur du terroir					
Concentrés (1)	46%	7%	20%	81%	6%
Fourrages (2)	0%	1%	1%	0%	2%
Alimentation herbacée (3)	0%	3%	3%	0%	3%
Total	47%	11%	25%	81%	11%
Alimentation provenant du terroir de Sob					
Sous-produits de transformation et produits agricoles (4)	8%	11%	8%	6%	6%
Coproducts agricoles (5)	29%	52%	35%	8%	21%
Affouragement en vert et prélèvements arborés (6)	17%	24%	23%	5%	60%
Vaine-pâturage (7)	0%	2%	9%	0%	2%
Total	53%	89%	75%	19%	89%
Rationnement total (en kgN. UBT⁻¹)	44,57	8,89	17,57	62,10	19,17

Tableau 26: Natures, importances et origines de l'alimentation des catégories embouchées ou non (autres gestions regroupées) en part relative par rapport au rationnement total sur les terroirs de Sob, Sassem et Barry Sine

- (1) Selon les terroirs, regroupe divers sons (mil, riz, blé), divers grains (coton, mil, sorgho, maïs), du tourteau d'arachide, de l'aliment pour bétail
- (2) Selon les terroirs regroupe de la paille de mil ou de la fane d'arachide ou de niébé
- (3) Correspond à l'alimentation herbacée que les cheptels prélèvent lorsqu'ils sont en divagation de saison sèche lors de séjours temporaires en dehors du terroir
- (4) Selon les terroirs regroupe du son de mil, divers grains ou haricots (mil, sorgho, niébé), des sous-produits de battage du mil ou de décorticage de l'arachide et du niébé
- (5) Selon les terroirs regroupe les pailles et fanes récoltées (mil, sorgho, arachide, niébé, pastèque)
- (6) Selon les terroirs regroupe les herbacées prélevées sur le terroir et données fraîches ou conservées puis données sèches et les prélèvements de feuillage de divers arbres
- (7) Correspond au prélèvement de pailles et fanes laissées sur l'aire cultivée lors de la divagation du cheptel en saison sèche

Sur les terroirs de Sob et Barry Sine, la comparaison du rationnement des bêtes d'embouche par rapport aux autres gestions (excepté volaille et porc), révèle deux résultats :

- Le cheptel d'embouche reçoit une alimentation plus importante quantitativement puisqu'il est en moyenne quatre fois plus nourri que les autres gestions regroupées (en azote).
- Le rationnement est fortement dépendant vis-à-vis de l'extérieur du terroir puisque presque 90% de l'azote contenu dans le rationnement des bêtes d'embouche sur Barry Sine provient des marchés alentours (**tableau 26**).

Au contraire, l'alimentation des autres gestions regroupées (gestion sédentaire traditionnelle et transhumante saisonnière) repose à presque 90% sur de l'azote produit sur le terroir (**tableau 26**).

²⁶ La structure de la base de données de Sassem n'a pas permis le travail d'analyse comparative suivant les gestions d'élevage.

Sur Sassem, on observe à l'échelle du cheptel global (sans précision sur la gestion pratiquée) que son alimentation est majoritairement assurée par les ressources internes au terroir (75% de l'azote contenu dans le rationnement provient du terroir) (**tableau 26**).

Enfin, l'observation de la nature des rations des cheptels semble montrer que la vaine pâture collective joue un rôle négligeable aujourd'hui comparé aux fourrages récoltés/donnés au sein de chaque unité de production. Sur Sassem où les coproduits non récoltés furent les importants par rapport aux deux autres terroirs²⁷, cette source d'alimentation atteint à peine 9% de l'alimentation totale en azote.

4.2.3. LIENS AVEC L'EXTERIEUR DU TERROIR

Les schémas stock-flux apparents d'azote ont permis de révéler que les systèmes d'élevage à l'échelle des terroirs possédaient une relation forte avec l'environnement extérieur via l'échange d'effectifs et l'achat d'aliments fourragés et concentrés. En ne considérant que les entrées apparentes d'azote, l'activité d'élevage fut respectivement responsable de 75%, 48 et 85% de l'azote total entrant pour les terroirs de Sob, Sassem et Barry Sine (**tableau 27**). Sur Sob et Barry Sine, cette activité constitua la principale dépendance vis-à-vis de l'extérieur.

Le deuxième opérateur à être le plus dépendant de l'extérieur du terroir fut le socio-système via l'achat alimentaire pour les terroirs de Sob et Barry Sine. Il constitua le premier flux azoté entrant pour Sassem. Dans le détail, les achats se concentrèrent autour du riz puis du mil pour Sob (39% et 25% du total des produits alimentaires entrants, en azote), du riz et de l'arachide pour Sassem (35% et 30%), et du riz et de la viande pour Barry Sine (49% et 24%).

En considérant les sorties d'azote, l'activité d'élevage constitua la première cause d'échanges avec l'extérieur sur les trois terroirs (**tableau 28**).

Natures des entrées de biomasse à l'échelle terroir	Sob	Sassem (Odru et al, 2013)	Barry Sine (Audouin et al, 2014)
Entrées concentrés animaux	17,56%	34,98%	34,39%
Entrées fourrages	1,16%	2,23%	0,54%
Entrées effectifs animaux	54,08%	6,28%	48,69%
Entrées engrais	15,81%	9,26%	7,50%
Entrées semences	0,17%	2,13%	0,55%
Entrées biomasses via séjours temporaires hors-terroir	2,12%	5,94%	1,28%
Entrées consommables foyer (alimentaires et combustibles)	9,11%	39,18%	7,05%
Total entrées azotées terroir (en kgN.ha⁻¹.an⁻¹)	24,37	9,90	68,82

Tableau 27: Importances et natures des flux apparents azotés entrants sur les terroirs de Sob, Sassem et Barry Sine

Natures des sorties de biomasse à l'échelle terroir	Sob	Sassem (Odru et al 2013)	Barry Sine (Audouin et al 2014)
Sorties bois	-	1,56%	0,01%
Sorties productions végétales	3,87%	9,41%	2,00%
Sorties fourrages	0,18%	1,91%	0,28%
Sorties effectifs animaux	88,84%	81,93%	97,49%
Excrétas déposés extérieur terroir	7,11%	5,19%	0,22%
TOTAL sorties terroir (en kgN.ha⁻¹.an⁻¹)	20,27	1,22	43,95

Tableau 28: Importances et natures des flux apparents azotés sortants sur les terroirs de Sob, Sassem et Barry Sine

²⁷ Pour Sassem, la part des coproduits laissés au champ pour la vaine pâture a représenté 21% en azote du total de coproduits produit sur l'aire cultivée. Pour Sob et Barry Sine, cette proportion était de respectivement 6% et 5%.

4.3. BILANS ET EFFICIENCES AZOTES PLURI-ECHELLES

La description des structures de terroirs ont montré des différences en termes de pratiques agricoles et d'élevage. Les schémas stock-flux apparents d'azote ont permis de les visualiser au travers des flux entre les compartiments bio-fonctionnels. Les bilans et efficacités d'azote aux échelles de la parcelle, du foyer et du terroir vont permettre d'apprécier ces impacts en termes d'accumulation ou déstockage et d'efficacité de conversion/utilisation de l'azote apparent au sein de ces systèmes (**tableau 29**).

Indicateurs	Sob	Sassem (Odru et al, 2013)	Barry Sine (Audouin et al, 2014)
Echelle parcelle			
Bilan d'azote apparent (en kgN.ha ⁻¹ .an ⁻¹)	-9,01	-13,19	-23,07
Entrées d'azote (en kgN.ha ⁻¹ .an ⁻¹)	18,50	7,27	23,57
Sorties d'azote (en kgN.ha ⁻¹ .an ⁻¹)	27,51	19,58	46,65
Efficacité azotée apparente (sans unité)	3,65	115,53	3,84
Echelle foyer			
Bilan d'azote apparent (en kgN.ha ⁻¹ .an ⁻¹)	12,09	10,92	25,17
Entrées d'azote (en kgN.ha ⁻¹ .an ⁻¹)	55,91	22,82	78,92
Sorties d'azote (en kgN.ha ⁻¹ .an ⁻¹)	43,83	11,90	53,75
Efficacité azotée apparente (sans unité)	0,77	1,11	0,89
Echelle terroir			
Bilan d'azote apparent (en kgN.ha ⁻¹ .an ⁻¹)	4,10	8,69	24,88
Entrées d'azote (en kgN.ha ⁻¹ .an ⁻¹)	24,37	9,91	68,82
Sorties d'azote (en kgN.ha ⁻¹ .an ⁻¹)	20,27	1,22	43,95
Efficacité azotée apparente (sans unité)	0,83	0,12	0,64

Tableau 29: Bilans et efficacités d'azote apparent aux trois échelles pour les terroirs de Sob, Sasssem et Barry Sine

4.3.1. ECHELLES TERROIR

Les bilans azotés sont tous positifs pour les trois terroirs. De l'azote s'accumulerait donc à cette échelle spatio-temporelle. Barry Sine est le terroir où l'accumulation serait la plus importante. L'observation des quantités entrantes et sortantes révèlent également qu'il est le terroir possédant le comportement le plus intensif en termes d'échanges avec son environnement extérieur (**tableau 29**).

4.3.2. ECHELLES FOYER

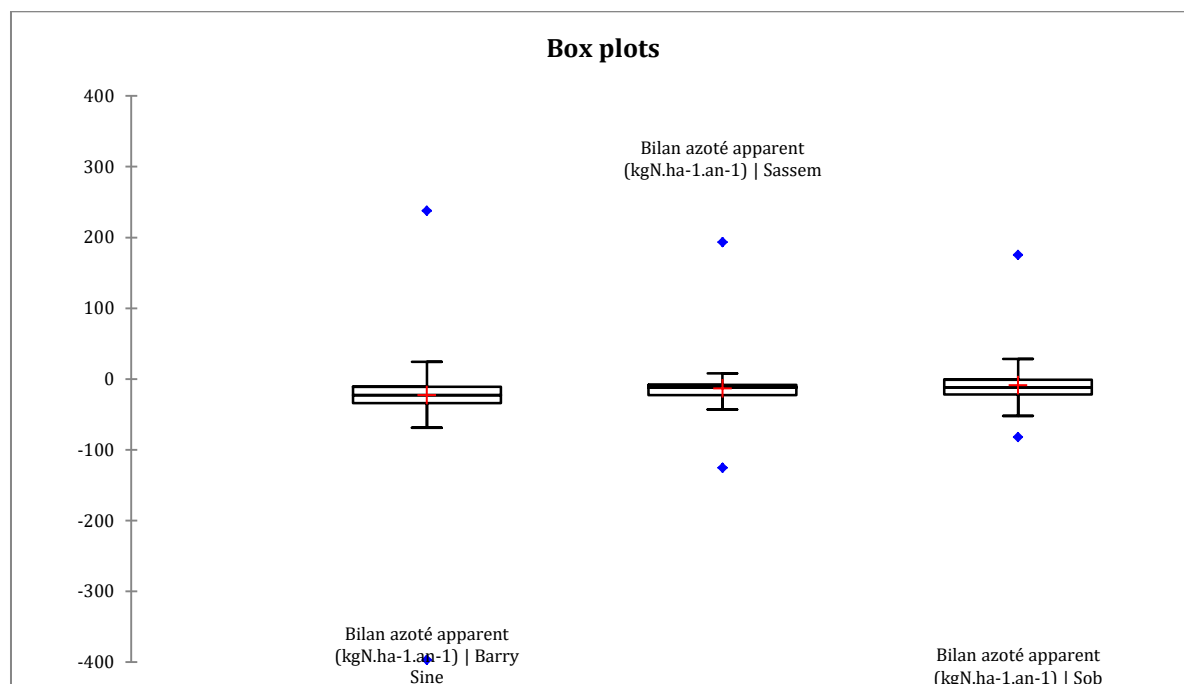
A l'échelle spatio-temporelle du foyer, les trois bilans sont également positifs. L'accumulation la plus importante a lieu sur le terroir de Barry Sine (**tableau 29**).

4.3.3. ECHELLES PARCELLE

A l'échelle de la parcelle les bilans moyens sont tous négatifs (**tableau 29** et **30**). L'observation des distributions montre que 50% des parcelles ont eu des bilans négatifs lors de l'année d'étude. On note aussi qu'elles sont plus ou moins dispersées. Sur Barry Sine la dispersion est maximale avec une différence de 635 entre les extrema. Sur Sob au contraire la distribution apparaît la moins étalée (**graphique 8**).

Statistique	Bilan azoté apparent (kgN.ha ⁻¹ .an ⁻¹) Barry Sine	Bilan azoté apparent (kgN.ha ⁻¹ .an ⁻¹) Sassem	Bilan azoté apparent (kgN.ha ⁻¹ .an ⁻¹) Sob
Nb. d'observations	622	390	205
Minimum	-397	-125	-82
Maximum	238	193	175
1er Quartile	-34	-23	-22
Médiane	-23	-12	-12
3ème Quartile	-11	-8	-1
Moyenne	-23	-13	-9
Variance (n-1)	1499	724	792
Ecart-type (n-1)	39	27	28

Tableau 30: Distributions et statistiques descriptives des bilans d'azote à l'échelle parcelle pour les terroirs de Barry Sine, Sassem et Sob



Graphique 8: Graphiques univariés des distributions des bilans azotés à l'échelle parcelle pour les terroirs de Barry Sine, Sassem et Sob

CHAPITRE 4 : DISCUSSIONS

1. LE TERROIR DE SOB : UN SYSTEME DURABLE ?

1.1. BILANS APPARENTS D'AZOTE AUX TROIS ECHELLES SPATIO-TEMPORELLES

L'analyse des bilans apparents d'azote aux trois échelles emboîtées parcelle, foyer et terroir amène à deux conclusions.

- **La majorité des parcelles ont vu leur stock apparent d'azote diminuer sur l'année d'étude. Cependant l'observation d'une rotation d'apports à l'échelle pluriannuelle laisse supposer un renouvellement durable de la fertilité des champs**

Le bilan d'azote à l'échelle de la parcelle soustrait les entrées apparentes d'azote (semences, fumures organiques et engrais minéraux apportés) aux sorties apparentes d'azote (produits et coproduits agricoles récoltés et biomasse prélevée au travers du pâturage) qui ont eu lieu sur le pas de temps de l'étude. Par extension cet indicateur renseigne sur le maintien apparent de la fertilité en termes d'azote. En moyenne, ce bilan fut négatif sur Sob pour la période Juillet 2014-Juillet 2015. Les exports d'azote ont été supérieurs aux apports, et le stock d'azote du sol fut diminué pour 77% des parcelles du terroir.

A la fin du siècle dernier, Stoorvogel et Smaling (1990) avaient étudié ces systèmes agraires pluviaux de savane d'Afrique de l'Ouest. Leurs calculs de bilans avaient fait ressortir une diminution continue des stocks en azote, phosphore et potassium dans le sol. Ainsi à l'échelle du Sénégal, le stock d'azote du sol avait diminué en moyenne de 10 à 20kgN.ha⁻¹.an⁻¹ entre 1983 et 2000. Pour Smaling, Nandwa, et Janssen (1997) la conclusion était que ce type d'agriculture constituait une pratique « minière », non durable qui dégradait continuellement l'agrosystème cultivé. Pour l'année d'étude, le bilan moyen d'azote à l'échelle des parcelles de Sob semble aller vers cette même conclusion.

Néanmoins les parcelles possédant les bilans les plus élevés sont la conséquence de pratiques en grande partie liées à l'interaction agriculture-élevage. D'un point de vue spatial, elles sont soit situées sur l'auréole de champs de case et reçoivent divers apports de fumures et déchets de balayage²⁸ en continue chaque année, soit situées sur l'auréole des champs de brousse, et sont alors insérées dans une rotation d'apports de fumure tous les 5 à 10 ans en moyenne selon (Lericollais 1999). Or ces parcelles présenteraient des bilans largement positifs (+30kgN.ha⁻¹ en moyenne pour les parcelles du 5^{ème} quintile). Et ces apports conséquents – mais ponctuels dans le temps en ce qui concerne les champs de brousse – pourraient suffire à maintenir sur un certain nombre d'années un stock de nutriments suffisant comme l'ont observé Freschet et al. (2008) au Burkina Faso. Ces derniers indiquaient qu'il était ainsi préférable d'avoir des apports concentrés voire parfois excessifs, que des apports répartis dans l'espace mais plus faibles en quantité.

²⁸ Les déchets issus du ménage (balayage, cendres, etc) sont jetés toute l'année durant sur les champs de case autour du foyer. Ces déchets contiennent en proportions variables des cendres de l'âtre, des déjections, des résidus pailleux etc.

- **Des unités de production agricole qui valorisent avant tout leurs productions végétales pour les importants besoins de leur système d'élevage**

Les bilans aux échelles foyer et terroir permettent quant à eux d'analyser le caractère dépendant entre respectivement l'unité de production agricole et le terroir, vis-à-vis de leur environnement extérieur. Les deux principales natures d'échanges à ces deux échelles ont correspondu aux entrées/sorties d'effectifs animaux, puis à l'achat de fourrages et concentrés pour nourrir le système d'élevage. Les sorties de fourrages produits sur le terroir sont par contre quasi inexistantes. On peut donc conclure que la production fourragère fut en priorité valorisée au sein du foyer. Au-delà, il apparaît que le disponible fourrager semble critique, voire insuffisant à l'échelle du terroir puisque les unités de productions (1) sont dans une logique de récupération des coproduits de leur aire cultivée, et (2) se fournissent en plus en aliments pour animaux à l'extérieur.

1.2. ANALYSE DU SCHEMA STOCK-FLUX D'AZOTE APPARENT

Le schéma stock-flux a permis d'apprécier les transferts d'azote apparent à l'échelle du terroir de Sob entre ses compartiments bio-fonctionnels (aire cultivée, stock fourrager, grenier, tas de fumier, cheptel, population humaine). Le cheptel constitue toujours le nœud principal des relations entre ces différentes unités malgré les pertes (ou manque à gagner) liées à la sortie saisonnière des animaux transhumants, la gestion sommaire de la fumure organique et le détournement des bouses de vaches pour les besoins en combustible en saison sèche.

1.2.1. FERTILISATION ORGANIQUE DE L'AIRE CULTIVEE : FUMURE ORGANIQUE ET MANQUES A GAGNER

Le fumier, une ressource mal évaluée ou mal gérée ?

En dépit de l'activité d'embouche qui augmente le nombre d'animaux à l'enclos, et donc a priori la quantité de fumier produite, cette ressource ne fut responsable que de 4,5% de l'azote total transféré vers l'aire cultivée. Le fumier se situa derrière l'épandage d'engrais chimique (14%) et loin derrière les dépôts d'azote via parcage et divagation animale (78,8%). On peut donc conclure que le cheptel à l'échelle du terroir constitue avant tout un opérateur direct dans les transferts de fertilité vers l'aire cultivée.

Cependant, si on calcule la quantité de fumure produite par les animaux en stabulation sur la base du nombre de jours passés à l'enclos et d'une quantité excrétée par animal, on trouve des chiffres bien supérieurs à la quantité évaluée par les agriculteurs du terroir en termes de charrettes de fumiers effectivement épandues. Et ce, alors que le tas de fumier mélange bien souvent plusieurs sources d'alimentation : les fèces animales, les déchets de balayage de la cour, les cendres, et quelques fois les sous-produits de battage et décorticage. La quantité azotée produite à l'enclos fut ainsi supérieure à celle effectivement épandue de +560% selon nos calculs. On peut se questionner alors sur la pertinence des indicateurs de la littérature utilisés avec notre contexte d'étude ou sur celle des estimations à dire d'enquêtés ? Les flux de fumiers furent-ils sur-évalués ou sous-évalués ?

En ce qui concerne l'estimation des quantités épandues, un suivi plus précis à l'échelle du mois pourrait conclure sur cette question. La gestion du fumier est en effet complexe. Les sources d'apport sont nombreuses et peuvent autant alimenter le tas que les champs de case contiguës à la zone d'habitat. Par ailleurs Rufino et al. (2007) considèrent que le risque de perte de matière organique lors des étapes de collecte, stockage puis épandage du fumier comme important. Dans la pire des gestions (pas de litière pailleuse retenant l'azote de l'urine, une unique collecte de fumier à l'enclos avant son épandage et un ensoleillement

constant du tas), les départs en masse sont nombreux et l'efficacité de rétention de l'azote dans le tas est de moins de 10% lors de son épandage sur la parcelle.

Les séjours hors-terroir du cheptel et pertes de fertilisants pour l'aire cultivée

L'absence d'espaces non cultivés suffisants (jachère et parcours naturels) en saison de culture ainsi que les manques de fourrages et de biomasse spontanée en fin de saison sèche ont contraint les unités de production agricole à **faire transhumer leur cheptel 5 mois en moyenne sur l'année d'étude**. Également le cheptel sédentaire fut amené régulièrement sur les bas-fonds extérieurs à la recherche des dernières ressources spontanées dès le milieu de la saison sèche. Ainsi 40,2tMS d'excrétas auraient ainsi été perdus à l'extérieur du terroir durant l'année d'étude. En reprenant la préconisation d'épandage de fumier de 5tMS/ha selon Dugué (1998) dans les systèmes mixtes agriculture-élevage sub-sahariens, **6% supplémentaires de la SAUT aurait pu être fertilisés si la ressource fourragère avait été suffisante pour maintenir ce cheptel sur le terroir**.

1.2.2. CHEPTTEL : ENTRE OPERATEUR DE RECYCLAGE DE LA BIOMASSE DU TERROIR ET FACTEUR DE DEPENDANCE VIS-A-VIS DE L'ENVIRONNEMENT EXTERIEUR AU TERROIR

Le cheptel : opérateur de recyclage de la biomasse du terroir

L'étude de l'origine de la prise alimentaire du cheptel en fourrages et ressource spontanées (excepté ressource arborée) indique que les coproduits agricoles produits sur le terroir, ont représenté 74% en azote du total ingurgité. Les 26% restant sont provenus des fauches en vert et des pâturages sur et en périphérie du terroir (respectivement 22% et 3% l'azote total de la prise alimentaire globale).

L'activité d'embouche : entre source de dépendance et moyen d'augmenter la production fumièrè

Les animaux embouchés reçoivent à 50% une alimentation provenant de l'extérieur du terroir contre seulement 10% pour celui des autres gestions (excepté porcs et volaille). Cette activité pourrait donc être accusée de créer une dépendance vis-à-vis de l'extérieur au terroir en termes d'alimentation. En parallèle, elle permet aussi de fixer des animaux supplémentaires sur le terroir, et donc d'augmenter la production de fumier à destination de l'aire cultivée. Plus largement cette activité constitue une des entrées de numéraire nécessaire au maintien du système du ménage, et plus largement du terroir.

2. COMPARAISON DES TROIS TERROIRS : QUELLES CONCLUSIONS ?

2.1. LES BILANS APPARENTS D'AZOTE

Pour chacun des trois terroirs les bilans moyens à l'échelle de la parcelle sont négatifs, et à l'inverse leurs bilans moyens aux échelles foyer et terroir sont tous positifs. Les trois aires cultivées auraient donc vu leur stock d'azote diminuer sur l'année d'étude, ce qui attesterait d'une baisse de fertilité des sols sur ce même pas de temps. A l'inverse il y a eu accumulation d'azote aux échelles supérieures.

La gestion agricole de ces trois terroirs pourrait être accusée de diminuer la fertilité naturelle des champs, et donc de pratiquer une agriculture « minière ». Mais encore une fois les distributions des bilans apparaissent dispersées, laissant supposer des pratiques agricoles

elles-mêmes variables. Une typologie des unités de production selon des critères comme la dotation en bétail, la surface agricole utile, et le chargement en UBT/SAU comme l'a fait Odru et al (2013) pourrait permettre de distinguer différentes catégories d'acteurs avec des pratiques et stratégies propres vis-à-vis de la gestion de la biomasse.

Une deuxième nuance pourrait être apportée grâce à la notion de « niveau de fertilité souhaitable » (Rabot 1990). Le niveau de fertilité nécessite d'être en effet relié aux facteurs de productivité de la terre et du travail, à la saturation foncière du terroir et aux besoins des populations. Ces déterminants modulent alors l'existence et la qualité des transferts de fertilisants. En se basant sur une quantité moyenne de 200kgMB de céréales par personne (Lericollais, 1999), Odru et al (2013) concluait ainsi que la productivité des terres agricoles à l'échelle du terroir de Sassem furent suffisante en 2013 suite à une production totale couvrant les besoins de la population à l'échelle du terroir.

2.2. COMPARAISON DES FONCTIONNEMENTS DES TERROIRS

2.2.1. *SYSTEME D'ELEVAGE, DEPENDANCES ET PRESSION SUR LES RESSOURCES FOURRAGERES*

Le système d'élevage est responsable de nombreux flux sur les trois terroirs. Suivant l'intensivité de la gestion d'élevage et le chargement animal, la pression sur les ressources du terroir ou les relations d'échanges avec l'environnement extérieur au terroir sont importants. Il semble ainsi que plus l'activité d'embouche soit développée, plus les échanges avec l'extérieur sont importants. Par exemple, cette activité est peu développée sur le terroir de Sassem et parallèlement le premier flux entrant correspond à l'achat alimentaire pour la population. Au contraire sur Sob et Barry Sine où l'embouche a concerné respectivement 4% et 24% du chargement annuel, les achats d'animaux, de concentrés et de fourrages ont constitué les premiers pôles de dépendance.

Selon Powel et al. (2004) un rapprochement peut être fait entre l'augmentation de la pression due à l'activité d'élevage et la compétition pour les ressources fourragères (en particulier celles laissées disponibles pour la vaine-pâturage). Sur Sob et Barry Sine, où cette activité intensive en fourrages (et concentrés) est pratiquée, respectivement 5 et 6% en azote des coproduits produits lors de l'hivernage furent laissés sur les parcelles. Contrairement à Sassem où elle est très peu répandue, et le chargement animal moins important, 21% des pailles et fanes furent laissées au champ.

En parallèle, la production de fumier – à laquelle les animaux d'embouche sont d'importants producteurs – serait responsable de 25% des apports de biomasse sur Barry Sine. L'ambivalence devient ainsi plus flagrante que pour le cas de Sob : L'activité d'embouche, à côté de créer de la dépendance par la nécessité d'importer des aliments pour bétail, est également génératrice de matière organique nécessaire au maintien de la fertilité dans le système de culture du terroir.

2.2.2. *QUELQUES TRAITS PERSISTANTS DE L'ORGANISATION AGRAIRE TRADITIONNELLE SEREER*

Les voies de la fertilisation organique de l'aire cultivée

On peut noter la persistance de la jachère collective enclose sur le terroir de Sassem. Cette organisation héritée du système agraire traditionnel a permis de maintenir la majorité du bétail en hivernage sur le terroir et de procéder à des transferts de fertilité vers l'aire cultivée via les excréments du cheptel. Cette pratique collective fut absente sur les terroirs de Sob et Barry

Sine. La transhumance a ainsi concernée respectivement 53% et 28% du chargement annuel de ces deux terroirs. Sur Sob, certains ménages avaient même refusé de faire revenir leur troupeau par manque de ressource fourragère agricole et spontanée sur le terroir. Ces temps passés en dehors du terroir sont autant de déjections qui n'ont pas participé au maintien de la fertilité du terroir.

A côté de cette première voie de transfert de fertilité vers l'aire cultivée, on a constaté une valorisation de la fumure organique à partir des déjections du cheptel géré à l'enclos et des déchets produits par le ménage. De manière contre intuitive, l'épandage du fumier a constitué la première voie de transfert de fertilisants sur Sassem, devant les dépôts directs du cheptel. Au contraire cette ressource fumière fut moins importante sur Barry Sine et Sob par rapport aux dépôts directs. Le fumier épandu correspondit à 4% de l'azote total apporté sur l'aire cultivée en comparaison des 79% apportés par les dépôts directs sur Sob, et 25% par rapport à 48% sur Barry Sine. Malgré une faible contribution du fumier dans les transferts de fertilisants vers l'aire cultivée, les trois terroirs montrent un état différent de celui traditionnel où le cheptel constituait le seul vecteur des transferts.

Les gestions sédentaire traditionnelle et transhumante, gestions majoritaires

La répartition des catégories animales suivant leur gestion d'élevage montre que les catégories transhumantes et sédentaires traditionnelles sont les plus représentées sur les trois terroirs.

Néanmoins ces deux gestions, au moins pour les catégories ruminantes, semblent être menacées par une productivité insuffisante de l'aire cultivée en fourrages et des zones de parcours en biomasse spontanée. Le fait que certaines unités de production ont refusé de faire revenir leur troupeau sur Sob va également dans ce sens. Par ailleurs on peut imaginer que les surfaces résiduelles de parcours sont sur-pâturées, rendant leur productivité sous-optimale (Hiernaux et al. 2009), quand on voit la saturation du terroir en surfaces agricoles (90% de l'aire en culture pluviale sur Sob, 100% sur Barry Sine), et l'importance de la charge animale annuelle. Enfin, les terres de parcours naturel correspondent en réalité à des espaces dont l'utilisation dépasse le seul terroir sur lequel ils sont situés. Tout comme les bergers ont l'habitude d'amener leur cheptel pâturer sur les meilleurs bas-fonds des terroirs limitrophes, l'entrée sur ceux du terroir par des troupeaux extérieur se fait aussi. L'intensité de pâturage pourrait donc être plus importante que ne laissent l'imaginer les indicateurs de chargement et temps de présence des animaux du terroir sur ces espaces. Or ces terres résiduelles sont cruciales pour les catégories animales transhumantes et traditionnelles puisqu'elles correspondent à la seule source d'alimentation pendant tout l'hivernage.

Le terroir de Sassem se différencie des deux autres terroirs par la présence d'un important marigot (25% de la STT) aux abords du terroir qui constitua un exutoire pour les animaux durant l'hivernage (en plus de la jachère collective) et une source de biomasse spontanée durant toute l'année.

2.3. QUELQUES PERSPECTIVES DE DEVELOPPEMENT LOCAL

On l'a déjà dit, la matière organique constitue une ressource ubiquiste mais rare dans ces systèmes territoriaux soudano-sahéliens (Manlay 2000). Chacune de ses allocations par le socio-système entraîne des risques potentiels de perte au sein du cycle de la biomasse de l'unité de production agricole (Rufino et al. 2006). Deux possibilités seraient donc logiques d'étudier afin d'améliorer durablement la productivité du système : (i) accroître la quantité

circulante de matière organique, ou (ii) augmenter les efficacités élémentaires sur les étapes les plus critiques au sein du cycle de transfert.

A cause de capacités d'investissement très limitées, la majorité des unités de production ne peuvent augmenter considérablement leur cheptel, principal producteur de matière organique fertilisante, et encore moins augmenter leurs achats d'engrais minéraux (Dugué 1998). L'augmentation de l'effectif animal aurait par ailleurs pour conséquence une pression accrue sur les ressources fourragères, déjà largement récupérées à l'échelle des foyers pour une gestion individuelle, et sur les zones résiduelles de parcours sur-pâturées. Corolairement, elle augmenterait l'effectif transhumant suite au manque de place et de nourriture en hivernage. Cette première solution semble donc peu envisageable aujourd'hui sans amélioration préalable de la productivité en biomasse spontanée sur les aires de parcours et provenant du parc arboré. Dans ce sens, Dugué (1998) propose la restauration du parc arboré comme solution. Cette pratique permettrait d'augmenter la matière organique produite dans le système grâce à la pratique de l'émondage, permettrait de donner une alternative à l'utilisation des fèces animales comme combustibles grâce à la production de bois-énergie, et augmenterait les transferts verticaux à destination de l'aire cultivée.

Concernant le sur-pâturage en cours sur les aires de parcours résiduelles, il ne semble pas si utopique de penser à la mise en place d'une gestion concertée et collective à l'échelle du terroir de ces zones pour en augmenter la productivité. Les structures sociétales sont au moins encore en place (le chef de village, prestance des anciens, etc).

Il semble également pertinent de rechercher des solutions permettant l'augmentation de l'efficacité des transferts de biomasse au sein de ces systèmes :

- l'application des écrits de Freschet et al. (2008) sur la concentration de la quantité de fumures organiques déposées par unité de surface lors de la divagation, du parage ou via apport de fumier – tout en formalisant une rotation efficace de cette pratique aux échelles de l'unité de production et du terroir – semble être intéressante.
- une gestion améliorée du fumier avec paillage de l'enclos pour permettre la récupération de l'azote urinaire, l'entreposage du tas sous ombrage pour éviter les phénomènes de volatilisation de l'azote, et dépôt sur la parcelle le plus tardivement possible, semble être aussi envisageable.

3. LIMITES METHODOLOGIQUES

3.1. UNE ETUDE ANNUELLE A DIRE D'ACTEURS

Les trois études furent réalisées sur un pas de temps d'une année. Deux biais potentiels sont alors à considérer sur la quantification des flux et calcul des bilans :

- La variabilité climatique et ses conséquences sur l'adaptation des pratiques agricoles.
L'hivernage 2014 sur Sob fut justement médiocre selon les agriculteurs, avec un début d'hivernage entrecoupé d'une longue période de sécheresse ainsi qu'un faible cumul pluviométrique total. En conséquence de nombreuses adaptations furent observées dans la gestion des systèmes de culture et systèmes d'élevage. En autres le disponible fourrager fut très faible (nombreux champs à n'avoir rien donné et ressource fourragère spontanée très faible). Les co-produits de battage et décorticage furent ainsi valorisés comme source d'alimentation pour le cheptel là où ils sont habituellement laissés sur place ou jetés sur le

tas de fumier en année normale. Ainsi est ce que les trois études annuelles reflètent chacune une réalité « normale » ou un cas particulier ?

- La présence d'une logique supra-annuelle dans les stratégies des pratiques agricoles invisible sur un pas de temps d'un an.

On pourrait aussi se questionner sur les deux ans qui ont séparé les études de Sassem et Barry Sine (2013-2014) et Sob (2014-2015). Les structures et fonctionnement des deux premiers terroirs sont-ils restés inchangés ? L'évolution des pratiques restent relativement lentes. On peut donc penser que le fonctionnement du terroir de Sob est comparable à celui de ses voisins deux ans auparavant.

Enfin la majorité des données analysées sont basées sur des estimations à dire d'enquêtés. Les questions posées ont fait appel à leur mémoire des dates, de l'origine des différents flux et des quantités, sur toute la période d'étude. Concernant les quantités, leur quantification s'est faite via la conversion en masse des nombreuses unités villageoises à l'usage (botte de mil, charrette de fumier, bassine de fane d'arachide, etc). Dans le souci de minimiser ces imprécisions temporelles et ces biais de pesée, toute une démarche d'imprégnation par le dialogue compréhensif, l'observation, et le recoupement d'informations entre acteurs a permis de dépasser le guide d'entretien et de rendre plus intelligent et réaliste les résultats et analyses produits.

3.2. MODELISATION ET SIMPLIFICATIONS

3.2.1. IMPACT DES PRATIQUES SUR LA TENEUR D'AZOTE DES FERTILISANTS

La modification dans le temps de la teneur en azote de la biomasse n'a pas été prise en compte. Pour une biomasse donnée, les facteurs de conversion furent les mêmes qu'elle ait été stockée ou fraîchement récoltée. Suivant la nature de la biomasse considérée et sa gestion, cette imprécision biaise plus ou moins la teneur en azote après stockage. C'est le cas de la fumure organique. Selon Rufino et al. (2006, 2007), les pratiques de collecte, stockage et épandage du fumier sont critiques dans le maintien de sa teneur en azote. Suite à cette absence de précision et aux pratiques très sommaires de gestion du fumier, on peut supposer que les flux de fertilisants organiques aient été sur-estimés dans le cadre de l'étude.

3.2.2. L'AIRE DE PARCOURS : UNE UNITE PAYSAGERE COMPLEXE

Ni le guide d'entretien ni la structure de la base de données n'ont permis d'individualiser précisément les multiples aires de parcours (bas-fond, *ped*, *diodj*, aire non cultivée, etc). Les temps de séjour n'ont été calculés qu'à l'échelle de l'aire globale. Pourtant les trajets des bergers et de leur troupeau sur les différentes sous-unités ont laissé entrevoir une logique complexe de valorisation de ces espaces.

Une des conséquences de cette imprécision spatio-temporelle fut la difficulté à calculer les indicateurs d'activité (prélèvement alimentaire, excrétion) et de chargement animal, et donc la durabilité des pratiques d'exploitation de cette unité paysagère. Dans un contexte de saturation agricole des terroirs et ainsi de variation importante du disponible fourrager suivant la saison, cette unité paysagère est importante à la fois pour sa fonction d'exutoire en hivernage pour les catégories non transhumantes et de stock fourrager complémentaire toute l'année durant.

3.3. DES ANALYSES COMPLEMENTAIRES PROFITABLES

3.3.1. *L'AZOTE, LA MATIERE ORGANIQUE ET LES FLUX VERTICAUX*

L'indicateur de l'azote est intéressant et pertinent puisqu'il constitue l'un des atomes majoritaires de la matière organique. Il est ainsi impliqué dans de nombreux flux d'origine anthropique au sein du cycle de la biomasse des unités de production agricole. Néanmoins l'élargissement aux autres nutriments indispensables à la plante (potassium et phosphore) ainsi qu'au carbone et à la matière organique, étendrait le diagnostic au maintien de la fertilité chimique et des propriétés physiques du sol (Manlay 2000).

La prise en compte des processus biologique et physique du système sol-plante dans les transferts d'azote permettrait également d'intégrer les transferts verticaux, qui pourraient se montrer tout aussi important que les flux anthropiques (en particulier la fonction du parc arboré majoritairement constitué de Fabacées).

3.3.2. *LA NECESSITE DE FAIRE UNE ANALYSE SOCIALE DES TRANSFERTS*

La présente étude a analysé le terroir à une échelle globale. Peu de détail fut apporté sur la diversité structurelle et fonctionnelle des unités de production agricole ainsi que sur les éventuelles règles collectives régissant certains transferts. Or « une partie des transferts est la manifestation de règles sociales régissant l'individu » (Rabot 1990). Une analyse sociologique des transferts à la double échelle des ménages et de la communauté qu'ils constituent au sein du terroir, permettrait de rendre compte du jeu social en place et des stratégies individuelles (à l'échelle du foyer) et collectives (à l'échelle de la communauté du terroir), concurrentielles ou synergiques dans la gestion de la biomasse et spécialement de celle à fonction fertilisante.

CONCLUSION

L'étude a eu pour objectif de caractériser l'état et le fonctionnement du terroir de Sob en termes de flux de biomasse, et spécialement via le prisme de l'azote ; puis de le comparer grâce à des indicateurs communs aux deux études antérieures de Sassem et Barry Sine, réalisées selon une méthodologie identique.

La comparaison des indicateurs de bilans apparents d'azote, calculés aux échelles de la parcelle, de l'unité de production et du terroir, ont permis d'arriver à des conclusions similaires. Il semblerait que les bilans apparents d'azote du sol sur les trois terroirs aient été en moyenne négatifs, et plus largement que les aires cultivées aient vu leur fertilité azotée apparente diminuer sur le pas de temps d'étude. Aux deux échelles supérieures, les bilans ont été au contraire positifs du fait d'importations conséquentes en alimentation pour le socio-système et le système d'élevage, et laissent penser à une accumulation d'azote.

Les images annuelles fournies par les schémas stock-flux apparents d'azote et l'analyse des relations entre les bio-compartiments territoriaux ont permis de dresser une image plus précise des structures de flux en fonction des pratiques. Ces images ont amené à observer certains points communs entre les terroirs. Ils montrent tous un recyclage important de la biomasse produite sur le terroir. Plus en détail, le cheptel constitue le principal vecteur des flux de fertilisants vers l'aire cultivée au travers des pratiques traditionnelles du parage et de divagation. La valorisation des productions agricoles produites sur les terroirs semble très importante (produits agricoles pour le socio-système comme fourrages pour le cheptel). Au-delà ces ressources semblent critiques puisque ces deux compartiments sont également dépendants d'importations respectivement en aliments pour animaux et en riz pour les hommes. Des différences non négligeables apparaissent lorsqu'on s'intéresse aux systèmes d'élevage territoriaux et à leur gestion. L'activité d'embouche, très développée sur Barry Sine (relativement moins sur Sob), est synonyme d'échanges intenses avec l'environnement extérieur en effectifs animaux et en aliments. Cette pratique permet néanmoins la fixation temporaire de bovins sur le terroir en saison sèche, et augmente ainsi la production de fumure organique. Contrairement à l'hypothèse de départ, cette nouvelle voie de valorisation ne supprime pas l'importance des dépôts liés aux pratiques traditionnelles de parage et de divagation. La saturation agricole territoriale ayant fait par ailleurs disparaître saisonnièrement les catégories animales transhumantes, des manques à gagner de matières organiques fertilisantes, sont observés sur ces deux terroirs (Barry Sine et Sob). A l'inverse le maintien de la jachère collective enclose sur Sassem, associée à la présence d'aires de parcours conséquentes attenantes au terroir pourrait avoir évité l'apparition de cette gestion et les pertes de biomasse associées.

En réponse à la problématique, on peut donc conclure que la diversité des pratiques agricoles et d'élevage observées pour les trois terroirs ont clairement impacté la structure des flux de biomasse sans pour autant altérer les indicateurs de bilans apparents d'azote à l'échelle de la parcelle. Il pourrait être intéressant de construire une typologie des unités de production basée sur leurs pratiques de gestion de la biomasse et de leurs dotations en cheptel, surface cultivée, main d'œuvre, etc afin de préciser l'impact des différentes stratégies sur l'organisation des flux de biomasse et de nutriments.

Des leviers d'amélioration de la gestion de la biomasse semblent être à penser du côté de l'entretien et de la densification du parc arboré pour augmenter la quantité de biomasse circulante dans le système terroir. Le parc contribuerait alors (i) à augmenter et diversifier les

ressources en fourrages – critiques en période de soudure les années sèches – et en combustible ; et (ii) contribuerait au maintien de la fertilité de l'aire cultivée par l'intermédiaire des flux verticaux. L'augmentation de l'efficacité des transferts de biomasse au sein de l'unité de production agricole semble également pertinente avec une gestion plus optimisée de la collecte, stockage et épandage de la fumure organique afin d'accroître les niveaux d'intégration agriculture-élevage.

BIBLIOGRAPHIE

- Altieri, M. A. 2002. « Agroecology: the science of natural resource management for poor farmers in marginal environments ». *Agriculture, ecosystems & environment* 93 (1): 1-24.
- Audouin, E., J. Vayssieres, et D. Masse. 2014. « Terroirs comparison in terms of biomass flows and nitrogen balance. Study case of Diohine and Barry Sine in the former groundnut basin ». Mémoire de Master 2. Toulouse: INP Purpan.
- Badiane, Y. 2006. « Evolution du système d'Élevage face aux pressions foncière, environnementale et démographique dans le parc agro-forestier de Niakhar ». Dakar, Sénégal: Université Cheikh Anta Diop.
- Boulier, F., et Philippe Jouve. 1990. « Evolution des systèmes de production Sahéliens et leur adaptation à la sécheresse ». Ouvrage. <http://agritrop.cirad.fr/351070/>.
- CERAO. 2013. « Projet CERAO, Auto-adaptation des agro-socio-écosystèmes tropicaux face aux changements globaux ? Etude à long terme en vue d'une intensification écologique de la production de céréales dans les zones de savanes en Afrique de l'Ouest - Document scientifique ».
- Charreau, C., et R. Fauck. 1967. « Les sols du Sénégal ». *Etudes Sénégalaises*, n° 9: 115-54.
- Diarisso, T., N. Andrieu, G. Chirat, M. Corbeels, et P. Tittonell. 2012. « Construction d'un modèle des flux de biomasses pour analyser avec les acteurs l'impact de l'introduction de l'agriculture de conservation sur la gestion de la fertilité à l'échelle du territoire villageois. Cas du Burkina Faso ». In , 7p. Bobo-Dioulasso, Burkina Faso: Cirad.
- Diarisso, T., M. Corbeels, N. Andrieu, P. Djamen, et P. Tittonell. 2015. « Biomass Transfers and Nutrient Budgets of the Agro-Pastoral Systems in a Village Territory in South-Western Burkina Faso ». *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 101 (3): 295-315. doi:10.1007/s10705-015-9679-4.
- Dixon, J., D. P. Gibbon, A. Gulliver, et M. Hall. 2001. *Farming systems and poverty: improving farmers' livelihoods in a changing world*. Rome : Washington, D.C: FAO ; World Bank.
- Dugué, P. 1998. « Les transferts de fertilité dus à l'élevage en zone de savane ». *Agriculture et développement* 18: 99-107.
- Freschet, G., D. Masse, E. Hien, S. Sall, et J.-L. Chotte. 2008. « Long-term changes in organic matter and microbial properties resulting from manuring practices in an arid cultivated soil in Burkina Faso ». *Agriculture Ecosystems and Environment* 123 (1-3): 175-84. doi:10.1016/j.agee.2007.05.012.
- Gastellu, J.-M. 1980. « Mais, où sont donc ces unités économiques que nos amis cherchent tant en Afrique ? » *Cahiers ORSTOM.Série Sciences Humaines* 17 (1-2): 3-11.
- Gastellu, J.-M. 1988. « Le paysan, l'État et les sécheresses ». *Cah. Sci. Hum* 24 (1): 118136.
- Guigou, B. 1999. « La composition familiale du groupe domestique ». In *Paysans sereer : dynamiques agraires et mobilités au Sénégal*, édité par André Lericollais, 195-207. A Travers Champs. Paris: IRD. <http://www.documentation.ird.fr/hor/fdi:010018777>.
- Hiernaux, P., A. Ayantunde, A. Kalilou, E. Mougin, B. Gérard, F. Baup, M. Grippa, et B. Djaby. 2009. « Trends in productivity of crops, fallow and rangelands in Southwest Niger: Impact of land use, management and variable rainfall ». *Journal of Hydrology* 375 (1): 65-77.

- Jankowski, F. 2013. « Les typologies traditionnelles sont-elles fonctionnelles ? » *Revue d'anthropologie des connaissances* Vol. 7,1 (1): 271-90.
- Lalou, R., et V. Delaunay. 2012. « Culture de la pastèque, du sanio et pratique de l'embouche bovine dans la zone d'étude de Niakhar, En quête légère juin 2013, Rapport d'analyse ». Dakar: Laboratoire Population, Environnement, Développement.
- Lericollais, A. 1972. *SOB.: Étude géographique d'un terroir sérere (Sénégal)*. 7. IRD Editions. http://books.google.fr/books?hl=fr&lr=&id=eer2UL29Z7cC&oi=fnd&pg=PA5&dq=Sob+lericollais+etude+g%C3%A9ographique&ots=ZCLqzjx7mF&sig=KbpT14Z8mZ3_wlsgHgPyxUkxp0Q.
- Lericollais, A. 1989. « La mort des arbres à Sob, en pays Sereer (Sénégal) ». *Tropiques: Lieux et Liens*. ORSTOM, Paris, 187-97.
- Lericollais, A. 1999. *Paysans sereer: dynamiques agraires et mobilités au Sénégal*. IRD Editions. http://books.google.fr/books?hl=fr&lr=&id=oecPdH6XW6YC&oi=fnd&pg=PA18&dq=Paysans+sereer+dynamiques+agraires+Lericollais&ots=gpYo6Xt_vl&sig=5QWbt4OCdmoW7wySwSF4kddD6xU.
- Lombard, J. 1999. « Les fondements de l'économie locale : des soudures aux crises : les réponses paysannes dans le Sine ». In *Paysans sereer : dynamiques agraires et mobilités au Sénégal*, édité par André Lericollais, 521-34. A Travers Champs. Paris: IRD. <http://www.documentation.ird.fr/hor/fdi:010018788>.
- Manlay, R. J. 2000. « Dynamique de la matière organique à l'échelle d'un terroir agro-pastoral de savane ouest-africaine (sud-Sénégal) ». ENGREF (AgroParisTech). <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00005770/>.
- Milleville, P., et G. Serpantié. 1994. « Intensification et durabilité des systèmes agricoles en Afrique soudano-sahélienne ». In *Promotion de systèmes agricoles durables dans les pays d'Afrique soudano-sahélienne*, 33-45. Wageningen: CTA. <http://www.documentation.ird.fr/hor/fdi:010004818>.
- Mitsch, W. J., et S. E. Jørgensen. 2003. « Ecological engineering: A field whose time has come ». *Ecological Engineering, The Philosophy and Emergence of Ecological Engineering*, 20 (5): 363-77. doi:10.1016/j.ecoleng.2003.05.001.
- Odru, M., J. Vayssieres, Dugué P. et D. Masse. 2013. « Flux de biomasse et renouvellement de la fertilité des sols à l'échelle de terroir. Etude de cas d'un terroir villageois Sereer au Sénégal ». Mémoire de Master 2. Cergy: ISTOM.
- Odum, H. T., et B. Odum. 2003. « Concepts and methods of ecological engineering ». *Ecological Engineering, The Philosophy and Emergence of Ecological Engineering*, 20 (5): 339-61. doi:10.1016/j.ecoleng.2003.08.008.
- Pélissier, P. 1966. *Les paysans du Sénégal - Les civilisations agraires du Cayor à la Casamance*. Saint-Yrieix: Fabrègue.
- Pieri, C. 1992. *Fertility of soils: a future for farming in the West African savannah*. Springer-Verlag. <http://www.cabdirect.org/abstracts/19921972081.html>.
- Rabot, C. 1990. « Transferts de fertilité et gestion des terroirs... Quelques points de vue ». *Cahiers de la Recherche Développement*, n° 25. http://cahiers-recherche-developpement.cirad.fr/revue/notice_fr.php?dk=437038.
- Roch, J. 1975. « Les migrations économiques de saison sèche en bassin arachidier sénégalais ». *Cahiers ORSTOM.Série Sciences Humaines* 12 (1): 55-80.

- Rufino, M. C., E. Rowe, R. Delve, et K. Giller. 2006. « Nitrogen cycling efficiencies through resource-poor African crop–livestock systems ». *Agriculture, ecosystems & environment* 112 (4): 261-82.
- Rufino, M. C., P. Tiftonell, M. T. Van Wijk, A. Castellanos-Navarrete, R. J. Delve, N. De Ridder, et K. E. Giller. 2007. « Manure as a key resource within smallholder farming systems: analysing farm-scale nutrient cycling efficiencies with the NUANCES framework ». *Livestock Science* 112 (3): 273-87.
- Ruthenberg, H. 1971. *Farming systems in the tropics*. Oxford: Clarendon press.
- Saunier-Zoltobroda, T., J. Vayssieres, Costera Pastor A. et D. Masse. 2015. « Flux de biomasse à l'échelle du paysage et hétérogénéité spatiale des bilans de nutriments – Cas du Bassin Arachidier au Sénégal ». Mémoire de Master 2. Cergy: ISTOM.
- Smaling, Eric, Stephen M. Nandwa, et Bert H. Janssen. 1997. « Soil fertility in Africa is at stake ». *Replenishing soil fertility in Africa*, n° replenishingsoi: 47-61.
- Stoorvogel, J., et E. M. A. Smaling. 1990. « Assessment of soil depletion in Sub-Saharan Africa 1983-2000 ». 28. Wageningen: The Winand Staring Centre.
- Vigan, A. 2013. « Trajectoire sur 15 ans et durabilité du terroir agro-pastoral de Sare Yero Bana: une approche par les flux de biomasse et d'azote ». Lille: Groupe ISA.

ANNEXES

ANNEXES.....	83
ANNEXE 1 : EXPLICATION DETAILLEE DES CHOIX METHODOLOGIQUES PRIS POUR EVALUER L'ALIMENTATION DU TAS DE FUMIER EN DEJECTIONS ET L'AFFOURAGEMENT DU CHEPTEL CONCERNE	84
QUANTIFICATION DE L'ALIMENTATION DU TAS DE FUMIER PAR LE CHEPTEL CONCERNE	84
QUANTIFICATION DE L'AFFOURAGEMENT DU CHEPTEL CONCERNE PAR LE TAS DE FOURRAGES.....	84
ANNEXE 2 : CARTE DES LIEUX-DITS DU TERROIR DE SOB	85
ANNEXE 3 : IMPORTANCES DES GESTIONS PRATIQUEES EN FONCTION DES CATEGORIES ANIMALES PRESENTES SUR LES TERROIRS DE SOB, SASSEM ET BARRY SINE.....	86
ANNEXE 4 : IMPORTANCES DES CATEGORIES EN FONCTION DES GESTIONS PRATIQUEES SUR LES TERROIRS DE SOB, SASSEM ET BARRY SINE	87

ANNEXE 1 : EXPLICATION DETAILLEE DES CHOIX METHODOLOGIQUES PRIS POUR EVALUER L'ALIMENTATION DU TAS DE FUMIER EN DEJECTIONS ET L'AFFOURAGEMENT DU CHEPTEL CONCERNE

QUANTIFICATION DE L'ALIMENTATION DU TAS DE FUMIER PAR LE CHEPTEL CONCERNE

La première construction du flux alimentant le tas de fumier en déjections animales permit de constater qu'elle était différente à celle effectivement épandue sur l'aire cultivée. Une conclusion serait qu'un stock se constitue au cours du temps. Mais rappelons trois points :

- le tas de fumier est un stock transitoire puisqu'il est remis à zéro en début d'hivernage lorsque tout est épandu (observations de terrain).
- Le fumier épandu est composite puisqu'il est constitué d'excrétas du cheptel et des déchets ménagers divers
- la valeur du flux animaux → fumier est issue d'un calcul basé sur la durée de séjour à l'enclos multiplié par une quantité d'excrétion par UBT par jour.

On a donc décidé de prendre la quantité effectivement épandues comme valeur de référence. La valeur du flux partant des animaux vers le tas devient donc :

$$\text{flux (animaux} \rightarrow \text{fumier)} = \text{flux (fumier} \rightarrow \text{aire cultivée)} - \text{flux(humains} \rightarrow \text{fumier)}$$

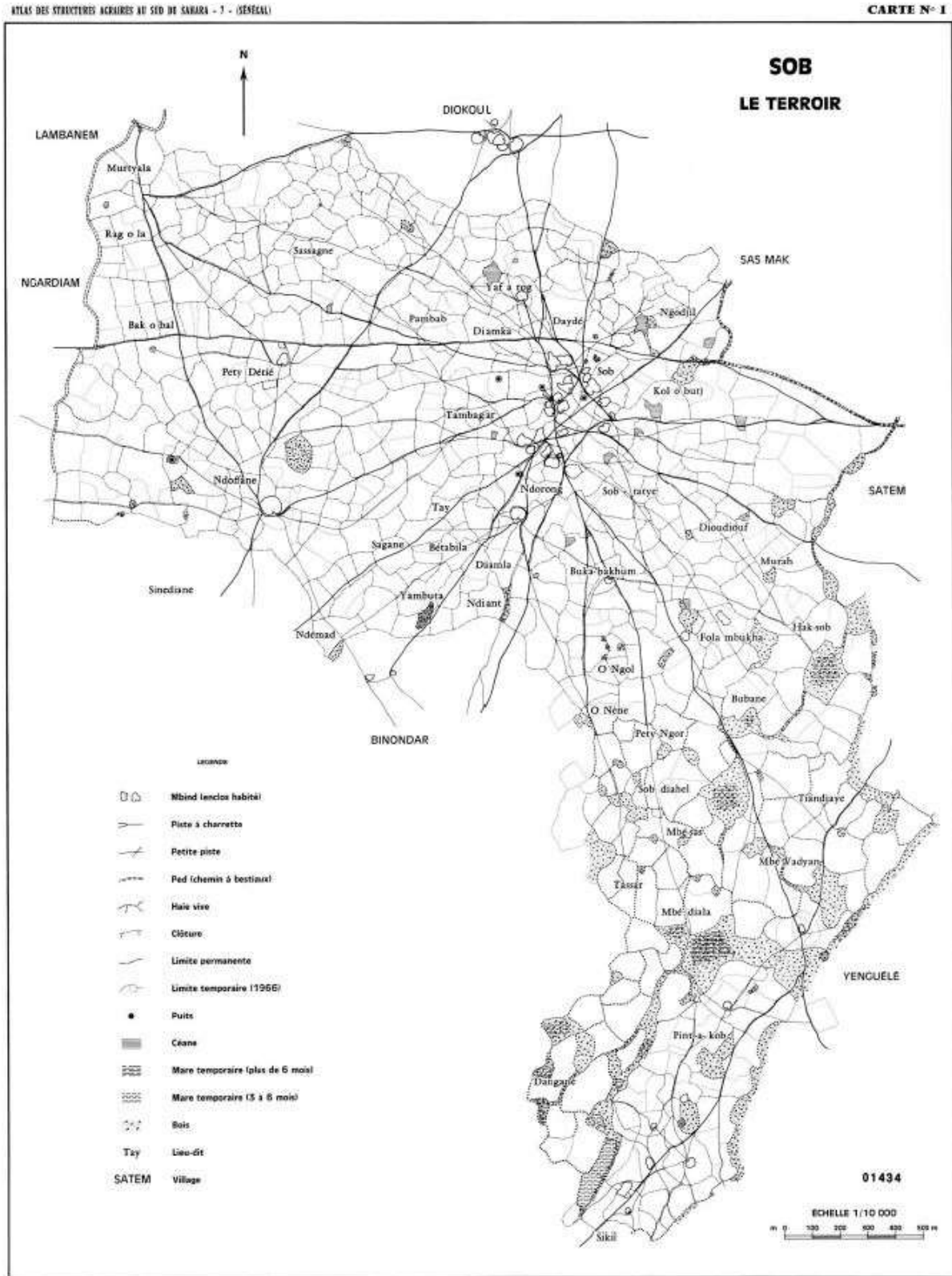
QUANTIFICATION DE L'AFFOURAGEMENT DU CHEPTEL CONCERNE PAR LE TAS DE FOURRAGES

L'affouragement du cheptel était initialement calculé à partir des estimations de rationnement des enquêtés. On notait alors une différence entre la quantité de fourrages récoltés non vendus et celle issue du rationnement (souvent supérieure). Rappelons que les entretiens ont demandé aux enquêtés un travail important de mémoire puisqu'ils ont été amenés à estimer le rationnement de chacun de leur lot de gestion depuis le début de l'hivernage 2014 jusqu'à la fin de la saison sèche 2015. Une hypothèse serait que les rationnements ont été simplifiés à la hausse ou les récoltes à la baisse. Supposant qu'il était plus simple de se rappeler des récoltes par parcelle (valeurs ponctuelles) que du rationnement sur un an (valeurs continues), nous convenons alors de privilégier l'estimation des quantités d'affouragement par celle des résidus de récolte.

$$\text{flux (fourrages} \rightarrow \text{animaux)} = \text{flux (végétal cultivé} \rightarrow \text{fourrages)} - \text{flux(fourrages} \\ \rightarrow \text{extérieur terroir)}$$

ANNEXE 2 : CARTE DES LIEUX-DITS DU TERROIR DE SOB

(Tiré de Sphaera ; <http://sphaera.cartographie.ird.fr/>)



ANNEXE 3 : IMPORTANCES DES GESTIONS PRATIQUEES EN FONCTION DES CATEGORIES ANIMALES PRESENTES SUR LES TERROIRS DE SOB, SASSEM ET BARRY SINE

Catégories animales et gestions associées	Sob				Sassem ²⁹ (Odru et al. 2013)	Barry Sine (Audouin et al. 2014)		
	UBT.an-1	UBT.ha-1.an-1 (SAUT)	%UBT catégorie et gestion/UBT terroir	%UBT gestion/ UBT catégorie		UBT.ha-1.an-1 (SAUT)	%UBT catégorie et gestion/UBT terroir	%UBT gestion/ UBT catégorie
Catégories transhumantes	184,50	1,40	52,65%			0,48	28,11%	
Bovins	179,20	1,36	51,14%	97,13%		0,37	21,65%	77,02%
Ovins	0,24	0,00	0,07%	0,13%		0,06	3,59%	12,77%
Caprins	0,00	0,00	0,00%	0,00%		0,04	2,56%	9,11%
Equins	1,20	0,01	0,34%	0,65%		0,00	0,00%	0,00%
Asins	3,85	0,03	1,10%	2,09%		0,01	0,31%	1,10%
Catégories embouchées	14,80	0,11	4,22%			0,40	23,58%	
Bovins	13,10	0,10	3,74%	88,49%		0,35	20,46%	86,76%
Ovins	1,53	0,01	0,44%	10,36%		0,05	3,10%	13,16%
Caprins	0,17	0,00	0,05%	1,14%		0,00	0,02%	0,08%
Catégories traditionnelles sédentaires	132,79	1,01	37,89%			0,58	34,35%	
Bovins	48,23	0,37	13,76%			0,01	0,60%	1,74%
Ovins	12,53	0,09	3,58%			0,11	6,60%	19,22%
Caprins	27,51	0,21	7,85%			0,15	8,73%	25,41%
Equins	37,45	0,28	10,69%			0,24	14,28%	41,57%
Asins	7,06	0,05	2,02%			0,07	4,14%	12,06%
Autre gestion						0,24	13,92%	
Bovins	-					0,18	10,45%	75,04%
Ovins	-					0,04	2,18%	15,65%
Caprins	-					0,02	1,30%	9,31%
Porcs & volaille	18,35	0,14				0,00	0,04%	
Porcins	16,88	0,13	4,82%			0,00	0,00%	0,00%
Volaille	1,47	0,01	0,42%			0,00	0,04%	100,00%

²⁹ La structure de la base de données de Sassem n'a pas permis le travail d'analyse comparative suivant les gestions d'élevage.

ANNEXE 4 : IMPORTANCES DES CATEGORIES EN FONCTION DES GESTIONS PRATIQUEES SUR LES TERROIRS DE SOB, SASSEM ET BARRY SINE

Catégories animales et gestions associées	Sob			Sassem (Odru et al. 2013)		Barry Sine (Audouin et al. 2014)		
	UBT.ha ⁻¹ .an ⁻¹ (SAUT)	% UBT terroir	% UBT gestion/ UBT catégorie	UBT.ha ⁻¹ .an ⁻¹ (SAUT)	% UBT terroir	UBT.ha ⁻¹ .an ⁻¹ (SAUT)	% UBT terroir	% UBT gestion/ UBT catégorie
Bovins	1,82	68,64%		0,42	38,57%	0,90	53,16%	
Transhumants	1,36	51,14%	74,50%			0,37	21,65%	40,74%
Embouchés	0,10	3,74%	5,45%			0,35	20,46%	38,48%
Sédentaires	0,37	13,76%	20,05%			0,01	0,60%	1,13%
Autre gestion						0,18	10,45%	19,66%
Ovins	0,11	4,08%		0,10	9,05%	0,26	15,48%	
Transhumants	0,00	0,07%	1,70%			0,06	3,59%	23,21%
Embouchés	0,01	0,44%	10,72%			0,05	3,10%	20,05%
Sédentaires	0,09	3,58%	87,58%			0,11	6,60%	42,66%
Autre gestion						0,04	2,18%	14,08%
Caprins	0,21	7,90%		0,23	21,49%	0,21	12,60%	
Transhumants	0,00	0,00%	0,00%			0,04	2,56%	20,31%
Embouchés	0,00	0,05%	0,61%			0,00	0,02%	0,15%
Sédentaires	0,21	7,85%	99,39%			0,15	8,73%	69,25%
Autre gestion						0,02	1,30%	10,28%
RUMINANTS	2,14	80,62%		0,75	69,11%	1,38	81,23%	
Equins	0,29	11,03%		0,14	13,16%	0,24	14,28%	
Transhumants	0,01	0,34%	3,10%			0,00	0,00%	0,00%
Sédentaires	0,28	10,69%	96,90%			0,24	14,28%	100,00%
Asins	0,08	3,11%		0,08	7,52%	0,08	4,45%	
Transhumants	0,03	1,10%	35,29%			0,01	0,31%	6,94%
Sédentaires	0,05	2,02%	64,71%			0,07	4,14%	93,06%
Volaille	0,01	0,42%		0,01	0,71%	0,00	0,04%	
Porcins	0,13	4,82%		0,10	9,49%	0,00	0,00%	
MONOGASTRIQUES	0,51	19,38%		0,34	30,89%	0,32	18,77%	
UBT.ha ⁻¹ transhumants		1,40					0,48	
UBT.ha ⁻¹ embouchés		0,11					0,40	
UBT.ha ⁻¹ sédentaires		1,14					0,58	