



ISTOM  
École Supérieure d'Agro-Développement International

32, boulevard du Port F. - 95094 - Cergy-Pontoise Cedex  
Tél. : 01 30 75 62 60      Télécopie : 01 30 75 62 61

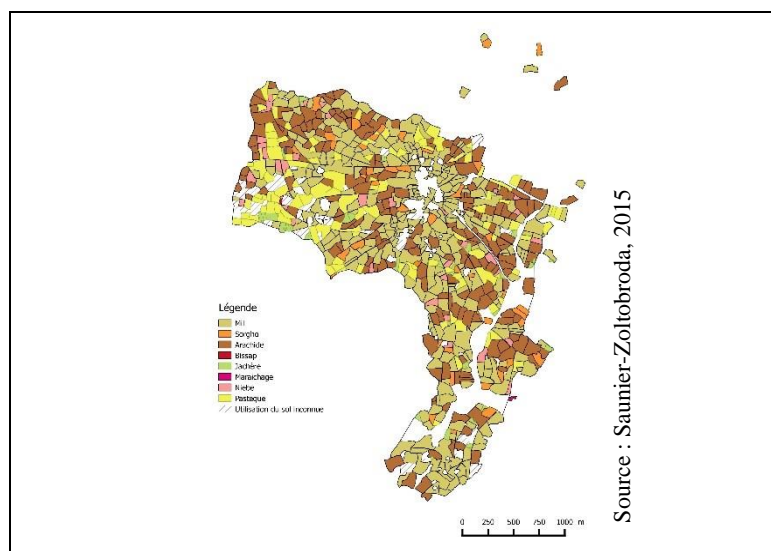
[istom@istom.net](mailto:istom@istom.net)



## Mémoire de fin d'études

Flux de biomasse à l'échelle du paysage et  
hétérogénéité spatiale des bilans d'azote

Cas de trois terroirs du bassin Arachidier au Sénégal



SAUNIER-ZOLTOBRODA, Théo  
Promotion 101

Stage effectué à Sob, Sénégal  
du 16/03/2015 AU 16/09/2015  
au sein de : CIRAD, PPZS

Maître de stage : Vayssières, Jonathan  
Tuteur pédagogique : Costera-Pastor, Adrián

## Résumé

En Afrique de l'Ouest, sous climat semi-aride à sub-humide, la durabilité des systèmes de production est particulièrement dépendante des interactions entre agriculture et élevage. En effet, les sols y sont naturellement pauvres et les apports de déjections animales et autres fumures organiques sont essentiels au maintien de la fertilité des sols et de la productivité des systèmes locaux. L'objectif de cette étude est d'étudier les transferts de fertilité et l'hétérogénéité spatiale des bilans azotés qui en découle à l'échelle du paysage. Un focus a donc été fait sur la quantification et la modélisation des flux de biomasse (matière sèche) à l'échelle de trois terroirs villageois agro-sylvo-pastoraux de l'ancien bassin arachidier au Sénégal, contrastés en termes de pratiques agricoles et d'élevage. Ce travail a révélé qu'on ne pouvait pas conclure quant à un gradient des bilans azotés en fonction de la distance à l'habitat. Les différences de bilans entre champs de case, champs de brousse proches et champs de brousse éloignés ne sont pas significatives. On obtient des bilans azotés en moyenne négatifs pour la quasi-totalité des unités paysagères étudiées. L'étude des flux de biomasse a montré que les flux liés à l'alimentation et aux excréments animaux sont les plus importants pour les trois terroirs : ils représentent respectivement pour Barry Sine, Diohine et Sob ; plus de 40, 58 et 60 % des flux de matière sèche totaux du terroir. Des voies d'intensification écologiques, comme la réhabilitation du parc arboré et le maintien des zones de parcours pour les troupeaux faciliteraient les transferts de fertilités entre unités paysagères.

Mots clés : agro-sylvo-pastoralisme ; fertilité des sols ; modélisation ; écologie du paysage ; azote ; biomasse ; bassin arachidier sénégalais.

## ABSTRACT

In West Africa, in semi-arid and sub-humid climates, sustainability of farming systems is particularly dependent on interactions between agriculture and livestock. Indeed, the soils are naturally low and contributions of animal waste and other organic manures are essential to maintaining soil fertility and productivity of local systems. The objective of this study is to investigate fertility transfers and spatial heterogeneity of nitrogen balances that results across the landscape. A focus has been done on quantifying and modeling biomass flows (dry matter) across three agro-forestry-pastoral village lands of the former groundnut area in Senegal, contrasted in terms of farming practices and livestock. This work showed that we could not conclude on a gradient of nitrogen balances depending on the distance to the habitat. The differences between compound fields, closed bush fields and distant bush fields are not significant. This gives an average negative nitrogen balance for almost all studied landscape units. The study of biomass flows showed that flows related to food and animal excretions are the most important for the three villages. They represent for Barry Sine, Diohine and Sob; over 40, 58 and 60% of total dry matter flows. Ways of ecological intensification, such as rehabilitation of the park and the maintenance of rangelands for livestock fertilities, would facilitate transfers between landscape units.

Keywords: agropastoralism; soil fertility; modeling; landscape ecology; nitrogen; biomass; Senegalese groundnut area.

## RESUMEN

En África occidental, en los climas semiáridos y subhúmedos, la sostenibilidad de los sistemas de producción es particularmente dependiente de las interacciones entre la agricultura y la cría. De hecho, los suelos son naturalmente bajos y las contribuciones de los desechos animales y otros abonos orgánicos son esenciales para el mantenimiento de la fertilidad del suelo y la productividad de los sistemas locales. El objetivo de este estudio es investigar las transferencias de fertilidad y la heterogeneidad espacial de los balances de nitrógeno que se traduce a través del paisaje. Un enfoque ha sido en la cuantificación y la modelización de los flujos de biomasa (materia seca) por tres pueblos agroforestal-pastorales de la antigua zona del cacahuete en Senegal, distintos en términos de prácticas agrícolas y de cría. Este trabajo demostró que no pudimos concluir en un gradiente de balances de nitrógeno en función de la distancia al hábitat. Las diferencias entre los saldos de campos compuestos, campos de matorrales cercanos y campos de matorrales distantes, no son significativas. Esto le da un saldo promedio negativo de nitrógeno para la casi-totalidad de las unidades del paisaje estudiadas. El estudio de los flujos de biomasa mostró que los flujos relacionados con alimentos y animales excreciones son los más importantes para las tres localidades. Representan para Barry Sine, Diohine y Sob; más de 40, 58 y 60% de los flujos totales de materia seca. Soluciones de intensificación ecológica, tales como la rehabilitación del parque y el mantenimiento de los pastizales para ganado fertilidades, facilitarían las transferencias entre unidades del paisaje.

Palabras claves: agricultura, silvicultura y el pastoreo; fertilidad del suelo; modelado; ecología del paisaje; nitrógeno; biomasa; Cuenca del cacahuete senegalés.

## Table des matières

<b>Résumé.....</b>	<b>2</b>
<b>Table des matières.....</b>	<b>4</b>
<b>Table des illustrations .....</b>	<b>6</b>
<b>Table des abréviations, sigles et termes étrangers.....</b>	<b>7</b>
<b>Remerciements.....</b>	<b>8</b>
<b>Introduction.....</b>	<b>9</b>
<b>Contexte.....</b>	<b>11</b>
1. Contexte général de l'étude.....	11
2. Caractéristiques du site d'étude .....	11
a. Généralités : localité et contexte agro-climatique .....	11
b. Les grands changements du système agricole.....	12
<b>Méthodologie.....</b>	<b>14</b>
1. Exhaustivité des ménages enquêtés et échantillonnage .....	14
a. Notion de terroir villageois.....	14
b. Unités de résidence et de production .....	14
c. Méthode d'échantillonnage pour le terroir de Sob (Dugy, 2015) .....	15
d. Unités de gestion.....	15
e. Échelle de temps .....	16
2. Cadre conceptuel .....	16
a. Cartographie.....	16
b. Inventaire, quantification et spatialisation des flux de biomasse par enquêtes.....	17
3. Analyse de données .....	19
a. Hétérogénéité spatiale des bilans d'azote .....	19
b. Calcul du bilan d'azote .....	19
c. Caractérisation des unités paysagères .....	19
d. Flux de biomasse à l'échelle du terroir .....	19
<b>Résultats.....</b>	<b>20</b>
1. Caractérisation générale des systèmes à l'échelle terroir .....	20
a. Cartes : Des structures de paysage différentes.....	20
b. Indicateurs clés de comparaison .....	22
c. Organisation spatiale et utilisation de l'espace dans le terroir .....	23
2. Hétérogénéité spatiale des bilans d'azote .....	24
a. Cartes des bilans d'azote.....	24
b. Caractérisation des unités paysagères .....	27
c. Données comparatives inter-unités paysagères cultivées et inter-terroir.....	29
3. Flux de biomasse en fonction des unités paysagères .....	33
a. Cartographie des entrées de matière sèche .....	33
b. Modélisation des flux de matière sèche à l'échelle du terroir .....	37
<b>Discussion.....</b>	<b>40</b>
1. Des systèmes durables ? .....	40
2. Quels processus écologiques sont mobilisés dans les terroirs étudiés ? .....	41
a. Barry Sine .....	41
b. Diohine .....	41
c. Sob.....	42

3.	Voies d'intensifications écologiques privilégiées .....	42
a.	Réduction de la transhumance par la réhabilitation/conservation des ressources naturelles.....	42
b.	Augmentation/amélioration des ressources en matière organique et optimisation des processus de transferts de fertilité.....	43
4.	Limites de l'étude.....	44
a.	Hétérogénéité temporelle des flux étudiés .....	44
b.	La durabilité : une notion pluridisciplinaire.....	44
c.	Limites de la porte d'entrée « ménages ».....	45
d.	Limites d'une étude à dire d'acteurs .....	45
	<b>Conclusion .....</b>	<b>46</b>
	<b>Bibliographie .....</b>	<b>47</b>
	<b>Table des annexes.....</b>	<b>51</b>
	<b>Annexes.....</b>	<b>52</b>

## Table des illustrations

<i>Figure 1 : Carte des grands domaines climatiques au Sénégal.</i> .....	12
<i>Figure 2 : Carte des occupations de sol (cultures principales), Diohine, 2012.</i> .....	20
<i>Figure 3 : Carte des occupations de sol, Barry Sine, 2012.</i> .....	21
<i>Figure 4 : Carte des occupations de sol (cultures principales), Sob, 2014.</i> .....	21
<i>Figure 5 : Distance moyenne de la culture à l'habitat</i> .....	23
<i>Figure 6 : Carte des bilans d'azote à l'échelle parcelle, Sob, 2014</i> .....	24
<i>Figure 7 : Carte des bilans d'azote à l'échelle parcelle, Barry Sine, 2013</i> .....	25
<i>Figure 8 : Carte des bilans d'azote à l'échelle parcelle, Diohine, 2012.</i> .....	26
<i>Figure 9 : Régression linéaire des bilans d'azote en fonction de la distance à l'habitat</i> .....	27
<i>Figure 10 : Bilans d'azote moyens en fonction de la distance à l'habitat</i> .....	28
<i>Figure 11 : Apports liés au parcage de saison des pluies par unité paysagère</i> .....	31
<i>Figure 12 : Apports liés au parcage de saison sèche par unité paysagère</i> .....	32
<i>Figure 13 : Apports de fumier par unité paysagère</i> .....	32
<i>Figure 14 : Apports d'engrais minéraux par unité paysagère</i> .....	33
<i>Figure 15 : Carte des apports de matière sèche à l'échelle de la parcelle pour le terroir de Sob (T/ha)</i> .....	34
<i>Figure 16 : Carte des apports de matière sèche à l'échelle de la parcelle pour le terroir de Diohine (T/ha)</i> .....	35
<i>Figure 17 : Carte des apports de matière sèche à l'échelle de la parcelle pour le terroir de Barry Sine (T/ha)</i> .....	36
<i>Figure 18 : Flux de biomasse pour le village de Barry Sine (% des flux totaux de matière sèche du terroir)</i> .....	37
<i>Figure 19 : Flux de biomasse pour le village de Diohine (% des flux totaux de matière sèche du terroir)</i> .....	38
<i>Figure 20 : Flux de biomasse pour le village de Sob (% des flux totaux de matière sèche du terroir)</i> .....	39
<i>Tableau 1 : Indicateurs clés de comparaison des trois terroirs étudiés</i> .....	22
<i>Tableau 2 : Écarts-types : bilans d'azote en fonction de la distance à l'habitat</i> .....	28
<i>Tableau 3 : Comparaison des surfaces des unités paysagères (ha)</i> .....	29
<i>Tableau 4 : Données comparatives des trois terroirs par unité paysagère</i> .....	30
<i>Tableau 5 : Flux de biomasse pour le village de Barry Sine (% des flux totaux de matière sèche du terroir)</i> .....	37
<i>Tableau 6 : Flux de biomasse pour le village de Diohine (% des flux totaux de matière sèche du terroir)</i> .....	38
<i>Tableau 7 : Flux de biomasse pour le village de Sob (% des flux totaux de matière sèche du terroir)</i> .....	39

## Table des abréviations, sigles et termes étrangers

- *Acacia albida* ou *Faidherbi albida*
- *Arachis hypogaea* : Arachide
- *Dekk* (sol) ou *Dek* : Sols tropicaux hydromorphes à engorgement temporaire
- *Dior* (sols) : Sols ferrugineux tropicaux non lessivés
- *Etc.* : *et caetera*
- *F.A.O* : Food and Agriculture Organization of the United Nations
- ha : Hectare
- hab : Habitants
- *Hibiscus sabdariffa* : Bissap
- *Human driven flows* : Flux relatifs à l'alimentation humaine
- IE : Intensification écologique
- *Id* : Saison sèche
- kgMB : Kilogrammes de matière brute
- kgMN : Kilogrammes d'azote
- kgMS : Kilogrammes de matière sèche
- *Livestock driven flows* : Flux relatifs aux animaux
- *Matye* : Mil à cycle long
- *Mbind* : Concessions
- *Ndik* : Saison des pluies
- *Ngak* : Cuisine ou ménage
- *Ngud* : *Guiera senegalensis*
- *Others* : Autres
- *Ped* ou *pedala* : Chemin aménagé pour le bétail entre les champs cultivés
- *Pennisetum glaucum* L : Mil (ou petit mil)
- *Pod* : Mil à cycle court
- *Sarandam* : Période entre les deux premières pluies de la saison
- SAUT : Surface Agricole Utile Terroir
- *Sek* : période des récoltes
- *Sorghum bicolor* : Sorgho commun
- SP : Saison des pluies
- SS : Saison sèche
- UBT : Unité de Bétail Tropical
- UTH : Unité de travail humain
- *Vigna unguiculata subsp. Unguiculata* : Niébé

## Remerciements

Je remercie tout d'abord Jonathan Vayssières, mon maître de stage, qui a su me faire confiance pour cette étude et m'a accompagné tout au long de la mission pour que l'on puisse atteindre les objectifs fixés.

Merci à Dominique Masse, mon co-maître de stage, qui a tout fait pour le bon déroulement de la mission.

Merci à Adrián Costera-Pastor, mon tuteur pédagogique de l'ISTOM, qui a veillé sur mon travail depuis la France et qui m'a accordé du temps pour la relecture de mon mémoire.

Merci à Thibault Dugy, mon binôme d'étude, pour son regard éclairé sur le fonctionnement de la vie Sereer et pour sa motivation qui est restée constante pendant six mois.

Merci aux habitants de Sob, qui m'ont accueilli avec le sourire et ont pris le temps de répondre à mes questions malgré un calendrier des travaux agricoles chargé. Je leur souhaite de bonnes récoltes.

Merci à mes deux traducteurs et amis, Ousmane Faye et André Diatte.

Merci à Richard Lalou et Valérie Delaunay, qui m'ont mis à disposition toutes les informations permettant de préparer la première phase de terrain et qui ont été présents dans les moments difficiles.

Merci à Arnaud Gauffreteau et Manasse Bezara qui m'ont bénévolement aiguillé dans les choix d'analyses statistiques

Je remercie enfin André Lericollais, que je ne connais malheureusement pas, et qui a constitué des documents extrêmement divers et intéressants.



## Introduction

Dans les pays du Sud, le contexte actuel de croissance démographique est particulièrement marqué (Banque Mondiale, 2014). Il s'additionne aux contraintes liées aux tensions sur les ressources naturelles, remettant en cause la durabilité de ces ressources et notamment celle de la fertilité des sols.

En Afrique de l'Ouest, en partie du fait d'un faible accès aux engrais minéraux, les relations entre agriculture et élevage dans les systèmes mixtes jouent un rôle primordial (Duteurtre et Faye, 2009). En saison des pluies, grâce aux pratiques de parcage nocturne sur les parties en jachères, les animaux s'alimentent de la végétation spontanée et permettent un apport de matière organique pour le suivant cultural. En saison sèche, ils s'alimentent avec les coproduits récemment récoltés ou directement sur la parcelle (vaine pâture). Le parcage nocturne ainsi que les apports de fumier permettent aux paysans de maintenir la fertilité de leurs parcelles.

La gestion de ces interactions paraît donc essentielle, notamment en zone soudano-sahélienne où les sols sont particulièrement pauvres en matière organique et en nutriments (Aubert, 1951 ; Dugue, 1998). De plus, l'utilisation de la fumure organique joue des rôles multiples dans les systèmes de production locaux : elle a à la fois un rôle structurel, énergétique et nutritif vis-à-vis du sol, des plantes et des animaux composant les agro-écosystèmes (Ruthenberg, 1971; Kowal et Kassam, 1978). Le recyclage et la mise à disposition des nutriments (N, P, K) est une composante essentielle du fonctionnement et de la durabilité des agro-écosystèmes. Les bilans d'éléments nutritifs, comme celui de l'azote, sont souvent utilisés comme indicateurs de durabilité de gestion des sols.

Dans les zones de savanes ouest-africaines, les pratiques de fumure ont notamment engendré une organisation spatiale en auréoles concentriques (Godelier, 1964 ; Pelissier, 1966 ; Prudencio, 1993). Cette organisation permet d'expliquer un gradient d'intensification agricole des habitations aux champs les plus éloignés. On retrouverait donc notamment :

- L'auréole « des champs de case », la plus proche des habitations. Celle-ci est cultivée de manière continue en cultures vivrières. Elle est rendu fertile par la fumure animale ainsi que par les déchets ménagers en saison sèche.
- L'auréole « des champs de brousse », plus éloignée des habitations. Elle est constituée d'une mosaïque de champs, cultivés principalement en cultures de rentes ou laissée en jachère.
- D'autres auréoles concentriques, caractérisées par la présence de zones boisées ou de zones non cultivées.

Ces systèmes mixtes traditionnels, que l'on pouvait autrefois qualifier de durables sont troublés par la croissante colonisation des terres et le changement climatique qui obligent par exemple les troupeaux à transhumer au sud (Landais et Lhoste, 1990). Ceci s'accompagne aussi d'une diminution importante des ressources arborées, permettant de nourrir les animaux et dans certains cas de participer à la régénération des sols (Lericollais, 1988). On citera par exemple la régression de l'*Acacia albida*, légumineuse arborée jouant un rôle majeur dans l'équilibre des systèmes agricoles traditionnels.

Il y a donc nécessité d'optimiser la gestion de la fertilité des sols afin d'accroître la production agricole. On retiendra la définition suivante : « la fertilité globale d'un écosystème est sa capacité à produire durablement de la biomasse végétale » (Mazoyer et Roudart, 2002). Pour ce faire, on mobilisera ici le concept d'intensification écologique (IE), décrit entre autre par Dugué (2011). Selon lui, elle doit viser à « l'accroissement de la productivité de la terre, par une valorisation efficace des ressources locales sans pour autant écarter l'utilisation raisonnée

et efficiente des intrants ». Du fait d'un accès limité aux intrants, l'intégration agriculture-élevage est donc au centre de la démarche. Celle-ci doit être étudiée de manière systémique et pluri-échelle. On sait de plus que c'est la disponibilité de l'azote qui est le principal obstacle chimique pour l'intensification de l'agriculture dans les systèmes ouest-africains (Bekunda, Bationo, et Ssali, 1997 ; Jones, 1973).

Dans le but d'étudier puis de proposer des voies d'intensification adaptées, plusieurs concepts peuvent être mobilisés. Pour ce travail, nous avons décidé de nous baser essentiellement sur les approches suivantes :

- Le diagnostic des transferts de fertilité (Dugue, 1998). Celui-ci permettra d'étudier le potentiel d'intégration agriculture-élevage à l'échelle du terroir. Cette méthode a été peu utilisée à l'échelle du terroir et on citera les travaux de Manlay et al. (2004) comme référence. Dans cette approche, une attention particulière est portée aux transferts liés aux déplacements animaux des zones non cultivées (ou parcours) aux zones cultivées. Les pratiques de prélèvement de la matière organique sont tout aussi importantes.
- Le concept « d'écologie du paysage » (Burel et Baudry, 2001). Cette approche vise à avoir une « lecture spatiale des activités humaines » afin de mettre en relation l'hétérogénéité des différentes unités paysagères avec les choix de producteurs. On considèrera donc dans cette étude, plusieurs niveaux dans la hiérarchie spatiale. À chacun des niveaux, des facteurs explicatifs des processus étudiés seront identifiés. On parlera alors « d'unités paysagères », correspondant aux zones de parcours et aux auréoles présentées ci-avant et définies dans la méthodologie. Même si cette approche est surtout utilisée par les écologues, il paraît intéressant de la mobiliser ici d'un point de vue agronomique.

L'objectif de cette étude est donc de décrire le fonctionnement écologique d'écosystèmes agrosylvo-pastoraux contrastés en termes de pratiques agricoles et d'élevage. Cette description passera par la quantification et la spatialisation des flux de biomasse à l'échelle du terroir.

Le vieux bassin arachidier au Sénégal est typiquement une région agricole en transition agraire rapide et avancée. On trouve une grande diversité de terroirs villageois caractérisés par des activités différentes, aussi bien concernant l'agriculture, l'élevage ou la foresterie.

La présence de l'Observatoire de Niakhar, âgé de plus de 50 ans ([niakhar50.sciencesconf.org](http://niakhar50.sciencesconf.org)) a facilité le choix du site étudié. En effet, la zone est particulièrement suivie par les organismes de recherche. L'IRD, le CIRAD ainsi que leurs partenaires étudient donc les systèmes locaux sous leurs aspects démographiques et agricoles. Les données de ces études ont été mises à disposition pour ce travail. Dans le cadre de ce mémoire, on citera les travaux incontournables de Lericollais décrivant entre autre les grandes évolutions du système agraire local (Lericollais, 1999).

Les problématiques posées sont les suivantes : Les systèmes actuels, résultants des changements socio-environnementaux (dont la croissance démographique), sont-ils durables en termes d'entretien de la fertilité des sols ? D'autre part, quels processus écologiques ces nouveaux systèmes mobilisent-ils à l'échelle du paysage ?

L'une des hypothèses de ce travail est que malgré une régression de la présence d'animaux divagants (traditionnellement responsable des principaux transferts de fertilité), on retrouve ces auréoles concentriques dans les villages étudiés du vieux bassin arachidier au Sénégal du fait des nouvelles pratiques de fertilisation (épandage de fumier et d'engrais sur des parcelles proches). L'identification de processus écologiques importants en termes d'organisation

spatiale des stock/flux d'azote pourrait aider à l'identification de voies d'intensification écologique adaptées.

Dans ce rapport, seront présentés dans un premier temps les caractéristiques des villages étudiés ainsi que la méthodologie de quantification des flux. Dans un second temps, nous expliciterons les résultats de l'étude en termes de flux, stocks et bilans N. Ces derniers seront ensuite discutés en termes de durabilité et de voies d'intensification écologique. Une dernière partie sera consacrée à la critique des méthodes utilisées.

## Contexte

### 1. Contexte général de l'étude

L'étude s'inscrit dans le cadre du projet ANR CERAO « Viabilité et Adaptation des Écosystèmes Productifs, Territoires et Ressources face aux Changements Globaux ». Il vise à contribuer à l'amélioration de la production agricole dans les régions semi-arides en Afrique de l'Ouest grâce à l'identification des processus écologiques et sociales déterminant la viabilité et la durabilité des agro-socio-écosystèmes dans un contexte risque climatique (ANR - Agence Nationale de la Recherche, 2015).

Dans ce cadre, l'étude de l'organisation des flux de biomasse dans les systèmes actuels a été jugée intéressante. Celle-ci peut être conduite à différentes échelles spatiotemporelles en faisant appel à deux formalismes différents :

- un modèle **d'organisation spatiale** des flux mettant l'accent sur la création d'auréoles de fertilité et de pôles d'intensification agricole bien définis dans l'espace ; il s'agit du travail présenté dans ce mémoire,
- un modèle **de recyclage entre processus écologiques** mettant l'accent sur l'intégration sol-plante-animal-homme ; il s'agit du travail présenté dans le mémoire de Dugy (2015).

Les deux analyses ont été conduites sur la même période de temps et sur les trois mêmes localités. L'ensemble des enquêtes pour le terroir de Sob ont donc été réalisées par deux enquêteurs. La mobilisation et l'analyse des données s'est ensuite faite de manière indépendante pour chaque approche.

### 2. Caractéristiques du site d'étude

#### *a. Généralités : localité et contexte agro-climatique*

L'étude a été conduite de mars à août 2015 dans le vieux bassin arachidier du Sénégal (*cf. Annexe 1*). Le village étudié est le village de Sob (14°29'18.04"N,- 16°26'30.54"O), localisé dans l'arrondissement de Niakhar, région de Fatick. Dans ce cas précis, on parle aussi de « pays Sereer », en référence à l'ethnie qui y est majoritaire (Lericollais, 1999). Deux autres villages de la même région ont aussi été étudiés en 2012 dans le cadre du même projet : Dihine (Odru, 2013) et Barry Sine (Audouin, 2014). Ils sont situés respectivement à 5 km et 12 km du village de Sob. Les 3 villages étudiés sont soumis aux mêmes contraintes agro-climatiques marquées par un climat soudano-sahélien (*cf. Figure 1*). Celui-ci est caractérisé par de faibles précipitations généralement comprises en 600 et 800 mm par an (*cf. Annexes 2 et 3*). Elles sont concentrées sur une période de 4 mois, appelée « saison des pluies » ou « hivernage », par opposition à la « saison sèche ».

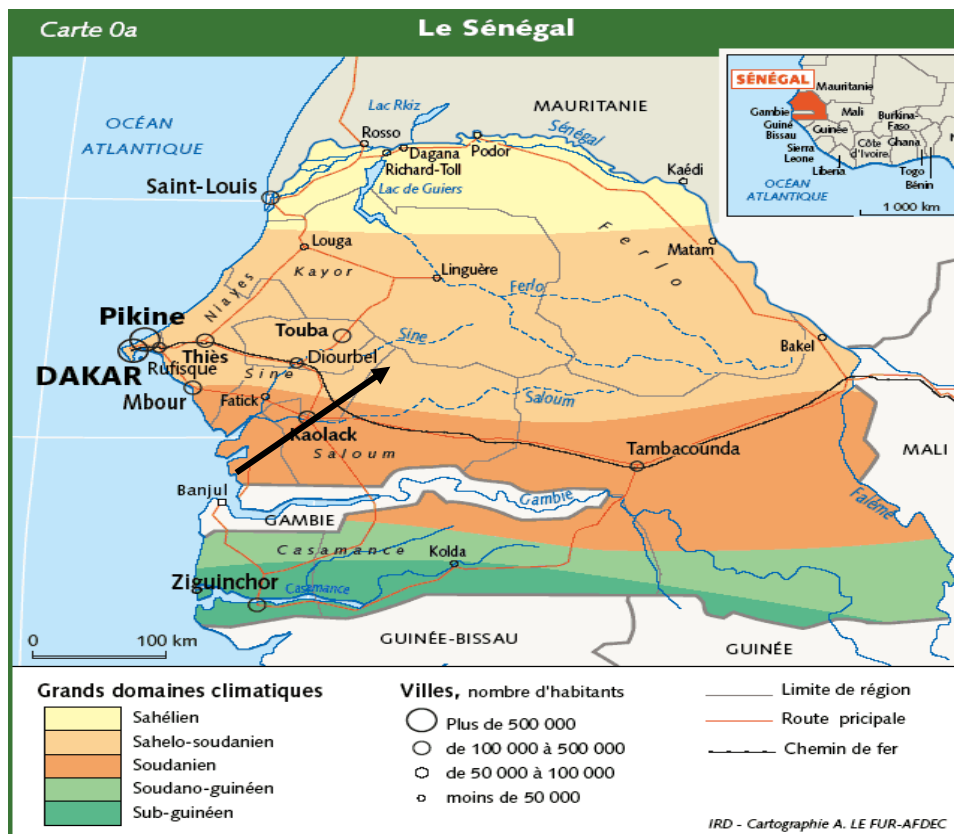


Figure 1: Carte des grands domaines climatiques au Sénégal.

Source : IRD

Les sols se développent exclusivement sur des matériaux sableux et sablo-argileux. Pour les trois localités, les mêmes types de sols principaux sont présents (Charreau et Fauck, 1967 ; Lericollais et al., 1970) :

- Les sols dits *dior* sont des sols ferrugineux tropicaux peu lessivés. Ces sols sont principalement présents autour des habitations.
- Les sols dits *dekk* sont des sols à texture plus fine (forte proportion en sables fins et en limons) et sont hydromorphes à engorgement temporaire
- Les sols dits *dekk-dior* et *dior-dekk* sont un mélange des deux sols présentés ci-avant.

Malgré une topographie dunaire très aplatie, on rencontre parfois des marigots majoritairement situés sur sols *dekk*. Ces derniers s'inondent en saison humide. Ils sont incultivables et permettent de faciliter l'abreuvement des troupeaux. L'altitude générale des villages est très basse.

#### b. Les grands changements du système agricole

Du fait de la forte implication des organismes de recherche dans la région, les systèmes agricoles passés et présents bien décrits dans la littérature. Historiquement, il est possible de distinguer des grandes évolutions dans le système agricole local (Audouin, 2014 ; Lericollais, 1988 ; Lericollais, 1999 ; Odru, 2013) :

- Période précoloniale : systèmes agro-sylvo-pastoraux traditionnels.

La civilisation sereer traditionnelle est une civilisation du mil et du bovin (Pélicier, 1966). Les bovins des troupeaux sereer sont des métis de zébu et de ndama.

A cette période, la culture continue du mil (*Pennisetum glaucum* L.) à cycle court (*pod*) sur les champs les plus proches des habitations est fréquente. Une rotation biennale mil à cycle long (*matye*)-jachère est souvent pratiquée sur les champs plus éloignés. Pendant l'hivernage, les animaux vont alors pâturer sur les espaces en jachère enclos et y sont

parqués la nuit. En saison sèche c'est la pratique de vaine pâture, couplée à l'utilisation des ressources arborées (notamment l'*Acacia albida*), qui permet d'alimenter les animaux.

- Période coloniale : introduction de l'arachide (*Arachis hypogaea*) dans les systèmes traditionnels. L'arachide, culture de rente, s'intercale dans la rotation biennale des « champs de brousse ». Avec l'apparition de l'attelage, des espaces éloignés des habitations sont défrichés et cultivés.
- Années 60-70 : intensification agricole et crise du système traditionnel. La croissance démographique, l'augmentation de surfaces cultivées ainsi que le développement des techniques de prélèvement des coproduits post-récolte induisent notamment des pratiques de transhumance des troupeaux vers des zones de parcours extérieures. Dans les années 70, la stagnation des productions d'arachide ainsi que la baisse des prix va entraîner la quasi-disparition de la jachère dans la rotation qui va devenir une rotation mil-arachide.
- Années 80 : période de sécheresse. Les systèmes de cultures tendent vers des systèmes de monoculture continue. Les « champs de case » restent favorisés, en termes d'apports de matière organique, car ils assurent des récoltes aux producteurs. En 1988, Lericollais note que 40 % des éleveurs enverraient leurs troupeaux en transhumance. Les associations culturales sont de plus en plus pratiquées. Le mil est souvent associé au sorgho (*Sorghum bicolor*) et l'arachide avec le niébé (*Vigna unguiculata subsp. Unguiculata*) et le bissap (*Hibiscus sabdariffa*). On note aussi une diminution considérable des ressources arborées dans la zone.

De nos jours, on rencontrerait des systèmes répondant de manière différente aux mêmes contraintes agro-socio-économiques, en termes de pratiques d'élevage et de pratiques agricoles. En effet, Lalou et Delaunay (2012) indiquent par exemple le maintien d'une zone de jachère collective dans la localité de Diohine. Barry Sine se démarquerait par son fort taux d'embouche. Enfin, Sob aurait la particularité de cultiver la pastèque de manière importante.

De manière générale on observe que la gestion collective laisse place à une gestion plus individuelle des ressources.

## Méthodologie

### 1. Exhaustivité des ménages enquêtés et échantillonnage

#### a. *Notion de terroir villageois*

Il est possible de considérer le terroir à la fois comme « l'espace cultivé et exploité par une communauté villageois » (Godelier, 1964 ; Pelissier, 1966) et comme une zone géographique restreinte par des limites fixes visibles ou non (finage).

Pour cette étude, nous allons considérer le terroir comme l'ensemble :

- des espaces utilisés dans les limites du village, cultivés ou non, par la communauté villageoise ou par une communauté extérieure
- des espaces hors des limites du village, cultivés par la communauté villageoise.

#### b. *Unités de résidence et de production*

Dans un premier temps, il est nécessaire de définir les termes relatifs aux unités de résidence suivants (Gastellu, 1978) :

- Une « concession » ou *mbind* représente l'unité d'habitation. Celle-ci est souvent délimitée physiquement par des palissades en paille de sorgho. Elle peut regrouper plusieurs ménages et est représentée par un « chef de concession ».
- Un « ménage » ou une « cuisine » (*ngak*) correspond à la sous-unité de résidence. En général les ménages d'une même concession, souvent issus de la même famille, entretiennent des rapports forts en termes de gestion des animaux ou de la production agricole. Elle est représentée par un « chef de ménage » qui est souvent le fils du chef de concession.

Du point de vue agricole et dans le contexte local, le ménage est à la fois unité de résidence, unité de consommation mais aussi l'unité de production. Pour cette étude, il a donc été jugé pertinent de réaliser les enquêtes à l'échelle du ménage afin de permettre un niveau de détail important malgré les contraintes de délais évidentes. Les relations inter-ménages ont aussi été développées dans ce travail. Malgré ce choix d'échelle, certaines simplifications ont été appliquées ici. Dans de nombreux cas, la concession est divisée en plusieurs ménages dont les chefs sont des frères. A une échelle plus grande, il y a souvent un chef de concession, le père, qui n'appartient pas à un ménage en particulier. De manière quasi-constante, le chef de ménage est le propriétaire et l'utilisateur des parcelles et prend les décisions qui les concernent. Cependant, le chef de concession peut, quelques fois malgré son âge, continuer à cultiver quelques parcelles. Dans ce cas précis, les parcelles ont été soit réparties fictivement entre les ménages, soit attribuées à un ménage de la concession. Du point de vue de la gestion animale, deux cas sont rencontrés :

- le cas où le troupeau est géré à l'échelle de la concession. C'est alors souvent au chef de concession de prendre des décisions. Les animaux sont soit la propriété des différents ménages, soit ils sont la propriété du chef de concession. Dans ce dernier, le troupeau a été divisé fictivement entre tous les ménages de la concession
- le cas où le troupeau est individualisé à l'échelle du ménage.

À Sob, la totalité des ménages résidents, soit 114 ménages, a été enquêtée. Ceci a notamment permis d'identifier les parcelles possédées ou empruntées à l'intérieur et en dehors des limites fixes du village. Les ménages ne vivant pas à Sob mais possédant des parcelles à l'intérieur des limites du terroir ont aussi été enquêtés.

Les informations concernant les enquêtes sur les deux autres localités sont disponibles dans la littérature (Audouin, 2014 ; Odru, 2013).

c. *Méthode d'échantillonnage pour le terroir de Sob (Dugy, 2015)*

Pour des contraintes de délais, seules les données relatives à un échantillon aléatoire simple de 30 ménages ont pu être analysées. Les calculs effectués pour réaliser l'échantillonnage, ont été les suivants : Taille Globale de l'échantillon :  $TG = t^2 \times p \times \frac{1-p}{m^2}$

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

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

Variable fixée : **t** = 95% ; **N** = 114 ; **p** = 1/N

Résultats Valeur : **TG** = 13 ; **Tc** = 12

Pour Sob, l'échantillon représentatif minimal est de 12 ménages. Au vu du temps imparti, il a finalement été décidé de prendre 30 ménages dans l'échantillon afin d'augmenter sa représentativité.

d. *Unités de gestion*

i. *Approche « parcelle »*

Au Sénégal le champ correspond à une entité juridique (droit d'usage), tandis que la parcelle est considérée comme « la pièce de terre d'un seul tenant portant, au cours d'un cycle cultural donné, la même culture ou la même association de cultures et gérée par un seul individu ou par un groupe déterminé d'individus » (Milleville, 2009). Un champ comprend donc généralement plusieurs parcelles. L'unité spatiale de gestion considérée ici est la parcelle. Les variations à l'échelle de la sous-parcelle ne sont pas prises en compte. L'unité « champ lignager » n'a pas été jugée pertinente dans ce travail, au vue de la grande variabilité des sous-unités qu'elle contient.

ii. *Lots d'animaux*

On parlera ici de « lot d'animaux » correspondant à un groupe d'animaux de même type, gérés de la même façon (Dictionnaire des Sciences Animales, 2015 ; Lericollais, 1999).

Quatre principaux types de lots ont été recensés :

- Les lots dits d' « embouche » correspondent aux lots qui restent de manière permanente au niveau de l'habitat (facteur déterminant). Ils sont principalement nourris avec des aliments concentrés (achetés à l'extérieur du terroir ou produit par les agriculteurs). Les espèces concernées sont majoritairement les bovins mais de l'embouche ovine est aussi pratiquée.
- Les lots dits « transhumants » correspondent aux animaux sortant du terroir pendant une période de 3 à 5 mois par an. Les ruminants (bovins et petits ruminants) sont très représentés dans ce type de lot et peuvent être accompagnés par des asins.
- Les lots dits « traditionnels » correspondent aux lots qui ne sont ni transhumants, ni d'embouche. C'est eux, en majorité, qui sont parqués et qui permettent donc les transferts de fertilité au sein du terroir.
- Les autres lots sont constitués de volailles ou de porcins. En saison sèche, ils sont souvent en divagation. Leurs excréta sont très peu ou pas valorisés dans les terroirs.

### iii. *Tas de fumier*

Le tas de fumier localisé au niveau de l'habitat a été étudié comme une unité de gestion à part entière. La composition du fumier a permis d'établir différentes catégories de fumier : les fumiers pailleux, la poudrette de parc et les fientes de volailles. Pour chaque tas de fumier, la composition, la localisation de stockage et la date de mise au champ ont été demandés.

### e. *Échelle de temps*

Dans le cas de Sob, les flux ont été étudiés à partir du début de l'hivernage 2014 (juillet) jusqu'à la fin de la saison sèche 2015 (juin). L'année a été subdivisée en « saisons pratiques », qui correspondent à des périodes ; chacune caractérisée par une disponibilité en ressources alimentaires particulières pour les animaux (Bellon, Girard, et Guérin, 1999). Pour Sob on considère les quatre saisons pratiques suivantes :

- *Sarandam* : période entre la première pluie et le moment où l'herbe a poussé. Pendant cette période, les animaux sont tous attachés ou parqués au niveau de l'habitat afin préserver une ressource herbacée pour la saison des pluies. Cette gestion permet aussi de ne pas mettre en péril la levée des semis, qui pourraient être consommés par les animaux.
- *Ndik* : saison des pluies à proprement dit. Les modes de gestions des animaux sont alors variés. Les zones de parcours sont disponibles pour le pâturage des animaux.
- *Sek* : période entre la dernière pluie et les dernières récoltes. Les premières ressources fourragères de l'année N sont disponibles, notamment les fanes de niébé fraîches et les fanes d'arachide. La vaine pâture est alors pratiquée en particulier pour les petits ruminants.
- *Id* : saison sèche à proprement dit. Cette saison-pratique est caractérisée par un nombre important d'animaux divagants, en particulier les petits ruminants (ovins et caprins).

Cette division a notamment permis d'être plus précis, en termes de modélisation, quant aux performances animales variant fortement d'une saison pratique à une autre. En effet, en fonction de l'alimentation disponible à telle ou telle période de l'année, il a été possible de renseigner une quantité de déjections et d'urine particulière.

## 2. Cadre conceptuel

### a. *Cartographie*

Un travail de cartographie a été réalisé pour le terroir de Sob par Lalou (2012). Une mise à jour importante était cependant nécessaire du fait la dynamique foncière locale sujette à des changements rapides (héritage, division de la parcelle entre plusieurs ménages, prêts, etc.). Grâce à ce travail, le terroir de Sob a pu être (re)cartographié dans sa totalité, soit sur plus de 550 hectares (ha). Les parcelles, les zones de parcours ainsi que les zones d'habitations ont été géoréférencées grâce aux données GPS recueillies sur le terrain. Afin de faciliter et de préciser le recoupement d'informations, ces données ont été validées grâce à une photographie satellite prise pendant l'hivernage dernier. Celle-ci a permis d'identifier en temps réel (pendant l'entretien) si la parcelle dont l'enquêté et l'enquêteur parlaient, était la même. La carte réalisée est donc extrêmement précise. Les informations ont ensuite été traitées avec le logiciel Q-gis (QGIS Development Team, 2015). Une base de données a été construite avec les références géographiques de toutes les parcelles. En plus des cartes présentées dans la partie résultats, il est donc possible de construire tout type de carte à partir des données recueillies (propriété foncière, types de rotations, types de sols, etc.).

Les terroirs de Barry Sine (Audouin, 2014) et de Diohine (Odru, 2013) ont été cartographiés lors des travaux précédents. Pour la présente étude, des distances linéaires entre les habitats des



utilisateurs et les parcelles ont été calculés une fois les bases de données renseignées et les cartes réalisées.

*b. Inventaire, quantification et spatialisation des flux de biomasse par enquêtes*

*i. Prérequis*

Les enquêtes ont été réalisées par deux enquêteurs dans le cadre de deux études différentes (cf. Dugy, 2015). La méthodologie de collecte de données (guide d'enquête et bases de données) mise en œuvre dans ce stage a été conçue par le CIRAD (UMR Selmet) dans le cadre du projet « AnimalChange » et qui avait été appliquée lors des stages de Odru (2013) et Audouin (2013).

Toutes les informations récoltées par enquêtes se sont exprimées en unités locales (ex : charrette de paille de mil ou botte de mil). Grâce à la littérature ainsi qu'à des pesées, ces valeurs ont pu être converties en kilogrammes de matière brute (kgMB). De la même manière, des conversions ont pu être faites ensuite en kilogrammes de matière sèche (kgMS) et kilogramme d'azote (kgN). Les conversions qui n'ont pas pu être faites par pesée ou grâce à la bibliographie, ont été réalisées « à dires d'acteurs ». Les annexes 4 et 5 présentent des exemples de conversion utilisées.

*ii. Flux humains et alimentation humaine*

Les populations permanentes, temporaires et salariales ont été quantifiées. Pour chaque individu, la tranche d'âge, le sexe ainsi que la durée de présence sur le terroir ont été demandés. Ces données ont notamment pu être converties par la suite en « unités de travail humain » (UTH). Les références des conversions sont disponibles en annexe (cf. Annexe 6). En plus des flux présentés ci-après, correspondant à l'autoconsommation de produits du terroir, les quantités de produits alimentaires achetés dans le village et à l'extérieur ont été quantifiés.

*iii. Flux « entrée de parcelle »*

Pour chaque parcelle, les apports de semences, d'engrais minéraux, de pesticides, de déchets de cuisine, de déjections animaux directes et de fumier ont été quantifiés. La provenance de ces produits (intérieur ou extérieur du terroir) a été évaluée à l'échelle de l'ensemble des parcelles et les quantités ont été réparties de manière fictive par parcelle. Au final, il a donc été possible d'identifier les flux entrant dans les parcelles venant : du ménage producteur, d'un don reçu/achat à un autre ménage du village ou de l'extérieur du terroir. Les apports de matière organique liés au parcage ont aussi été quantifiés.

*iv. Flux « sortie de parcelle »*

*Autoconsommation, ventes et dons des produits récoltés*

Les flux de produits principaux et de coproduits de l'hivernage 2014 récoltés sur la parcelle ont été quantifiés. La nature précise du produit récolté a été prise en compte afin de proposer des facteurs de conversions adaptés à chaque produit. Tout comme pour les entrées, les destinations des flux ont été identifiées. Il existe donc des produits destinés au ménage producteur (autoconsommation ou alimentation animale), des ventes/dons à d'autres ménages du terroir ainsi que des ventes/dons à l'extérieur du terroir.

*Résidus de culture*

La quantification des résidus de cultures laissés aux champs s'est faite de deux manières :

- Lorsque l'agriculteur indiquait volontairement une quantité laissée au champ, cette quantité était prise comme référence.
- Lorsqu'aucune quantité n'était mentionnée, c'est la différence entre la production théorique, calculée à partir de la quantité de produit principal, et la quantité récoltée qui a été prise comme valeur.

Un pourcentage de prélèvement a ensuite été affecté par nature de coproduit.

#### Prélèvements manuels

La récupération des bouses de vaches sèches dans les parcelles, qui en raison de la faible ressource arborée dans la région sont utilisées comme combustibles, a été quantifiée. Les flux relatifs aux prélèvements manuels d'herbe sur les parcelles ont été identifiés. Une fois ces quantifications faites, les flux ont été répartis fictivement par parcelle en fonction de sa surface. On suppose donc que ces prélèvements se sont faits de manière homogène sur tout le terroir.

#### v. Flux liés au bétail

##### Variation de l'effectif

Par ménage, les achats/dons (reçus)/confiages<sup>1</sup> reçus ainsi que les ventes/dons faits/confiages faits d'animaux ont été comptabilisées par espèce et par tranche d'âge. Pour chaque saison pratique et pour chaque lot, on aura donc une valeur représentative de l'effectif, tenant compte du temps de présence dans le lot. Les précisions quant aux origines et destinations sont identiques à celles évoquées dans la partie « flux entrants et sortants des parcelles ». Afin de rendre possible la modélisation, l'unité UBT (Unité de Bétail tropical) a été utilisée. Elle correspond à un animal herbivore de 250 kg vif (Dictionnaire des Sciences Animales, 2015). Le tableau des conversions des espèces en UBT est présenté en annexe (cf. Annexe 7).

##### Localisation du bétail

La localisation des animaux est identifiée par saison pratique. Les unités paysagères suivantes ont été préétablies : habitat (enclos), champs de case et champs de brousse (si parcase), zone de parcours (*pedala*, marigot et autres parties non cultivées) et extérieur du terroir.

Différentes règles ont été mises en place, en fonction de l'espèce concernée, lorsque le lot était en divagation. Dans le cas de parcase, la parcelle sur laquelle ont été parqués les animaux a été identifiée et les horaires précis de parcase ont été demandés.

##### Estimation de la biomasse végétale consommée et des excréments des animaux

Les quantités d'aliments pour les animaux ont été quantifiés et classés en deux catégories : aliments concentrés et aliments fourragers. Leurs provenances et leur nature ont été identifiées. L'alimentation issue du parc arboré a aussi été quantifiée. Les excréments animaux (déjections et urines) ont été quantifiés, lorsqu'il s'agissait de fumier, à dire d'agriculteurs. La bibliographie nous a tout de même proposé des valeurs de kilogrammes de déjections par UBT et par heure en fonction de la saison pratique. Celles-ci ont d'abord été utilisées pour recouper l'information à dire d'enquête et pour quantifier les excréments animaux lorsqu'ils étaient hors de l'habitat.

#### vi. Flux liés au parc arboré

L'utilisation de produits issus du parc arboré par les foyers (bois, écorces, etc.) et pour l'alimentation animale a été prise en compte. Pour le bois, trois catégories d'arbres caractérisés par des densités différentes ont été établies : les *Acacia* adultes, les *ngud* (*Guiera senegalensis*)

<sup>1</sup> Confiage : fait de confier, équivalent à un prêt avec intérêt.

et les espèces indifférenciées. Faute de diagnostic récent du parc arboré, l'hypothèse selon laquelle les arbres sont répartis de manière homogène sur le terroir a été émise. Des informations supplémentaires ont été récoltées pendant la phase d'enquêtes mais n'ont pas été utilisées pour ce travail.

### 3. Analyse de données

#### a. *Hétérogénéité spatiale des bilans d'azote*

L'originalité de ce mémoire vient de l'analyse des données qui a été faite, cette analyse mettant l'accent sur l'hétérogénéité spatiale des bilans azotés et sur les transferts de fertilité entre unités paysagères. Cette approche n'avait pas été mobilisée lors des études précédentes (Audouin, 2014 ; Odru, 2013) et de l'étude qui s'est faite sur la même période (Dugy, 2015). L'hétérogénéité spatiale sera notamment représentée sous forme de carte pour les trois terroirs.

#### b. *Calcul du bilan d'azote*

La disponibilité de l'azote pour les cultures est l'un des facteurs agricoles déterminants, en particulier dans les sols pauvres d'Afrique de l'Ouest. Nous avons donc décidé d'étudier cet élément minéral en mobilisant le « bilan d'azote apparent » (ou Bilan N) (Manlay et al., 2004). Celui-ci est calculé selon la formule suivante :

$$\text{Bilan d'azote apparent} = \frac{(\sum \text{Entrées d'azote} - \sum \text{Sorties d'azote})}{\text{Surface}}$$

L'unité du bilan d'azote apparent est le kgN/ha. Ces bilans d'azote seront calculés à l'échelle de la parcelle. Un bilan azoté positif indiquerait que les entrées ont été supérieures aux sorties sur la parcelle. Les travaux sur le cycle de l'azote (Alvarez et al., 2014 ; M. C. Rufino, 2006) indiquent qu'un bilan positif s'explique par des pertes d'azote entre le moment du dépôt de la matière brute et la récolte des produits finaux. Ces pertes peuvent être liées à des processus écologiques divers (*cf. Limites de l'étude*). Un bilan négatif indiquerait, lui, que les sorties d'azote ont été supérieures aux entrées. Sans considération des pertes d'azotes régies par des processus divers (ex : lessivage) et des entrées (fixation de l'azote atmosphérique par les légumineuses), cela signifierait qu'il y a un épuisement de la ressource azotée du sol.

#### c. *Caractérisation des unités paysagères*

Les bilans d'azote à l'échelle de la parcelle, seront présentés en fonction de la distance à l'habitat de l'utilisateur. Les tests statistiques sont réalisés avec le logiciel R (R Development Core Team, 2008). Les tests utilisés pour cette étude sont les suivants : régression linéaire simple, test de normalité de Shapiro-Wilk, test d'homoscédasticité, test de Student et l'analyse de variance (ANOVA). Ils permettront de mettre en évidence ou non la significativité des résultats. Il sera alors possible d'identifier ou non des unités paysagères caractérisées par des bilans d'azote différents. Les résultats obtenus par unité paysagère seront ensuite comparés par terroir. Ceci devra être mis en relation avec les pratiques agricoles et pratiques d'élevage locales.

#### d. *Flux de biomasse à l'échelle du terroir*

Une fois la caractérisation des unités paysagère réalisée, les flux seront calculés en kilogrammes de matière sèche (kgMS). Chaque flux permettra de relier deux unités paysagères, l'une d'origine et l'autre de destination. Des représentations schématiques seront réalisées pour les trois terroirs puis comparées entre elles. Afin de rendre pertinente la comparaison, les flux représenteront un pourcentage des flux totaux par terroir.

## Résultats

### 1. Caractérisation générale des systèmes à l'échelle terroir

#### a. *Cartes : Des structures de paysage différentes*

Les cartes d'occupation du sol sont présentées sur les figures 2, 3 et 4. On parlera ici de « cultures principales », ne tenant pas compte des associations. Par exemple, dans une association « mil-sorgho », le mil sera considéré comme culture dominante. Dans une association « arachide-niébé », c'est l'arachide qui sera considérée comme culture principale. La carte d'occupation du sol exhaustive pour le terroir de Sob est, elle, disponible en annexe (cf. *Annexe 8*).

Occupation du sol (cultures principales) dans le village de Diohine en 2012

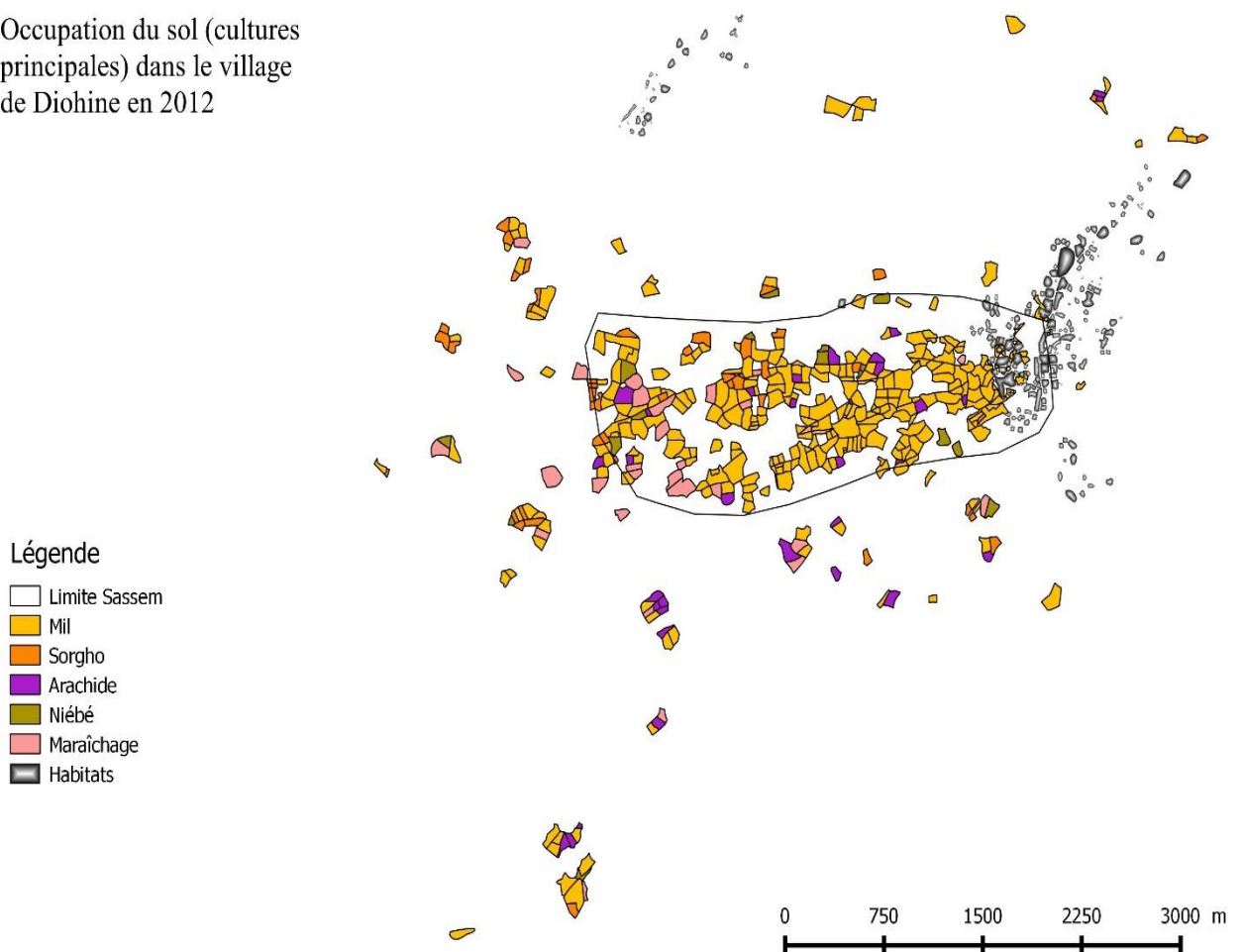


Figure 2 : Carte des occupations de sol (cultures principales), Diohine, 2012.

Source : Odru, 2013

Occupation du sol (cultures principales) dans le village de Sob en 2014

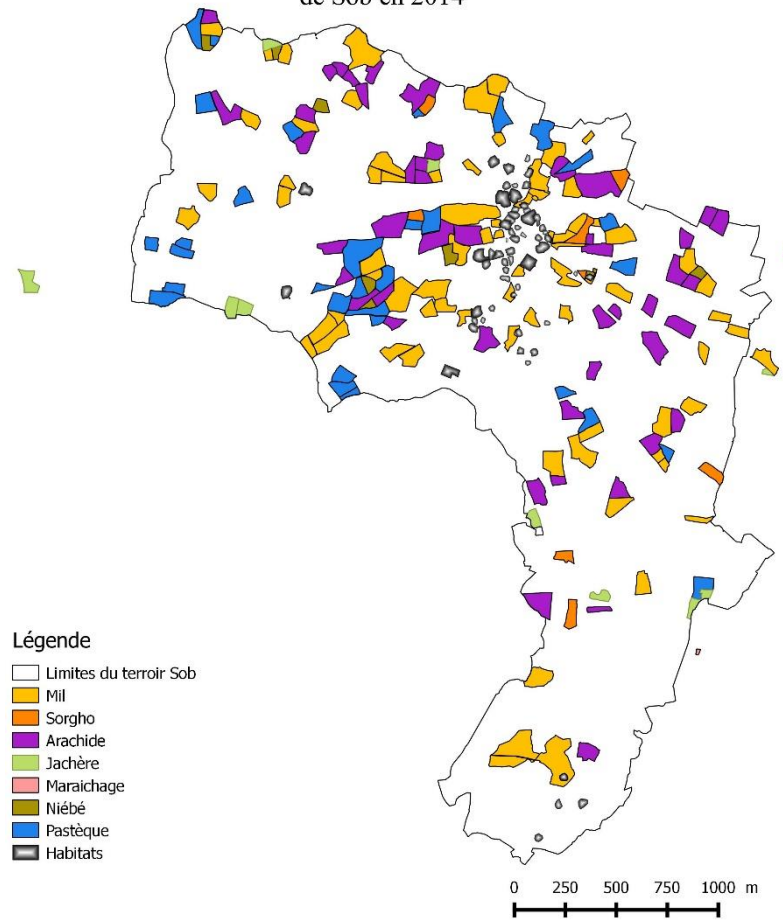


Figure 4 : Carte des occupations de sol (cultures principales), Sob, 2014.

Source : DUGY et SAUNIER-ZOLTOBRODA

Occupation du sol (cultures principales) dans le village de Barry Sine en 2012

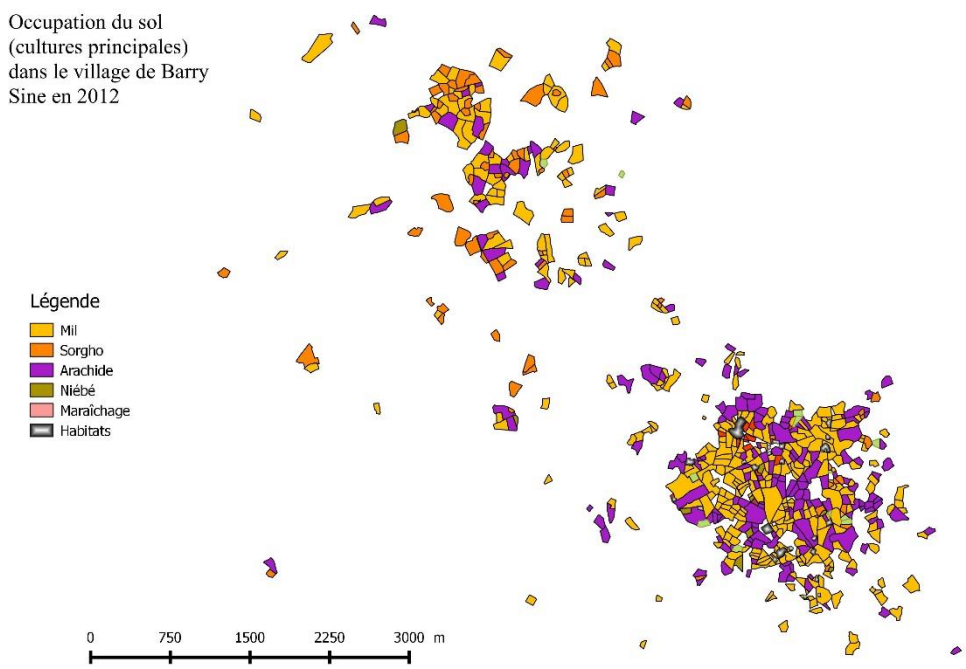


Figure 3 : Carte des occupations de sol, Barry Sine, 2012.

Source : données de AUDOUIN, 2014

b. Indicateurs clés de comparaison

		<b>VILLAGES</b>			
	<b>Indicateurs</b>	<b>Unité</b>	Barry Sine	Diohine	Sob
<b>INDICATEURS GÉNÉRAUX</b>	Surface cultivée	ha	396,96	163,87	122,30
	Surface parcours (sans jachères)	ha	0,00	36,90	12,95
	Surface jachère	ha	4,75	4,68	4,02
	SAUT	ha	401,71	205,45	139,27
	Surface cultivée / SAUT	%	98,82	79,76	87,81
	Surface jachère / SAUT	%	1,18	2,28	2,89
	Surface parcours (sans jachère)/ SAUT	%	0,00	17,96	9,30
<b>INDICATEURS HUMAINS</b>	Nombre d'habitats permanents/SAUT	hab/ha	3,20	0,53	2,42
	SAUT/UTH permanente ou temporaire	ha/UTH	0,58	0,90	0,97
<b>SURFACES CULTURES PRINCIPALES</b>	Surface céréales/surface cultivée	%	68,13	84,13	49,68
	Surface arachide/surface cultivée	%	30,69	9,65	30,12
	Surface pastèque/surface cultivée	%	0,00	0,00	17,39
<b>ELEVAGE</b>	Nombre UBT total	UBT	687,26	224,40	356,69
	UBT Ruminants/UBT Total Terroir	%	68,12	68,80	66,44
	UBT / SAUT	UBT /ha	1,71	1,09	2,56
	Nombre UBT Bovins/UBT Total Terroir	%	52,76	38,40	54,73
	Nombre d'UBT embouche / Nb d'UBT total Terroir	%	30,72	< 1	4,15
	Nombre d'UBT transhumants / Nb d'UBT Total Terroir	%	63,90	0,00	51,73

Tableau 1: Indicateurs clés de comparaison des trois terroirs étudiés

.Source : Données de Audouin (2014) ; Odru (2013) ; Saunier-Zoltobroda et Dugy (2015)

Pour plus de lisibilité, un graphique synthétique de ces données est disponible en annexe (cf. Annexe 9).

Même si les surfaces cultivées (jachère exclue) de Sob et de Diohine restent comparables entre elles, elles représentent chacune moins de la moitié de cette surface à Barry Sine. Sur ces surfaces cultivées, on peut noter de grandes différences dans l'assolement entre les villages. En effet, pour Barry Sine on remarque qu'environ 70 % des surfaces cultivées le sont en céréales (maïs, mil, sorgho). Presque les 30 % restants le sont en arachide. Pour Diohine, même si les pourcentages indiquent une plus grande surface production relative en céréales, soit près de 85% de la surface cultivée, la tendance semble la même. Ces deux villages donnent plus d'importance aux cultures vivrières qu'aux cultures de rente. À Sob, on observe qu'environ 18 % de la surface cultivée est occupée par la culture de la pastèque, considérée

comme culture de rente. Cette culture est totalement absente des deux autres terroirs. Dans ce même village, on a donc au total un rapport de presque 50/50, en termes de surfaces cultivées, entre les cultures vivrières et les cultures de rente.

En termes de nombre d'habitants permanents par hectares, on peut noter des densités de population de 3,2 ; 0,53 et 2,4 respectivement pour Barry Sine, Diohine et Sob. Ces valeurs sont confortées par celles de la surface par unité de travail humain qui sont croissantes de Barry Sine à Sob.

De manière générale, on voit que Diohine a une relativement faible surface cultivée (80% de la Surface Agricole Utile Totale (SAUT)). Barry Sine en est à l'opposé avec presque 99 % de ses terres qui sont cultivées. Sob est dans une situation intermédiaire à celle des deux autres villages avec 87,81 % de sa surface cultivée. Ces différences s'expliquent en partie par la grande zone de parcours à Diohine, représentant environ 18 % de la SAUT. Les animaux ont donc la possibilité de s'alimenter facilement pendant l'hivernage d'autant plus que le nombre d'UBT à l'hectare est très faible (1,09 UBT/ha). On note l'absence de pratiques de transhumance et d'embouche pour cette localité.

En vue de l'inexistence de zones de parcours à Barry Sine, une attention toute particulière est portée à la surface laissée en jachère. On peut noter que cette surface représente seulement 4,5 ha, soit moins de 1,5 % de la SAUT. Les zones disponibles pour le pâturage dans le terroir sont donc très peu nombreuses pendant l'hivernage. De plus, il est important de noter la forte concentration d'UBT/ha qui est de 1,71. On note de très forts taux d'embouche et de transhumance qui sont respectivement de 30,72 % et 63,90 % du nombre total d'UBT sur Barry Sine. Pour Sob, on pourrait qualifier encore une fois la situation de médiane. Les zones de parcours ainsi que les parcelles laissées en jachère représentent à elles deux environ 12 % de la SAUT. En vue de grande concentration relative d'UBT/ha d'une valeur de 2,56, la transhumance paraît s'imposer comme solution. On atteint pour Sob, une valeur de 51 % d'UBT transhumants.

Pour les trois villages, les ruminants occupent une place essentielle : ils représentent entre 66,44 % des UBT totaux pour Sob et 68,80 % pour Diohine. La proportion de bovins dans ces ruminants est sensiblement la même pour Barry Sine et Sob (52,76 et 54,73 % des UBT totaux). À Diohine, même si les UBT bovins restent majoritaire chez les ruminants, la place des ovins et des caprins est relativement plus importante que dans les deux autres villages.

Afin de rendre la comparaison pertinente, ce seront de préférence des pourcentages ou des rapports à l'hectare qui seront utilisés dans la suite de ce travail.

### c. Organisation spatiale et utilisation de l'espace dans le terroir

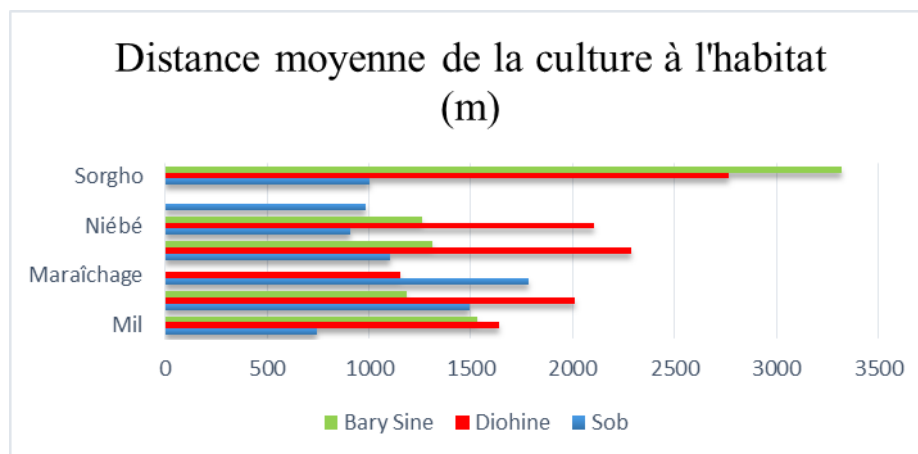


Figure 5 : Distance moyenne de la culture à l'habitat

## 2. Hétérogénéité spatiale des bilans d'azote

### a. *Cartes des bilans d'azote*

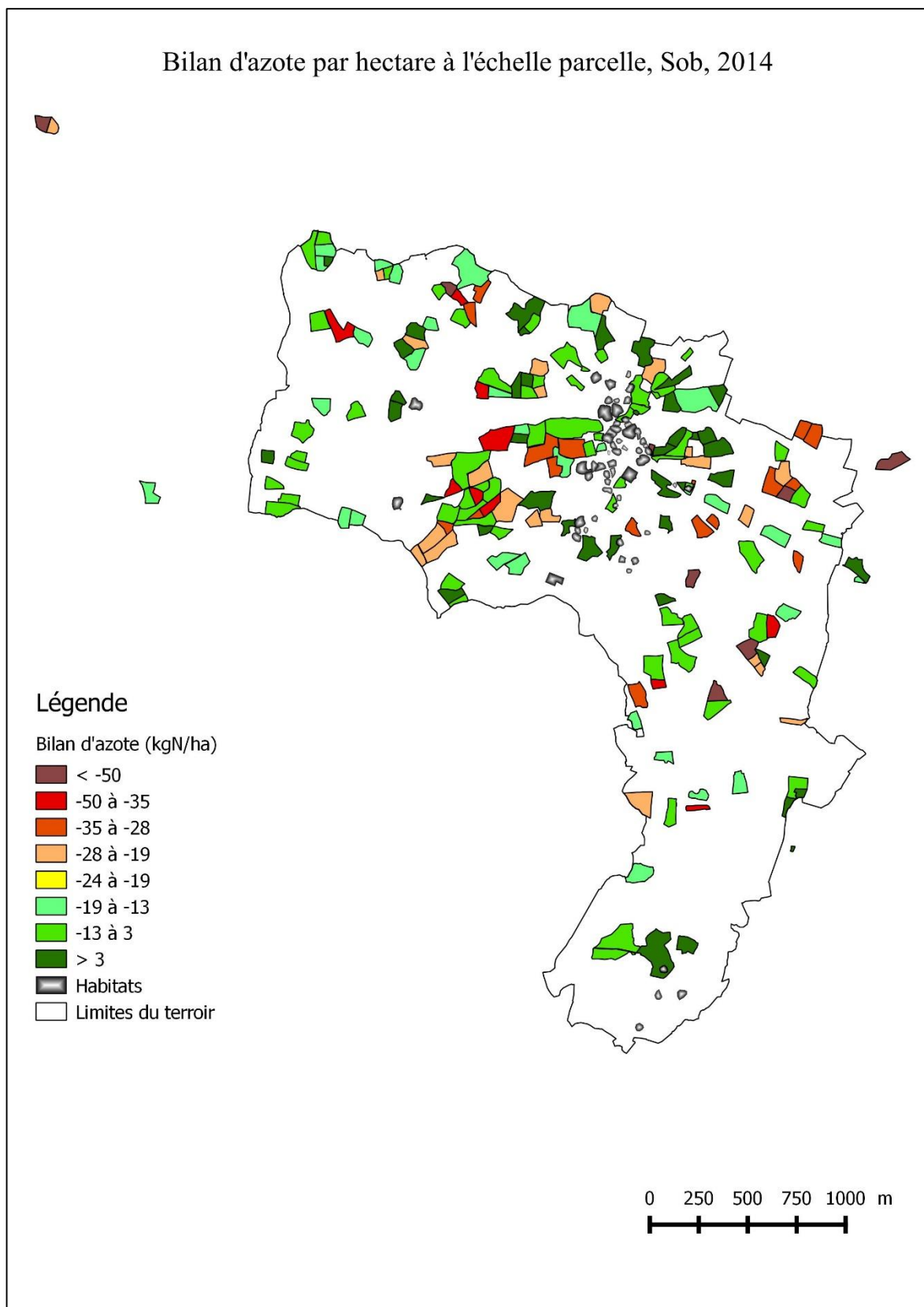


Figure 6 : Carte des bilans d'azote à l'échelle parcelle, Sob, 2014

Source : Saunier-Zoltobroda, 2015



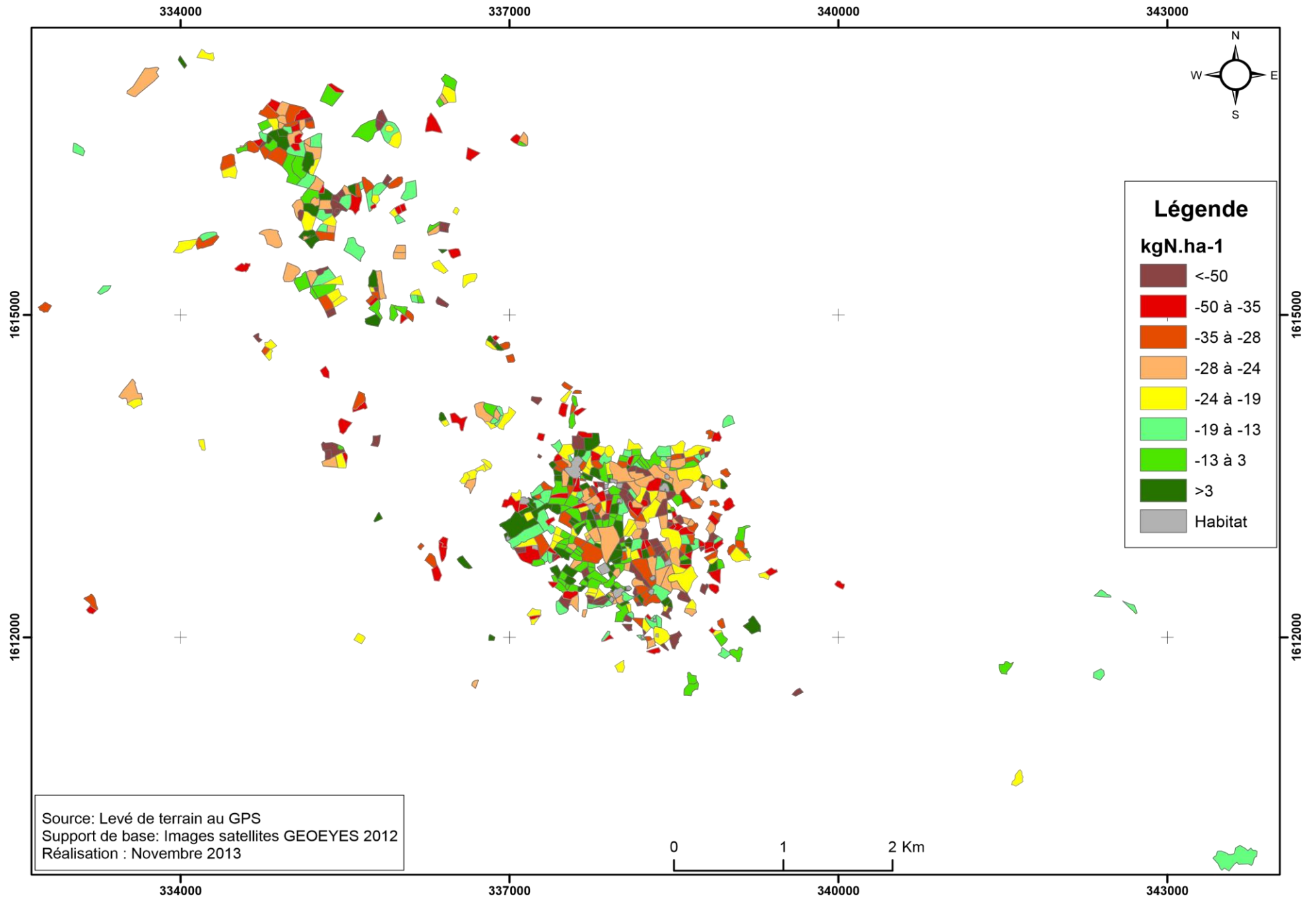


Figure 7: Carte des bilans d'azote à l'échelle parcelle, Barry Sine, 2013

Source : Audouin, 2014

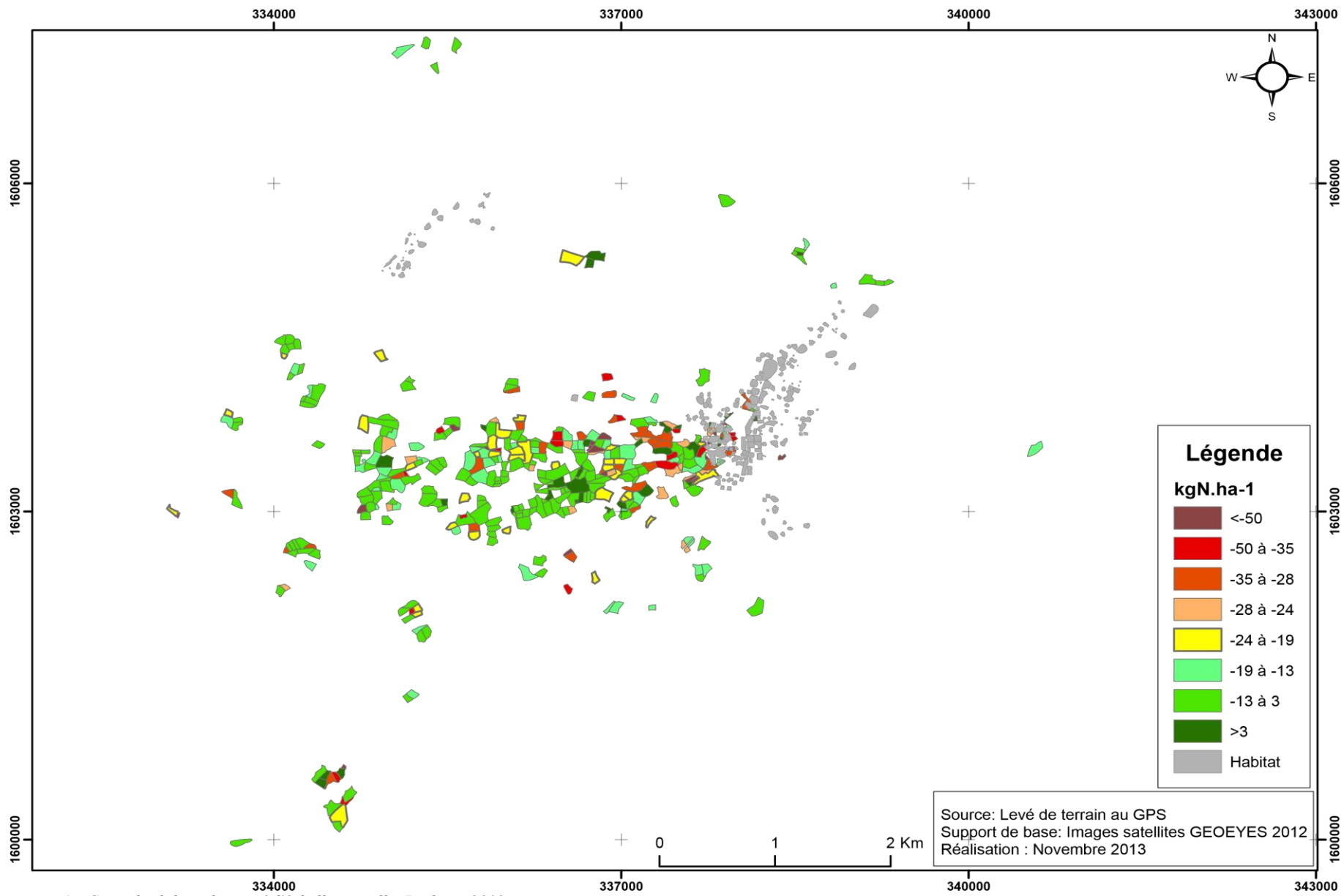


Figure 8 : Carte des bilans d'azote à l'échelle parcelle, Diohine, 2012.

Source : ODRU, 2013

b. Caractérisation des unités paysagères

Des graphiques (nuages de points) représentant les bilans d'azote à l'échelle de la parcelle en fonction de la distance parcelle-habitat de l'utilisateur sont présentés en annexes (cf. Annexes 10 et 11). Le graphique des courbes de tendances avec lissage en annexe (cf. Annexe 11) ne permettant pas d'interpréter les résultats, ceux-ci sont représentés dans le graphique suivant.

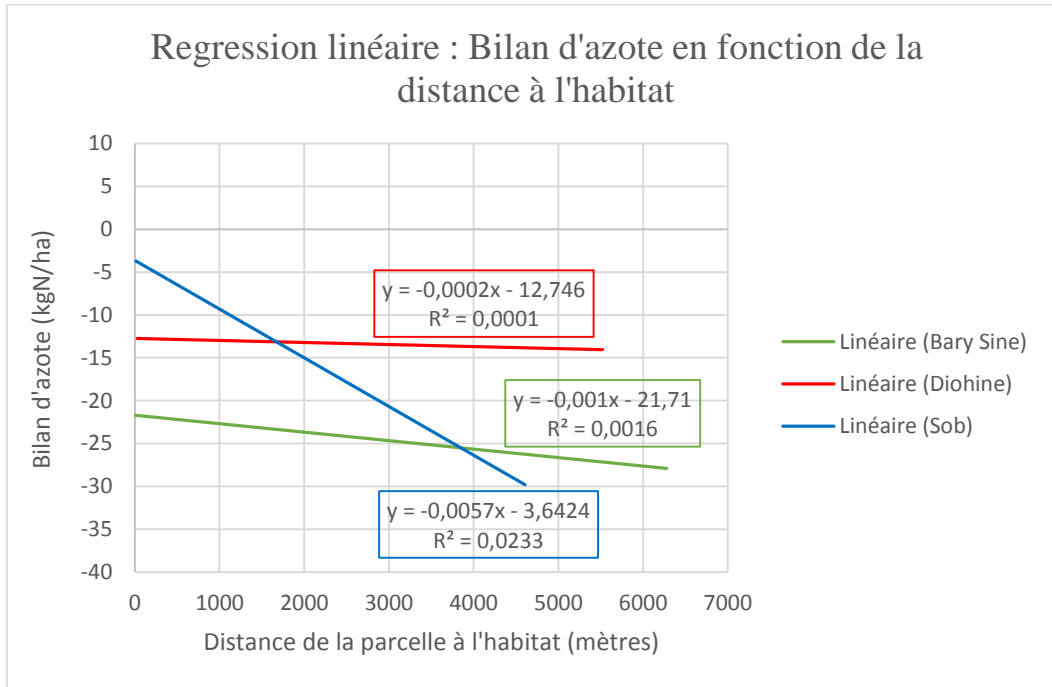


Figure 9 : Régression linéaire des bilans d'azote en fonction de la distance à l'habitat

De manière générale, on peut noter des tendances à la baisse des bilans d'azote pour les trois villages en fonction de la distance à l'habitat. En effet, on observe des coefficients directeurs négatifs pour les trois villages. Dans l'ensemble, les valeurs de bilan d'azote observées sont négatives. Pour Sob, il semblerait que les parcelles les plus proches des habitations montrent un bilan d'azote supérieur à celui identifié dans les autres villages pour cette même unité paysagère. Barry Sine et Diohine, sembleraient présenter des tendances comparables avec toutefois des ordonnées à l'origine différentes : -12,746 pour Diohine et -21,71 Pour Barry Sine. Malgré ces observations, il est indispensable de mentionner les très faibles valeurs des coefficients de détermination ( $R^2$ ) qui sont respectivement de 0,0001 ; 0,0016 et 0,0233 pour Diohine, Barry Sine et Sob. Pour le même ordre de village, on trouve des coefficients ajustés de 0,002 ;  $-5 \cdot 10^5$  et 0,018. Ces données ne nous permettent pas de conclure, avec ce modèle, qu'il y a un gradient négatif linéaire des bilans d'azote en fonction de la distance à l'habitat. Pour les trois villages, l'analyse de la p-value des coefficients « Intercept » et a, confirme que nous ne pouvons pas conclure à ce gradient. Avec ce modèle, on ne peut pas non plus affirmer qu'il y a des différences significatives entre les résultats des trois villages.

Afin de consolider nos observations, nous décidons de regrouper les valeurs de bilans d'azote par « tranches de distances » à l'habitat. L'hypothèse à vérifier est qu'il y a un seuil de distance à partir duquel les bilans d'azote moyens sont significativement différents.

### Bilans d'azote moyen en fonction de la distance à l'habitat

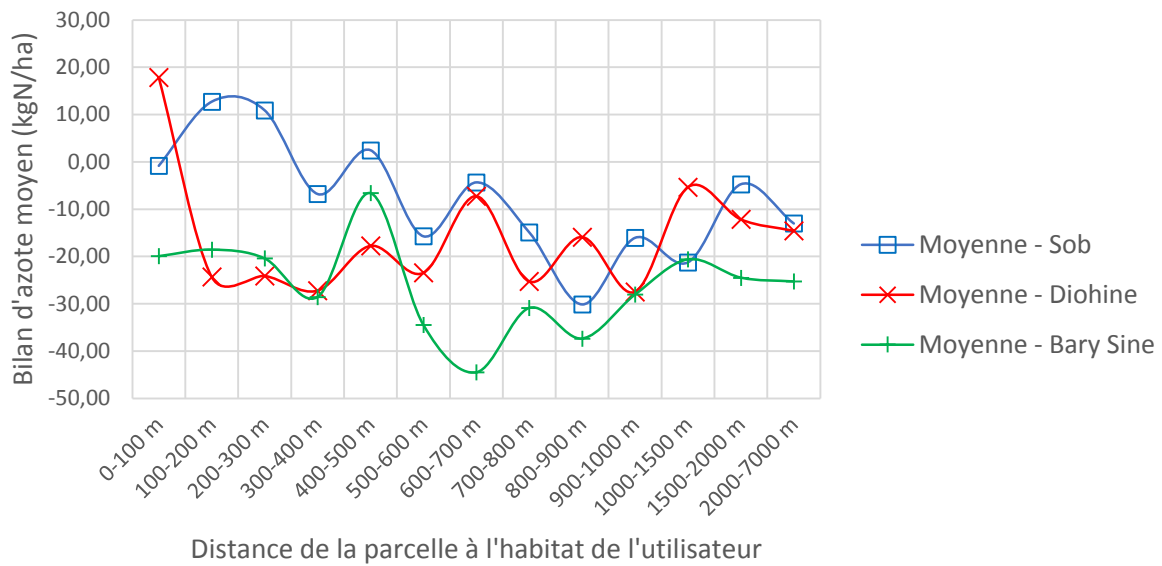


Figure 10 : Bilans d'azote moyens en fonction de la distance à l'habitat

Dans le but de permettre la lisibilité du graphique, les écarts-types sont représentés de manière indépendante dans le tableau suivant.

	Écart-type		
	Sob	Diohine	Barry Sine
0-100 m	22,47	75,92	30,60
100-200 m	31,72	26,87	39,65
200-300 m	50,83	61,87	30,45
300-400 m	21,40	25,38	35,41
400-500 m	29,58	22,66	47,18
500-600 m	17,91	10,94	36,27
600-700 m	24,63	22,73	67,52
700-800 m	19,49	9,82	12,48
800-900 m	22,07	14,28	34,72
900-1000 m	18,01	17,21	9,49
1000-1500 m	22,63	37,40	30,35
> 1500 m	27,35	39,40	16,52

Tableau 2 : Écarts-types : bilans d'azote en fonction de la distance à l'habitat

Les valeurs aberrantes ont été écartées au préalable, grâce à la visualisation des boxplots. Les hypothèses de normalité et d'homogénéité des variances ayant été vérifiées, nous avons procédé à des comparaisons de moyennes (Sudent) et de variances (ANOVA). Ces tests nous informent qu'il est impossible de distinguer un seuil caractéristique qui permettrait de caractériser les champs de case, les champs de brousse proches et les champs de brousse éloignés. En effet, dans les 600 premiers mètres, certes on peut observer des tendances différences mais ces différences ne sont pas significatives. Les très grands écarts-types confirment cette hypothèse de non significativité.

Au vue de la complexité des résultats obtenus ci-dessus et de la multitude potentielle des variables explicatives de ces différences, le choix a été fait de répartir les types de parcelles à dire d'enquêtés. On parlera donc de « champs de case », de « champs de brousse proches » et de « champs de brousses éloignés » en fonction de l'appellation que lui donne l'utilisateur. Les champs de brousse proches sont tous situés à 800 mètres ou moins de l'habitat de l'utilisateur.

*c. Données comparatives inter-unités paysagères cultivées et inter-terroir*

	<i>Unité</i>	<i>Barry Sine</i>	<i>Diohine</i>	<i>Sob</i>
<i>Surface champs de case</i>	ha	189,8	27,5	23,3
<i>Surface champs de brousse proches</i>	ha	30,7	7,4	49,1
<i>Surface champs de brousse éloignés</i>	ha	181,2	170,4	59,6
<i>Surface champs de case/surface champs de brousse</i>		0,9	0,2	0,2

*Tableau 3 : Comparaison des surfaces des unités paysagères (ha)*

		Apports moyens parcsages SP (kgN/ha)		Apports moyens parcsages SS (kgN/ha)		Apports moyens fumier (kgN/ha)		Apports moyens engrais minéraux (kgN/ha)		Bilan d'azote moyen (kgN/ha)	
		Moyenne	Écart-type	Moyenne	Écart-type	Moyenne	Écart-type	Moyenne	Écart-type	Moyenne	Écart-type
Barry Sine	Champs de case	0,66	5,48	3,60	18,79	3,75	8,84	5,50	17,86	-18,76	33,42
	Champs de brousse proche	0,31	2,56	7,88	41,40	5,43	12,52	7,09	20,15	-31,81	59,18
	Champs de brousse éloignés	0,00	0,00	1,29	6,99	1,03	2,85	7,07	25,19	-26,18	37,60
Diohine	Champs de case	0,06	0,50	0,77	2,80	11,19	21,34	0,49	3,99	-13,70	44,46
	Champs de brousse proche	0,00	0,00	0,00	0,00	3,16	5,09	0,00	0,00	-17,22	12,40
	Champs de brousse éloignés	0,39	2,84	0,01	0,23	2,02	9,84	1,37	8,54	-12,89	22,17
Sob	Champs de case	0,04	0,27	3,82	13,34	3,29	8,26	3,99	8,42	5,33	26,15
	Champs de brousse proche	0,04	0,32	2,80	11,52	1,36	3,81	8,58	24,57	-8,64	30,18
	Champs de brousse éloignés	1,43	11,06	1,25	11,09	1,42	3,93	4,08	11,31	-15,38	25,18

Tableau 4 : Données comparatives des trois terroirs par unité paysagère

Des graphiques synthétiques sont disponibles en annexe (cf. Annexes 13, 14 et 15)

Il est tout d'abord important d'analyser les bilans d'azote. Seuls les champs de case de Sob, présentent un bilan d'azote moyen positif de 5,33 kgN/ha. Pour les autres unités paysagères cultivées de Sob, les bilans d'azote moyens sont négatifs. Pour la totalité des unités paysagères des villages de Barry Sine et de Diohine, les bilans d'azote moyens sont négatifs. Cependant, les écarts-types présentés sont tous très grands et ne nous permettent pas de conclure sur la significativité des différences inter-villages et inter-unités paysagères.

De manière transversale on observe que Diohine, présente une gestion des unités paysagères cultivées particulières. En effet, on peut noter de faibles apports liés au parcage et à l'utilisation d'engrais minéraux, relativement autres villages. Les apports de fumier eux, sont eux plus élevés dans cette localité, en particulier pour les champs de case.

A Barry Sine en champs de case, ce sont les apports d'engrais minéraux qui semblent déterminants dans le calcul du bilan d'azote avec une moyenne de 5,5 kgN/ha. En champs de brousse proches, ce sont les apports liés au parcage de saison sèche, qui sont relativement important (7,88 kgN/ha) ainsi que les apports liés à l'utilisation d'engrais minéraux (7,09 kgN/ha). Ces derniers apports sont aussi très importants en champs de brousse.

Les données concernant Sob sont comparables à celles de Barry Sine. Dans les champs de case, les apports liés au parcage de saison sèche, les apports de fumier et les apports d'engrais minéraux sont quasiment équivalents à l'hectare. Les bilans azotés moyens des champs de brousse proches et des champs de brousse éloignés semblent déterminés par le fort apport relatif d'engrais minéraux.

Graphiquement, au vu des écart-types très importants, il semble cependant qu'on ne puisse pas conclure à une différence significative entre les villages, pour les trois unités paysagères concernées. Quelques indicateurs intéressants sont tout de même explicités ci-dessous afin mettre en avant des modalités de gestion des unités paysagères cultivées particulières à chaque village.

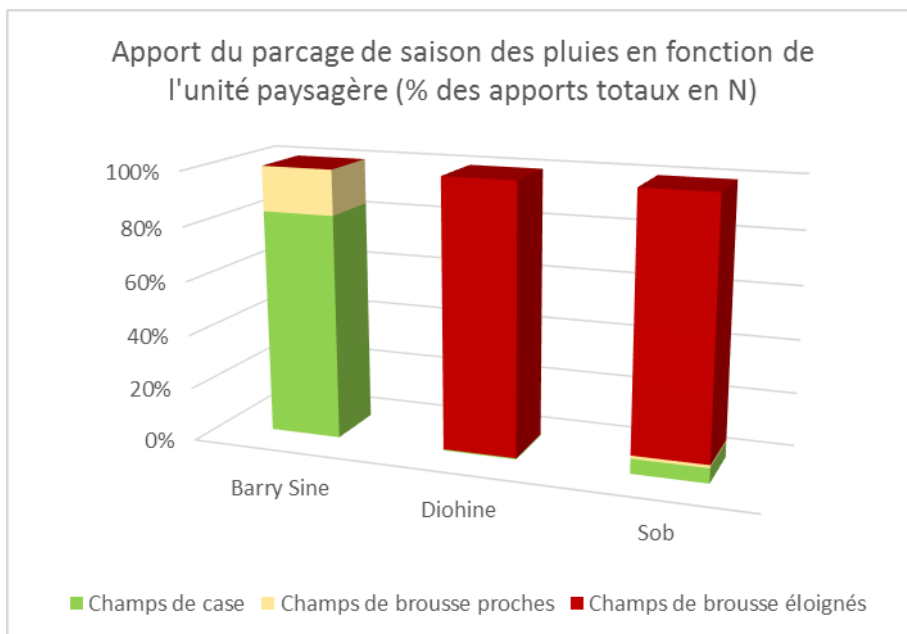


Figure 11 : Apports liés au parcage de saison des pluies par unité paysagère

Les différences entre les trois villages, en termes de pratiques de parcage en saison des pluies, sont flagrantes. On observe en effet que pour Barry Sine, contrairement aux deux autres localités, plus de 80 % des apports liés à cette pratique, se font en champs de case. Pour Diohine

et pour Sob, la très grande majorité de ces apports se font en champs de brousse éloignés. On observe que les champs de brousse proches ne sont quasiment pas alimentés en azote. Ces valeurs sont à relier avec les données présentées dans le tableau ci-dessus. En effet ces pratiques sont, de manière relative, très faibles à Diohine (maximum de 0,39 kgN/ha pour les champs de brousse éloignés). A Barry Sine, les apports en champs de case sont moins de deux fois inférieures à ces apports en champs de brousse éloignés à Sob. Ceci, malgré un nombre absolu de ruminants près de deux fois inférieur à Sob qu'à Barry Sine.

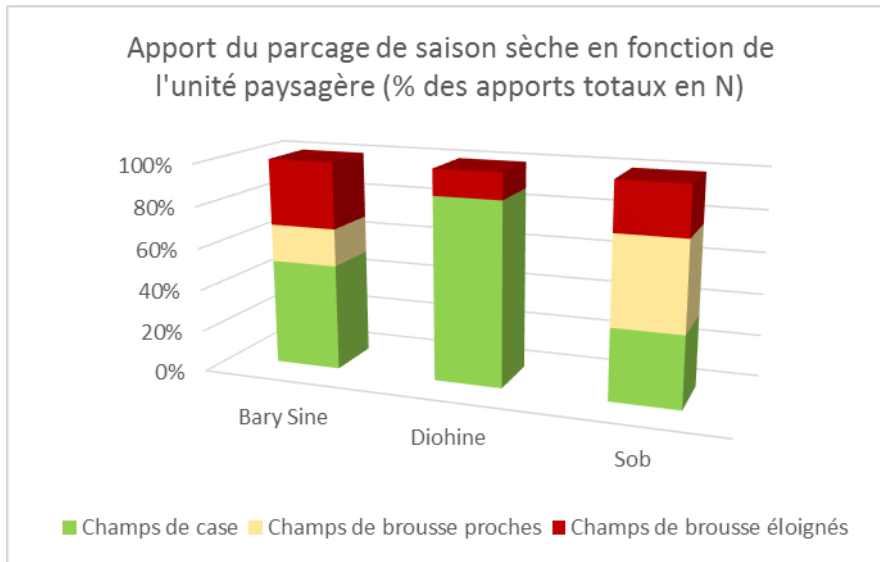


Figure 12 : Apports liés au parcage de saison sèche par unité paysagère

En saison sèche, à Sob comme à Barry Sine, les apports en azote liés au parcage semblent être répartis entre les trois principales unités paysagères. Les apports moyens à l'hectare sont à peu près équivalents pour les champs de case et les champs de brousse éloignés : 3,3 et 1,3 kgN/ha pour Barry Sine ; 3,8 et 1,6 kgN/ha pour Sob. Pour Diohine, on constate une volonté de privilégier les apports de parcage en saison sèche sur les champs de case. Les quantités apportées sont cependant bien moindre que pour les deux autres villages (0,77 kgN/ha).

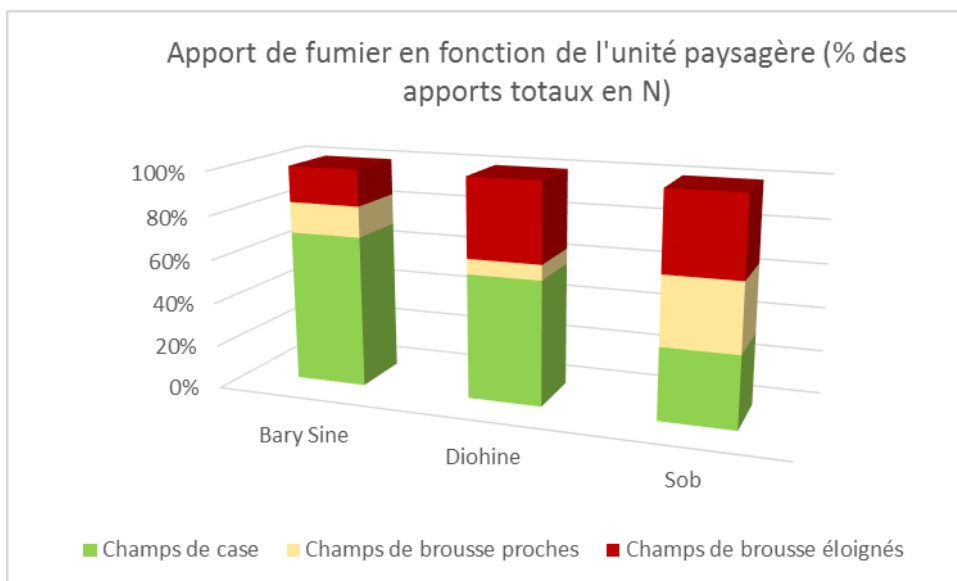


Figure 13 : Apports de fumier par unité paysagère



À Barry Sine, il y a une tendance à favoriser le champ de case pour l'apport de fumier. À Diohine, les faibles apports liés au parcage sont compensés par ces apports en apports en fumier. Graphiquement, on voit que ces apports absolus se répartissent de manière quasi-égale entre les champs de case et les champs de brousse éloignés. Ramené à l'hectare, on note que les apports de fumier se font préférentiellement sur les champs de case avec une moyenne de 11,19 kgN/ha. À Sob, les apports absolus liés au dépôt de fumier se font de manière homogène sur toutes les unités paysagères. Cependant, au vu du très faible ratio « surface champs de case/surface champs de brousse », il paraît clair que les champs de case sont privilégiés (moyenne de 3,29 kgN/ha).

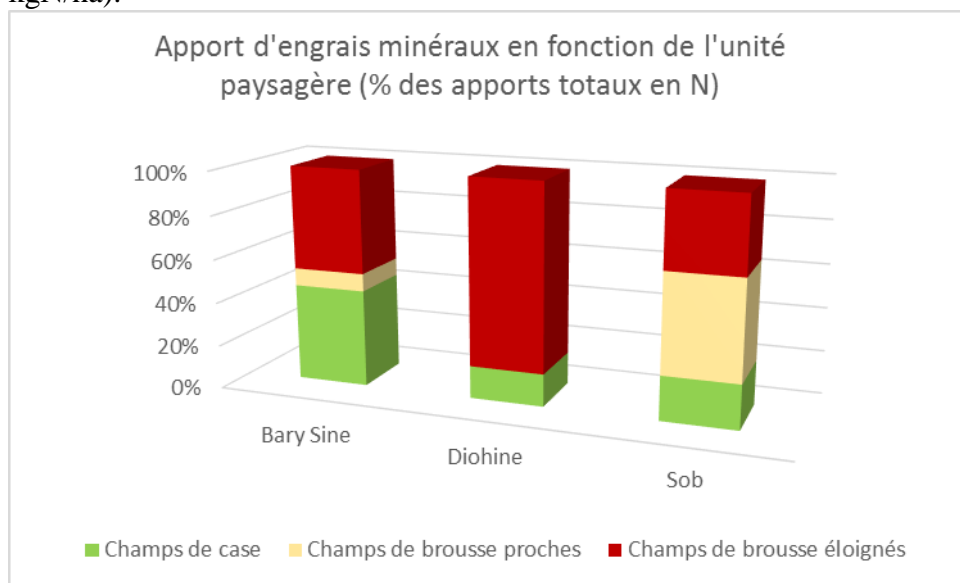


Figure 14 : Apports d'engrais minéraux par unité paysagère

À Barry Sine, les apports d'engrais minéraux se répartissent quasiment de manière égale entre les champs de case et les champs de brousse éloignés. Les engrais ne sont quasiment pas utilisés sur les champs de brousse intermédiaires. Sob présente les mêmes tendances, avec toutefois une utilisation plus importante en champs de brousse proches. À Diohine, ce sont les champs de brousse éloignés qui sont favorisés avec plus de 80 % des apports totaux en azote. Cela représente 1,37 kgN/ha pour les champs de case et 0,49 kgN/ha pour les champs de brousse.

Au vu de ces résultats, nous pouvons conclure à une hétérogénéité spatiale des bilans d'azote pour les trois terroirs étudiés. Il est cependant impossible avec ce travail d'affirmer que les différences inter-unités paysagères cultivées et inter-villages sont significatives.

### 3. Flux de biomasse en fonction des unités paysagères

Au vu des résultats précédents, on parlera dorénavant uniquement de champs de case et de champs de brousse (champs de brousse proches et champs de brousse éloignés ayant été réunis).

#### a. Cartographie des entrées de matière sèche

On décide de représenter graphiquement une partie des entrées de matière sèche sur les parcelles. Celles qui sont pris en compte dans la cartographie sont les suivantes : apport de fumier (quel que soit sa nature exacte), apports liés au parcage d'animaux, apports liés à la vaine pâture et apports de déchets ménagers. Ces cartes permettront d'introduire l'analyse des flux de biomasse par terroir.

# APPORTS EN MATIÈRE SÈCHE (T.HA<sup>-1</sup>) À L'ÉCHELLE DE LA PARCELLE POUR LE TERROIR DE SOB

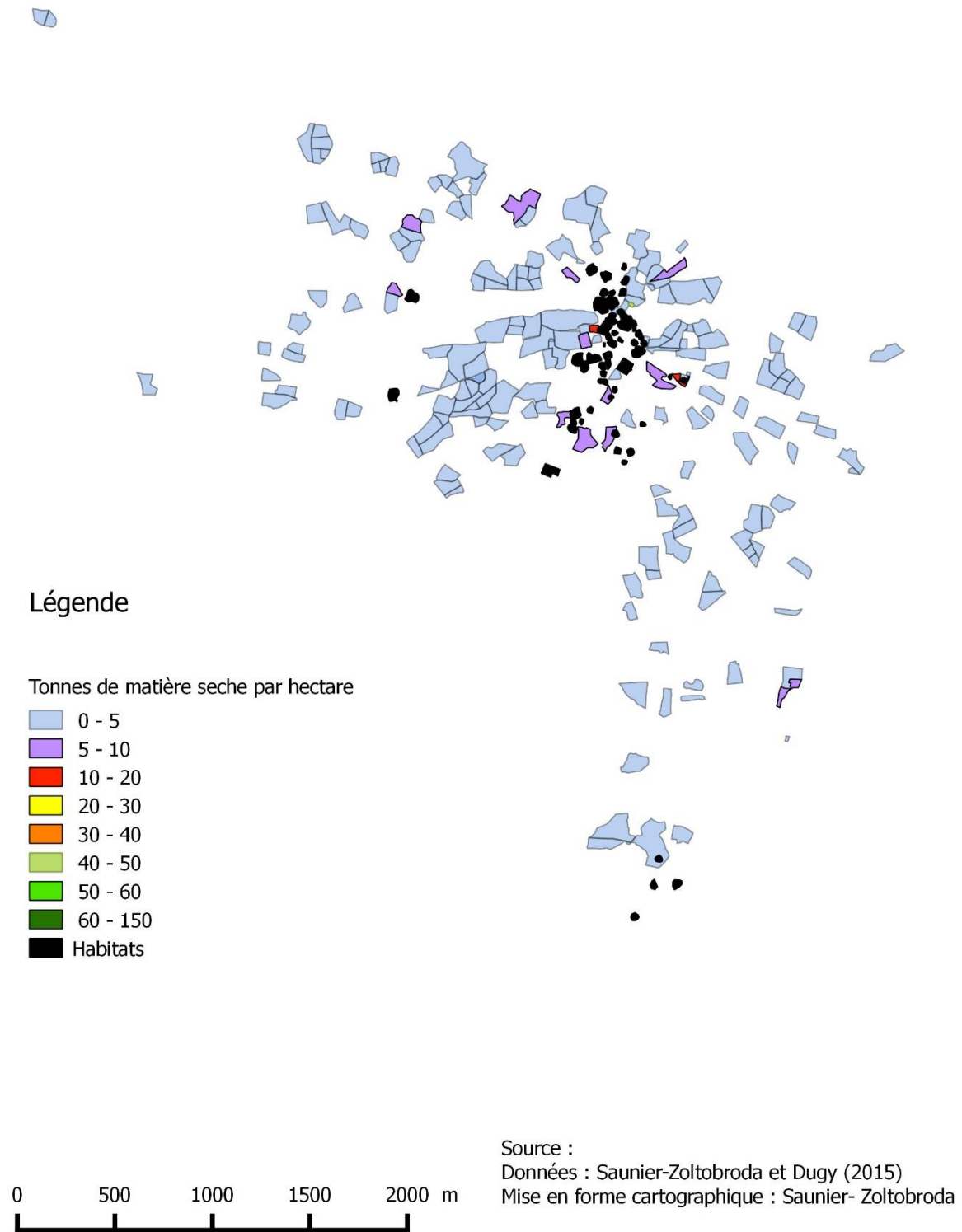


Figure 15 : Carte des apports de matière sèche à l'échelle de la parcelle pour le terroir de Sob (T/ha)

# APPORTS EN MATIÈRE SÈCHE (T.HA<sup>-1</sup>) À L'ÉCHELLE DE LA PARCELLE POUR LE TERROIR DE DIOHINE

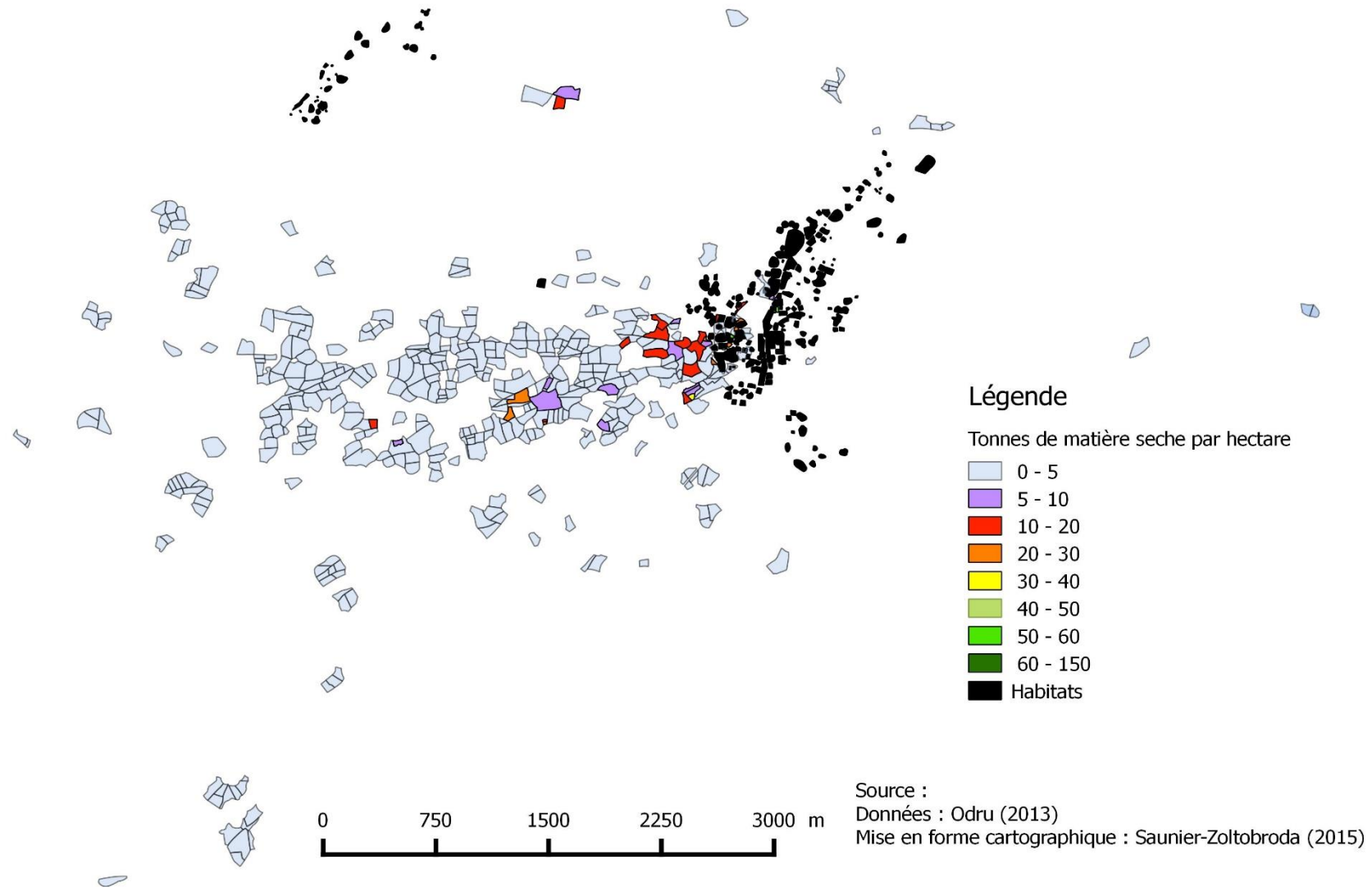


Figure 16 : Carte des apports de matière sèche à l'échelle de la parcelle pour le terroir de Diohine (T/ha)

# APPORTS EN MATIÈRE SÈCHE (T.HA<sup>-1</sup>) À L'ÉCHELLE DE LA PARCELLE POUR LE TERROIR DE BARRY SINE

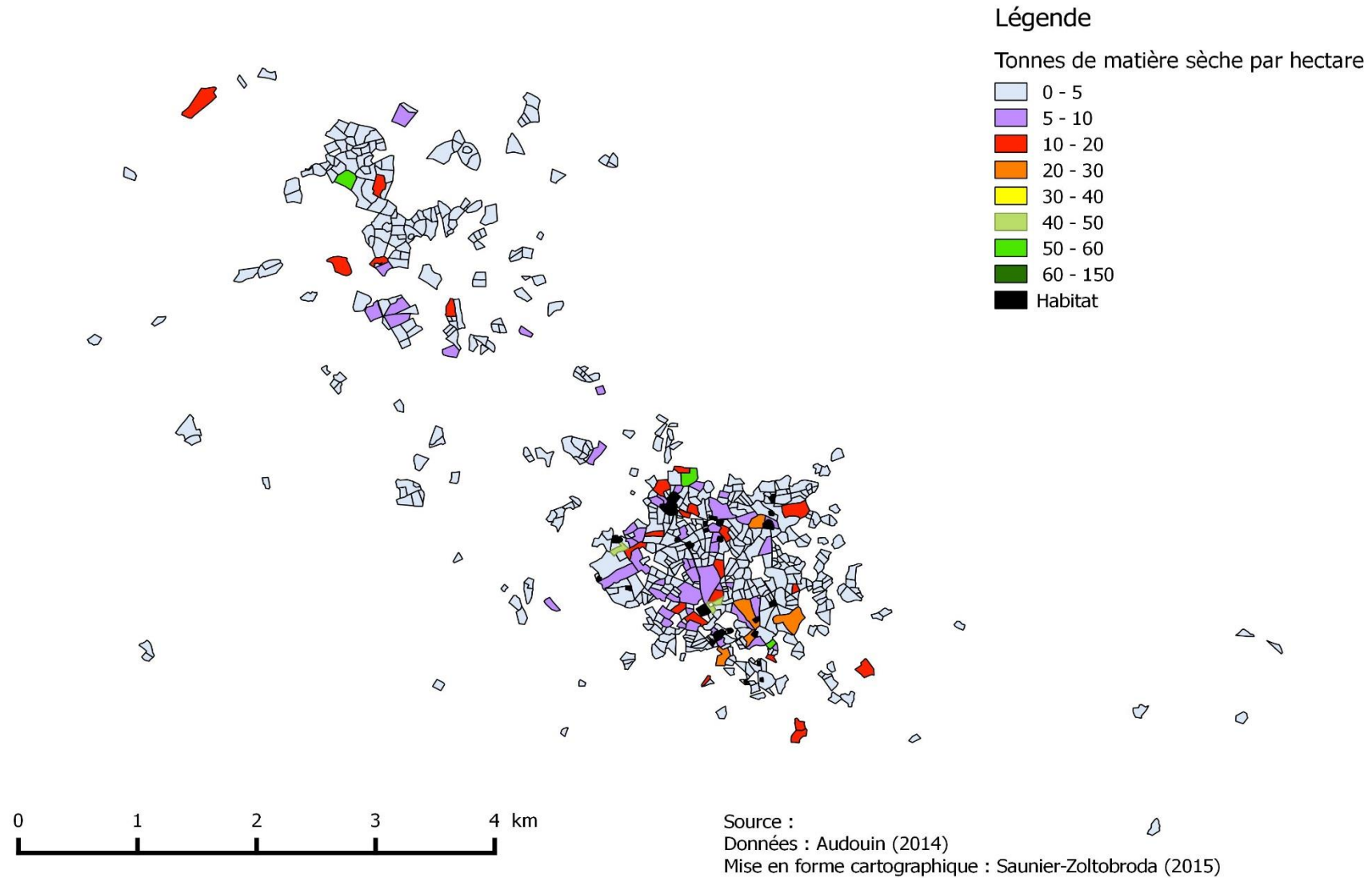


Figure 17 : Carte des apports de matière sèche à l'échelle de la parcelle pour le terroir de Barry Sine (T/ha)

b. Modélisation des flux de matière sèche à l'échelle du terroir

Les flux sont ici exprimés en pourcentage des flux totaux de kilogramme de matière sèche (kgMS) par terroir. Quatre classes sont représentées : < 10 % ; 1 à 10 % ; 10 à 20 % ; 20 à 40 %. Les flux sont réparties par nature : « *Livestock driven flows* » (flux relatifs aux animaux) ; « *Human driven flows* » (flux relatifs à l'alimentation humaine) et « *Others* » (Autres). Un tableau de description précisant la nature des flux est disponible en annexe (cf. Annexe 16). L'annexe 17, présente une synthèse des résultats obtenus pour l'ensemble des terroirs.

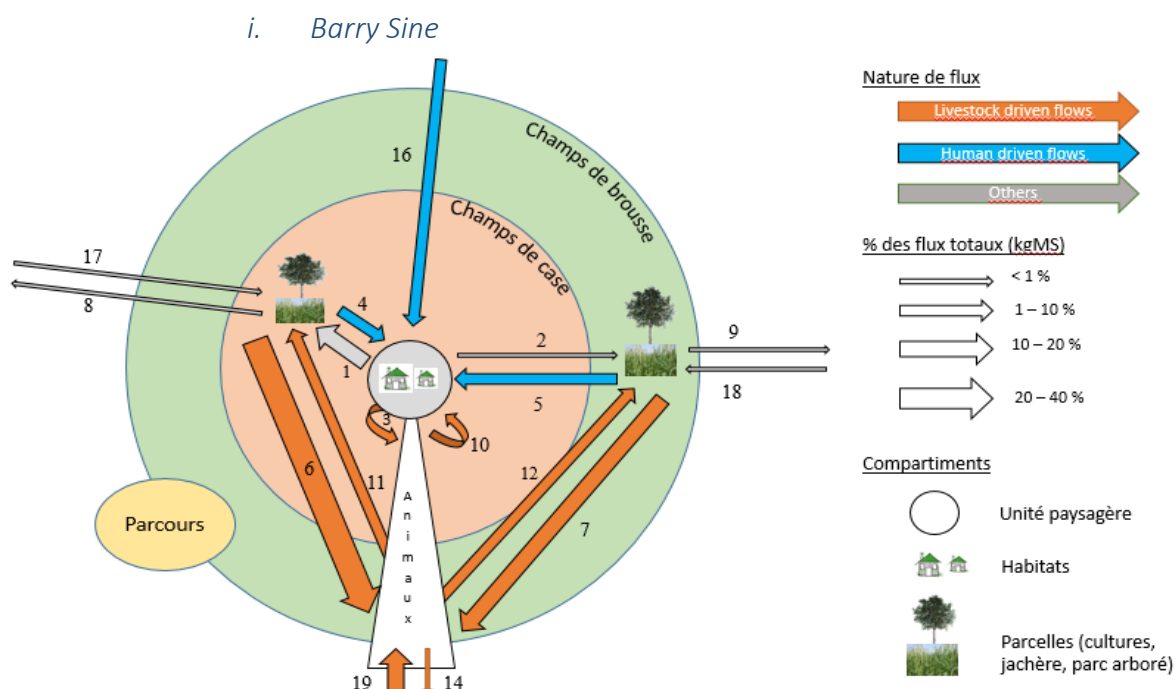


Figure 18 : Flux de biomasse pour le village de Barry Sine (% des flux totaux de matière sèche du terroir)

N°FLUX	RESUMÉ	% DES FLUX TOTAUX DE MATIÈRE SÈCHE
1	Semences et déchets ménagers	11,57
2	Semences et déchets ménagers	0,19
3	Alimentation animale : coproduits de l'année N-1	3,42
4	Récoltes : alimentation humaine	4,53
5	Récoltes : alimentation humaine	4,72
6	Alimentation animale : coproduits de l'année N	21,58
7	Alimentation animale : coproduits de l'année N	17,78
8	Ventes produits et coproduits	0,77
9	Ventes produits et coproduits	0,20
10	Consommation de produits animaux	2,47
11	Déjections et urines	7,38
12	Déjections et urines	5,70
13	Déjections et urines	0,00
14	Ventes animaux	0,98
15	Alimentation animale : herbe	0,00
16	Alimentation humaine	3,65
17	Achats semences, matière organique ou minérale	0,20
18	Achats semences, matière organique ou minérale	0,26
19	Alimentation animale, achats d'animaux	14,59

Tableau 5 : Flux de biomasse pour le village de Barry Sine (% des flux totaux de matière sèche du terroir)

ii. Diohine

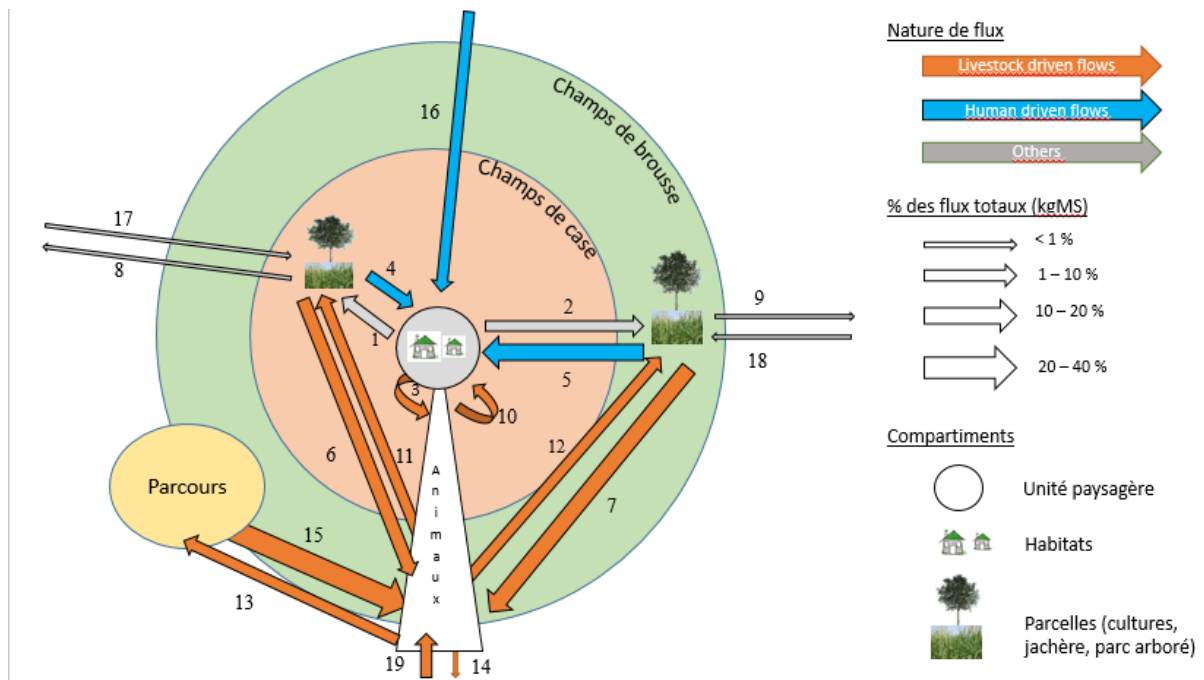


Figure 19 : Flux de biomasse pour le village de Diohine (% des flux totaux de matière sèche du terroir)

N°FLUX	RESUMÉ	% DES FLUX TOTAUX DE MATIÈRE SÈCHE
1	Semences et déchets ménagers	4,27
2	Semences et déchets ménagers	1,61
3	Alimentation animale : coproduits de l'année N-1	5,00
4	Récoltes : alimentation humaine	5,05
5	Récoltes : alimentation humaine	15,37
6	Alimentation animale : coproduits de l'année N	3,05
7	Alimentation animale : coproduits de l'année N	11,75
8	Ventes produits et coproduits	0,05
9	Ventes produits et coproduits	0,26
10	Consommation de produits animaux	2,47
11	Déjections et urines	2,84
12	Déjections et urines	5,70
13	Déjections et urines	2,73
14	Ventes animaux	0,70
15	Alimentation animale : herbe	35,41
16	Alimentation humaine	5,36
17	Achats semences, matière organique ou minérale	0,02
18	Achats semences, matière organique ou minérale	0,15
19	Alimentation animale, achats d'animaux	3,43

Tableau 6 : Flux de biomasse pour le village de Diohine (% des flux totaux de matière sèche du terroir)

iii. Sob

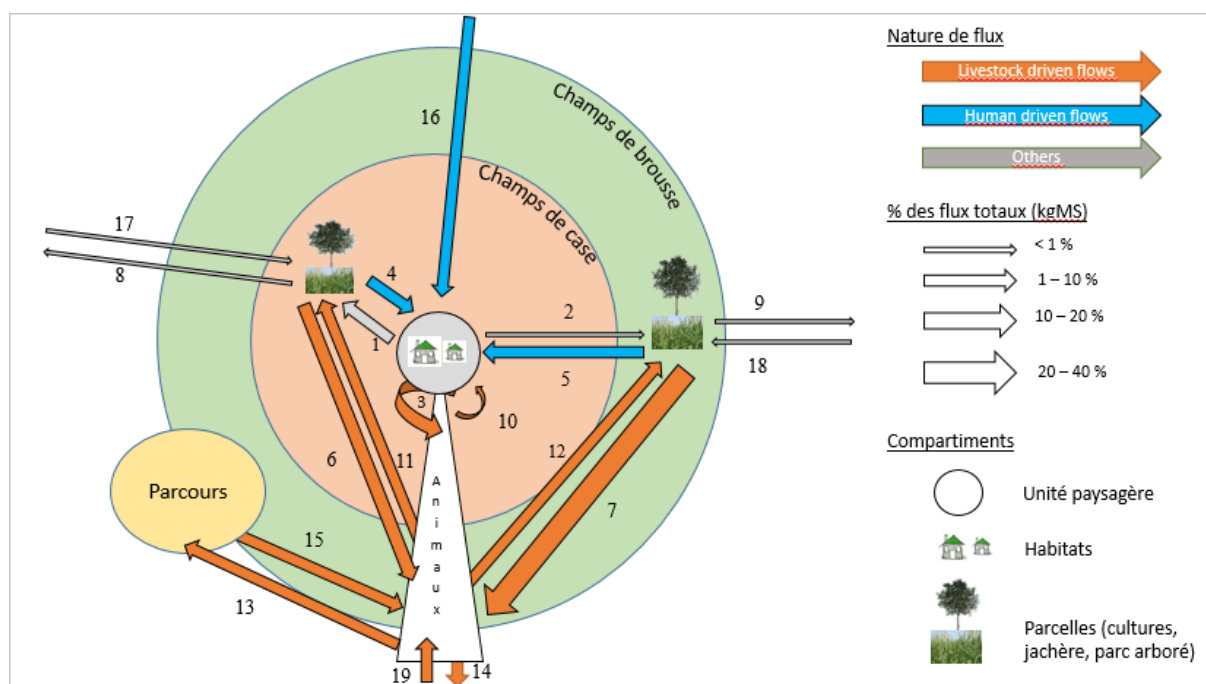


Figure 20 : Flux de biomasse pour le village de Sob (% des flux totaux de matière sèche du terroir)

N°FLUX	RESUMÉ	% DES FLUX TOTAUX DE MATIÈRE SÈCHE
1	Semences et déchets ménagers	4,32
2	Semences et déchets ménagers	0,60
3	Alimentation animale : coproduits de l'année N-1	22,94
4	Récoltes : alimentation humaine	2,50
5	Récoltes : alimentation humaine	9,14
6	Alimentation animale : coproduits de l'année N	5,64
7	Alimentation animale : coproduits de l'année N	22,50
8	Ventes produits et coproduits	0,12
9	Ventes produits et coproduits	0,71
10	Consommation de produits animaux	0,42
11	Déjections et urines	4,48
12	Déjections et urines	5,82
13	Déjections et urines	2,68
14	Ventes animaux	3,01
15	Alimentation animale : herbe	6,07
16	Alimentation humaine	3,33
17	Achats semences, matière organique ou minérale	0,07
18	Achats semences, matière organique ou minérale	0,33
19	Alimentation animale, achats d'animaux	5,33

Tableau 7: Flux de biomasse pour le village de Sob (% des flux totaux de matière sèche du terroir)

En vue des résultats obtenus, il convient de s'interroger sur les questions initiales : Les systèmes étudiés sont-ils durables en termes de gestion de la fertilité des sols ? Quels processus écologiques sont particulièrement mobilisés dans les trois terroirs ?

## Discussion

### 1. Des systèmes durables ?

Dans le cadre de cette étude, ce sont les bilans d'azote à l'échelle de la parcelle qui ont été choisis comme indicateur de durabilité en termes de gestion de la fertilité des sols. Les résultats obtenus suite aux enquêtes réalisées, ne nous permettent pas de valider la première hypothèse « il y a un gradient linéaire des bilans d'azote des champs les plus proches de l'habitat aux champs les plus éloignés ». Par village, on ne peut pas non plus conclure à des différences significatives entre les « champs de case », les « champs de brousses proches » et les « champs de brousse éloignés ». Les différences inter-unités paysagères cultivées et inter-villages ne sont pas non plus significatives. La variable « distance à l'habitat » ne semble donc pas ici l'unique déterminante dans la prise de décision concernant la gestion de la fertilité des sols.

Il est toutefois intéressant de noter que les moyennes de bilans d'azote sont en quasi-totalité négatives. Cela indique que les apports ont été inférieurs aux sorties (exportations), c'est à dire que la biomasse apportée sur la parcelle a été inférieure à la biomasse qui en est sortie.

On constate aussi pour les trois villages, que les champs de case présentent dans l'ensemble un bilan d'azote supérieur à celui des autres unités paysagères cultivées. Pour Sob on note même un bilan moyen d'azote positif (5,3 kgN/ha) induit par des entrées importantes liées au parage de saison sèche et aux apports moyens de fumier ainsi que par des faibles sorties de produits récoltés. Pour ce village, il y a une réelle volonté de favoriser cette unité paysagère en termes d'apports de matières organiques et minérales.

Pour Barry Sine, même si dans l'absolu les apports d'azote sont supérieurs pour les champs case, ces derniers occupent 90 % de l'espace cultivé. En ramenant les valeurs de bilan azoté à l'hectare, on peut conclure qu'il n'y a pas de tendance particulière à apporter plus de matière azotée sur cette unité paysagère que sur les autres.

Pour Dihine, les apports liés au parage (saison sèche et saison des pluies) sont très particulièrement faibles malgré un nombre moyen de 1 UBT/ha. On le comprend lorsqu'on compare ces valeurs avec celles des apports de fumier. Les agriculteurs de Dihine ont seulement tendance à favoriser les apports de fumier (peu de déjections directes au champ), en particulier sur les champs de case. Ces derniers présentent un apport moyen d'azote de fumier de 11,19 kgN/ha avec un bilan moyen relativement élevé. Ces tendances sont surprenantes pour le terroir de Dihine lorsque l'on sait que près de 20 % de la SAU du terroir qui est une zone destinée au parcours.

Si on se basait uniquement sur ces moyennes de bilans d'azote pour affirmer la durabilité des systèmes en termes de gestion de la fertilité des sols, la conclusion serait qu'il y a une régression de la fertilité des sols dans les trois terroirs. En effet, l'apport de matières azotées ne compense pas les sorties azotées et les ressources présentent initialement (sol, arbres) s'épuisent.

Deux points essentiels ne peuvent cependant pas être mis de côté. Tout d'abord, il faut considérer les limites de la méthodologie appliquée pour cette étude (*cf. Limites de l'étude*). Deuxièmement, on sait que l'étude de la durabilité de systèmes complexes ne peut pas reposer sur l'unique calcul des bilans d'azote.



Nous proposons donc d'étudier les flux de matière sèche à l'échelle du terroir afin de comprendre plus en détail les pratiques mises en œuvre pour maintenir/améliorer la fertilité de ces systèmes.

## 2. Quels processus écologiques sont mobilisés dans les terroirs étudiés ?

### a. *Barry Sine*

Le terroir de Barry Sine présente une configuration particulière. Tout d'abord, on observe que les zones de parcours sont totalement absentes du village. On note aussi un très fort ratio de la surface des champs de case sur la surface des champs de brousse (0,9). Les surfaces en jachère sont très petites, ce qui peut être en partie expliqué par le taux élevé d'habitants à l'hectare (3,20). Les pratiques d'élevage ont été adaptées à ces contraintes de saturation : l'embouche touche 30 % des UBT du terroir, tandis que la quasi-totalité du reste des animaux sont concernés par la transhumance.

Pour ce terroir, on constate que les trois plus importants flux de kgMS sont liés à l'alimentation animale. En effet, les aliments pour animaux provenant des champs de case et des champs de brousse représentent à eux deux près de 40 % des flux totaux. L'alimentation animale provenant du terroir est issue de manière égale des champs de case et des champs de brousse. Il est intéressant de noter que près de 20 % des flux liés à l'alimentation animale correspondent à la pratique de prélèvement d'herbe sur les parcelles. L'achat d'aliments concentrés à l'extérieur du terroir représente 15 % des flux totaux à l'échelle terroir.

Les flux liés au parc arboré du terroir sont très faibles, autant pour la consommation animale (1% des flux totaux) que pour l'utilisateur en tant que combustible (3 % des flux totaux). Il y a une tendance à favoriser le bois et autres combustibles provenant de l'extérieur du terroir. Aucun prélèvement de bouses de vaches pour combustibles n'a été recensé à Barry Sine. En termes de restitution de la matière organique au champ, on remarque que les flux sont relativement importants (13 % des flux totaux). Globalement on peut affirmer qu'il n'y a pas de réelles tendances à favoriser une unité paysagère cultivée par rapport à une autre en termes de pratiques (excepté pour l'apport de fumier).

Les flux sortants du terroir représentent moins de 2 % des flux totaux et les flux entrants environ 20 % (conditionné par l'achat d'aliments pour animaux). Les échanges de produits végétaux et animaux avec l'extérieur du terroir sont donc très faibles et les échanges se font principalement entre ménages du terroir.

### b. *Diohine*

Le terroir de Diohine se démarque notamment par son maintien de la jachère collective (2,3 % de la SAUT) et par la présence d'une très grande surface de parcours (9% de la SAUT). La surface des champs de case est beaucoup plus faible que celle des champs de brousse. Comparativement aux deux autres terroirs, la concentration en UBT par hectare est faible (1 UBT/ha). On peut noter qu'il n'y a ni pratiques de transhumance ni d'embouche. Près de 35 % des flux de biomasse à l'échelle du terroir sont liés au pâturage dans les zones de parcours. Les transferts de fertilité de ces zones de parcours vers les espaces cultivés se font très peu par la pratique du parcage et le passage par l'habitat semble généralisé (apports importants de fumier). L'alimentation animale issue du parc arborée est très faible à l'échelle terroir (3% de l'alimentation animale totale).

La totalité des informations recueillies nous permet d'affirmer que les champs de case sont privilégiés en termes d'apports de matière organique et de déchets ménagers. Les plus importants apports de matière sèche dans les champs de case sont dus aux dépôts des déchets ménagers (environ 4 % des flux totaux).

En champs de case, on observe que les prélèvements de bouses de vaches pour combustibles représentent l'équivalent de 8 % des flux totaux entrants sur les parcelles.

En champs de brousse, cette valeur atteint les 90 %. Cela signifie donc que pour cette unité paysagère, il ne reste au final que 10 % de la matière organique qui a été déposée au cours du pas de temps.

La somme des flux entrants dans le terroir (principalement achats d'aliments, de combustibles ou d'animaux) vaut moins de 10 % des flux totaux. Plus de la moitié correspond aux achats d'aliments pour les ménages alors que quasiment 90 % de la surface cultivée l'est en céréales. Les flux sortants du terroir sont extrêmement faibles (moins de 1% des flux totaux).

### c. Sob

En termes de configuration, il semble juste de présenter la situation de Sob comme intermédiaire entre les deux autres terroirs. En effet, même si la surface cultivée équivaut à 90 % de la SAUT, il existe des zones de parcours et de parcelles en jachères conséquentes. Les champs de case ne représentent que 18 % des surfaces cultivées. Plus de la moitié des UBT sont transhumants et 4 % du reste des UBT sont gérés en embouche.

Comme pour les deux autres villages étudiés, les principaux flux sont liés à l'alimentation animale. En effet, 23 % des flux totaux de matière sèche correspondent à l'alimentation issue des champs de brousse. La même quantité de matière sèche provient des habitats (récoltes de l'année précédente). Le flux des champs de brousse à l'habitat (alimentation humaine et combustibles) est le troisième flux le plus important à l'échelle du terroir (9,14 % des flux de matière sèche). Environ la moitié de ce flux est expliqué par les prélèvements de bouses de vaches sèches sur les champs.

Les restitutions de matière organique aux champs par les animaux sont relativement importantes (environ 13 % des flux totaux). Les champs de case sont particulièrement favorisés, autant en termes d'apport du parcage de saison sèche, que d'apports de fumier.

Les flux sortants du terroir (ventes de produits végétaux ou animaux) sont très faibles et représentent à eux tous moins de 4 % des flux totaux.

## 3. Voies d'intensifications écologiques privilégiées

L'étude a révélé une grande majorité de bilans moyens d'azote négatifs et il semble donc intéressant de proposer des voies d'intensification écologique au vue des processus décrits ci-avant. Les différences évidentes entre les terroirs nous a obligé à les analyser individuellement. Cependant, les solutions proposées se devront être générales et potentiellement bénéfiques aux trois localités rencontrées.

### a. *Réduction de la transhumance par la réhabilitation/conservation des ressources naturelles*

Pour Barry Sine et Sob, il paraît évident que le fort taux de transhumants est dû à une contrainte d'alimentation animale, qui est le flux principal pour les trois terroirs. Ceci avait déjà été observé par Lericollais (1994). La réduction de cette pratique (transhumance) et l'optimisation des pratiques de parcage des troupeaux sur les parcelles pourraient permettre une amélioration de la fertilité des sols. *Comment pallier à cette contrainte d'alimentation ?* Une des solutions proposées ici est de mettre en valeur les ressources issues du parc arboré. Les informations trouvées dans la littérature (Lericollais, 1988) couplées aux observations du paysage, permettent de dire que ce sont des ressources peu abondantes et surexploitées depuis le dernier épisode de sécheresse. Il serait donc intéressant d'observer la mise en commun d'un capital paysan pour la réhabilitation et la gestion intégrée du parc forestier (arbres et buissons

fourragers). En plus du maintien des animaux sur le terroir, cette action pourrait être le déclencheur d'un autre processus essentiel : la réduction de prélèvement des bouses de vaches sèches dans les champs. Les résidus des fourrages arborés pourraient ainsi servir de combustibles ce qui favoriserait indirectement les apports liés au parcage ou à la vaine pâture. Même si ces actions seraient aussi bénéfiques pour le terroir de Diohine, il est évident que d'autres processus majeurs sont à évoquer. On citera notamment l'importance de la conservation des zones de parcours dans ces terroirs ouest-africains. Selon Dugué (1998), il est possible d'entretenir la productivité des zones de parcours « par une gestion raisonnée des formations végétales arborées et herbacées qui s'y trouvent ».

La question de la jachère est aussi centrale dans la proposition de voies d'intensification écologiques même si elle est des plus complexes car soumise à des contraintes socio-démographiques. Il est peu vraisemblable d'augmenter les surfaces en jachère sur ces terroirs saturés. Lericollais et Faye (1994) faisaient cependant la juste remarque qu'elle n'était plus un outil de gestion de l'espace agricole mais que sa présence était très souvent accidentelle (problèmes de main d'œuvre, de semences, de ravageurs, *etc.*). Les observations de terrain ont confirmé ces dires et ont de plus permis de voir que ces zones étaient seulement délaissées et très peu utilisées pour l'alimentation animale. Cela pourrait potentiellement constituer une ressource abondante à ne pas négliger.

Bien sûr, dans le cas de Barry Sine où il y a saturation foncière, il est impossible de proposer la création de zones de pâturage (parcours et jachère). Il est cependant possible d'améliorer la valorisation des transferts de fertilité des zones de parcours aux zones cultivées (Dugue, 1998).

*b. Augmentation/amélioration des ressources en matière organique et optimisation des processus de transferts de fertilité*

De manière générale, il est évident que les processus de transferts de fertilité peuvent être optimisés. Dugue (1998) propose entre autre de s'interroger sur la gestion de la vaine pâture en la transformant en parcage contrôlé enclos (moins de surface pâturée donc concentration de la fumure sur de plus petites zones). La main d'œuvre (surveillance des animaux) semble cependant être le facteur limitant principal dans le contexte local et seulement quelques ménages pourraient mettre en place cette pratique. Pour Barry Sine, relativement à la forte concentration humaine, ces solutions paraissent intéressantes.

Ce même auteur (Dugue, 1998), propose aussi de valoriser toutes les déjections animales excrétées dans l'enclos (poudrette). Dans le cas des trois villages étudiés il n'y a pas d'activités agricoles en saison sèche et de la main-d'œuvre est donc disponible. La valorisation des déjections porcines et aviaires (très peu ou pas utilisées actuellement), pourrait permettre d'augmenter la matière organique disponible.

Il semble aussi intéressant de parler de la qualité de la matière organique disponible. Dans la majorité des cas, la poudrette n'est pas traitée et est amenée directement dans les champs. Les rejets pailleux alimentaires sont faiblement valorisés et pourraient l'être à travers plusieurs techniques présentées par Landais et Lhoste (1993) comme la mise en place de parcs améliorés avec dépôt de litière sur la parcelle à parquer.

Au vu de la diversité des agro-socio-écosystèmes locaux, il paraît plus pertinent que les solutions soient proposées à l'échelle du terroir et non de la région.

Les voies d'intensification écologiques sont diverses et nombreuses et il serait nécessaire de mesurer les avantages et les inconvénients de chacune d'entre elles, si elles devaient être appliquées dans le contexte étudié.

#### 4. Limites de l'étude

##### a. *Hétérogénéité temporelle des flux étudiés*

Pour les trois villages, la période étudiée est d'environ 1 an (une saison des pluies et une saison sèche complètes). Afin de comprendre les processus qui s'organisent dans chacun des villages, il aurait été plus pertinent de travailler sur une période correspondant à la durée minimum des rotations culturales (2 ou 3 ans). En effet, le pas de temps pour les trois villages commençait au début de la saison des pluies et se terminait à la fin de la saison sèche. L'état du sol en début de pas de temps, en termes de concentration en azote, n'a pas été pris en compte.

Pour chacune des parcelles, les pratiques d'épandage de fumier faisant bénéficier la culture du pas de temps (et influençant donc les bilans azotés étudiés) ont eu lieu à la fin de la saison sèche. Afin de rester cohérent avec les deux bases de données produites les années précédentes (Audouin, 2014 ; Odru, 2013), nous avons donc du considérer pour une parcelle X cultivée en arachide l'année N, des apports faisant bénéficier la culture suivante (exemple : mil). De plus, dans la situation actuelle on s'abstient de prendre en compte les variations interannuelles. Ces variations peuvent être de natures très diverses : changement de gestion de telle ou telle unité paysagère cultivée dû à des nouvelles contraintes sociales ou foncières, changement des conditions climatiques, *etc.* De cette question en surgit une autre : considérant le contexte agraire local, est-il pertinent de comparer des terroirs villageois qui n'ont pas été étudiés la même année ? Ce questionnement prend toute son importance lorsqu'on évoque l'importante hétérogénéité interannuelle des pluies (*cf. Annexe 3*), dans cette zone où elle est le principal déterminant de la production agricole (Lericollais, 1999). Les agriculteurs adaptent leurs pratiques en fonction de ces variations, comme celles de gestion du bétail. On étudie donc par exemple pour Sob (2014), une année particulièrement mauvaise avec une période de un mois entre les deux premières pluies. Pendant cette période les animaux sont restés au niveau de l'habitat pour ne pas entraver la pousse des cultures. Cela a induit une alimentation particulière (sous-produits de transformation) car il n'y a pas eu de valorisation rapide des herbacées (parcours et parcelles). Ce phénomène n'est pas survenu en 2012, moment où les études de Diahine et de Barry Sine ont été réalisées.

##### b. *La durabilité : une notion pluridisciplinaire*

###### i. *Le bilan d'azote apparent: un facteur limité*

Lorsque l'on parle de bilan d'azote apparent, il n'y a pas de prise en compte des flux verticaux. Ceux-ci correspondent à des pertes ou des gains en azote et peuvent se matérialiser par des processus divers comme le lessivage/la volatilisation et la fixation d'azote par les légumineuses. De plus, on sait que dans les systèmes mixtes agriculture-élevage les nutriments sont recyclés et perdus à plusieurs étapes du cycle (M. C. Rufino, 2006), notamment lors du stockage des déjections animales. Au vu de la diversité des pratiques de stockage de fumier dans la région étudiée (en partie matérialisées par des temps de stockage différents avant l'apport au champ), il aurait donc été intéressant d'étudier ces processus. Ceci aurait notamment pu permettre la proposition de voies d'intensification techniques simples comme l'amélioration des techniques de compostage. Il est aussi nécessaire de noter que les facteurs de conversions « unités villageoises » - « kgMB » - « kgMS » - « kgN » peuvent être remis en cause. En parallèle de l'utilisation de références bibliographiques avérées, il pourrait être intéressant de réaliser des pesées ainsi que des analyses en laboratoire afin de réadapter ces valeurs au contexte local. Il aurait été aussi pertinent de s'intéresser à l'analyse de l'efficacité azotée (Efficacité d'utilisation azotée = Sorties d'azote/Entrées d'azote) qui aurait permis d'étudier plus en profondeur les relations entre la matière organique déposée sur la parcelle et les sorties de parcelles.

## ii. Une analyse complexe contrainte par le temps

Pour des contraintes de temps et dans le but de proposer une synthèse claire des résultats de l'étude, toutes les informations recueillies sur le terrain n'ont pas été analysées dans ce document (outre l'utilisation d'un échantillon représentatif du terroir). Certaines informations auraient pu être mises en valeur afin développer la réflexion analytique. Il aurait par exemple été intéressant de réaliser une Analyse des Correspondances Multiples afin de mettre en avant les relations entre :

- La nature de la culture (ou type de rotation culturale)
- La nature foncière de la terre cultivée (possédée ou empruntée)
- Le type de sol (*dior* ou *dekk*)
- *Etc.*

Graphiquement sur la carte de Sob (*cf. Annexe 8*), on peut par exemple noter une très forte concentration des cultures de pastèque sur la partie nord-ouest du terroir. En fait, la totalité de cette zone est possédée par le même propriétaire foncier qui la prête chaque année aux habitants du village. Ceux-ci en profitent pour cultiver de la pastèque, culture connue pour être exigeante en intrants et appauvrissante des sols. De manière générale, l'annexe 18 nous informe qu'il y a un lien certain entre la culture principale et le bilan d'azote moyen à l'hectare.

## c. Limites de la porte d'entrée « ménages »

Il convient que l'étude à l'échelle du ménage était adaptée en fonction du temps imparti pour la phase d'enquêtes. Cependant, dans le contexte local, de nombreuses décisions et pratiques se font à une échelle plus grande : celle de la concession.

En effet, on peut par exemple prendre le cas concrets des troupeaux familiaux. Deux cas ont été rencontrés :

- ces troupeaux peuvent être la propriété de plusieurs ménages de la concession. Dans ce cas-là, la gestion est commune (exemple : apport d'aliments) et est relativement bien décrite par l'entrée ménage car la contribution de chaque ménage est assez concrète.
- Ces troupeaux peuvent être la propriété du chef de concession. Dans ce cas-là, la contribution de chaque ménage est difficile à évaluer.

On observe aussi des situations complexes à comprendre lorsque l'on aborde la question de la gestion des parcelles. Certaines sont la propriété du chef de concession et sont cultivées par lui-même. D'autres, sont sa propriété et sont seulement cultivées par un ménages.

Dans ces cas, le travail de modélisation a nécessité de faire des choix. Les animaux ou les parcelles ont soit été réparties fictivement entre les ménages, soit attribuées à un seul ménage. Ces approximations nécessite donc d'être accompagnées par une description qualitative complète (étude sociale) afin que les différents cas rencontrés puissent être pris en compte dans un questionnement sur la fertilité des systèmes.

## d. Limites d'une étude à dire d'acteurs

Les limites d'une étude à dire d'acteurs sont multiples et c'est notamment le recoupement des informations recueillies auprès de différents acteurs qui est complexe et chronophage.

Dans le cas de notre étude, plusieurs recoupements ont dû être faits :

- Afin de proposer une carte exhaustive et exacte, nous avons dû dans un premier temps identifier toutes les parcelles de chaque ménage. Cette identification s'est faite en parallèle de l'observation des images satellites disponibles sur laquelle nous pouvions voir les cultures de l'hivernage dernier. Or, deux problèmes principaux se sont présentés :
- o les agriculteurs ne mentionnaient pas toujours toutes leurs parcelles utilisées

- le ménage se trompait de culture pour la parcelle en question
- Les recoupements d'informations ont aussi été faits lorsque des échanges de produits inter-ménage intra-terroir ont eu lieu. Par exemple, lorsque le ménage X affirmait qu'il avait vendu au ménage Y des animaux, ce second ménage a dû confirmer l'information.

## Conclusion

Du fait d'un accès limité aux engrais minéraux, les productions agricoles dans les savanes ouest-africaines sont fortement conditionnées par la gestion de la fumure organique d'origine animale. Notre étude a permis de caractériser et de comparer trois terroirs villageois dans le vieux bassin arachidier au Sénégal (Barry Sine, Diohine et Sob) en termes de stocks/flux de biomasse et d'azote. Ces trois agro-écosystèmes sont caractérisés par des pratiques et des stratégies d'adaptation différentes face aux mêmes contraintes (notamment démographiques, climatiques et économiques) : Barry Sine avec la pratique abondante de l'embouche bovine, Diohine avec le maintien de la jachère collective et Sob avec la culture de la pastèque.

L'hypothèse de départ était que l'on retrouverait le système d'auréoles concentriques de fertilité et d'intensification agricole prépondérant dans les systèmes traditionnels. L'analyse des flux de biomasse et d'azote et de matière sèche confirme une forte hétérogénéité spatiale des bilans azotés cependant ces derniers ne semblent pas organisés selon la « distance à l'habitat ». Autrement dit, ce facteur n'est pas le déterminant principal des pratiques de fertilisation et donc du bilan azoté. De manière générale, on observe des bilans d'azote moyens négatifs pour les trois villages et pour les trois unités paysagères cultivées (champs de case, champs de brousse proches et champs de brousse éloignés), allant de -8,6 à -31,8 kgN/ha en moyenne. Les sorties d'azote de la parcelle (récoltes, prélèvements de vaine pâture, *etc.*) sont donc supérieures aux entrées d'azote (fumiers, déjections animales déposées directement, engrais minéraux, *etc.*). Autrement dit il y aurait régression de la fertilité des sols dans les trois terroirs.

Cette étude montre également que l'analyse spatiale des flux biomasse et d'azote permet d'identifier les processus écologiques principaux régulant les transferts de fertilité à l'échelle du paysage. Pour les trois systèmes, les transferts orchestrés par les animaux (alimentation et excréments) représentent le plus important flux en termes de matière sèche. En fonction de la structure spatiale du paysage et l'importance respective des différentes unités paysagères du terroir, les produits destinés à l'alimentation animale ont des origines différentes. Pour Barry Sine ils sont principalement issus des champs de case, pour Sob des champs de brousse et pour Diohine des zones de parcours. On note cependant que pour deux des trois terroirs, l'espace pour accueillir les animaux (en saison des pluies) et les ressources pour les alimenter (en saison sèche) sont limités et induisent le départ de troupeaux en transhumance (ce qui par conséquent réduit le potentiel de transfert de fertilité). Afin de pallier à cette pratique et dans le but d'accroître le disponible en matière organique sur le terroir, il a notamment été proposé d'accroître les ressources du parc arboré. Ceci permettrait aux paysans de disposer à la fois de conserver d'avantage les coproduits fourragers issus des parcelles (pour les ruminants en période de soudure) et d'avantage de combustibles pour la cuisine au sein des foyers. Face à une croissance démographique spectaculaire combinée à un changement climatique incertain, les systèmes actuels risquent d'être encore bouleversés. Un travail d'exploration des trajectoires futures pour les trois terroirs étudiés est en cours. Il met en évidence des capacités variables des communautés villageoises à se coordonner et à mettre en place des solutions collectives destinées au maintien de la fertilité des sols. Le niveau de coordination est élevé dans un terroir comme Diohine (proche du système traditionnel) et il est faible dans des villages comme Barry Sine et Sob (activités spéculatives dominantes). L'individualisme prendrait-il de l'importance dans un environnement de plus en plus contraignant ?

## Bibliographie

**ANR - Agence Nationale de la Recherche.** 2012. « Project CERAO (Self-adaptation of tropical agro-socio-ecosystems to global changes?) ». Disponible sur : <http://www.agence-nationale-recherche.fr/?Project=ANR-13-AGRO-0002> . Consulté le 21 octobre 2015

**Aubert,** Georges. 1951. « Les sols et l'aménagement agricole de l'Afrique Occidentale Française. ». Centre IRD de Bondy. 4p.

**Audouin,** Elise. 2014. « Terroirs Comparison in Terms of Biomass Flows and Nitrogen Balance : Study Case of Diohine and Barry Sine in the Former Groundnut Basin. ». 92 p.

**Banque Mondiale.** 2014. « Population, total | Données. ». [En ligne]. [consulté le 9 octobre 2015]. URL : <http://donnees.banquemondiale.org/>.

**Bekunda,** Mateete A., André **Bationo** et Henry **Ssali**. 1997. « Soil Fertility Management in Africa: A Review of Selected Research Trials. » *Replenishing Soil Fertility in Africa*. p. 63-79.

**Bellon,** S, N **Girard** et G **Guérin**. 1999. « Caractériser les saisons-pratiques pour comprendre l'organisation d'une campagne de pâturage. » *Fourrages* (158): 155-132 p.

**Burel,** Françoise et Jacques **Baudry**. 2001. « Écologie du paysage. Concepts, méthodes et applications. » *Annales de Géographie* 110 (618). 359 p.

**Charreau,** Claude et Roger **Fauck**. 1967. « Les sols du Sénégal. » *Etudes Sénégalaises* (9). p. 115-154. Centre IRD de Bondy.

**Dictionnaire des Sciences Animales.** 2014. « Définition "lot d'animaux." ». [en ligne]. Consulté le 12 octobre 2015. URL : <http://dico-sciences-animales.cirad.fr/liste-mots.php?fiche=16263&def=lot+d%27animaux>.

**Dictionnaire des Sciences Animales.** 2014. « Définition "UBT." » Consulté le 12 octobre 2015. URL : <http://dico-sciences-animales.cirad.fr/liste-mots.php?fiche=28301&def=UBT.>>

**Dugué,** Patrick ; Jonathan **Vayssieres** ; Eduardo **Chia** ; Souleymane **Ouedraogo** ; Michel **Havard** ; Doubangolo **Coulibaly** ; Hassan B. **Nacro** ; Sissoko **Fagaye** ; Mamoudou **Sangare** et Eric **Vall**. 2011. « L'intensification écologique : réflexions pour la mise en pratique de ce concept dans les zones de savane d'Afrique de l'Ouest. » In *Partenariat, modélisation, expérimentations : quelles leçons pour la conception de l'innovation et l'intensification écologique ?*, sous la dir. de Nacro H B., Andrieu N., Chia E. Vall E., 15 p. Colloques. Bobo-Dioulasso, Burkina Faso: Cirad. Disponible sur <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00718387>

**Dugy,** T. 2015 « Diagnostic des flux de biomasse à l'échelle de terroirs agro-sylvopastoraux et représentation de leur état & fonctionnement– Étude comparative des terroirs de Sob, Diohine et Barry Sine dans l'Ancien Bassin Arachidier au Sénégal. ». 46 p.

**Duteurtre,** Guillaume et Bernard **Faye**. 2009. *L'élevage, richesse des pauvres : Stratégies d'éleveurs et organisations sociales face aux risques dans les pays du Sud*. Versailles: Ed. Quae. 284 p.

**Ferraton**, Nicolas et Isabelle **Touzard**. « Comprendre l'agriculture familiale. Diagnostic des systèmes de production. ». 123 p.

**Gastellu**, Jean-Marc. 1978. « Mais où sont donc ces unités économiques que nos amis cherchent tant en Afrique ? » Note de Travail.Série Enquêtes et Outils Statistiques - AMIRA. Paris: AMIRA. Centre IRD de Bondy. [en ligne]. URL : <http://www.documentation.ird.fr/hor/fdi:21938>. Consulté le 12 octobre 2015.

**Godelier**, Maurice. 1964. « Gilles Sautter, «A propos de quelques terroirs d'Afrique Occidentale, essai comparatif», ~Études Rurales~, n° 4, 1962. » *Annales. Économies, Sociétés, Civilisations* 19 (3): p. 621-624.

**IRD**. 2015 « Symposium Scientifique des 50 ans d'existence de Niakhar. ». [en ligne]. URL : <http://niakhar50.sciencesconf.org/> . Consulté le 12 octobre 2015

**Jones**, M. J. 1973. « The Organic Matter Content of the Savanna Soils of West Africa. » *Journal of Soil Science* 24 (1). p. 42-53

**Kowal J.**, **Kassam H.** 1978. *Agricultural Ecology of Savanna: a Study of West Africa*.

**Lalou**, Richard. 2012. « Parcelle de Sob - champs lignagers et propriété des parcelles. » Dakar

**Lalou**, Richard et Valérie **Delaunay**. 2012. « Rapport d'analyse -culture de la pastèque, du sanio et pratique de l'embouche bovine. » Dakar: Laboratoire Population, Environnement, Développement. 16 p.

**Landais**, E. et Philippe **Lhoste**. 1990. « L'association agriculture-élevage en Afrique intertropicale : un mythe techniciste confronté aux réalités du terrain. » Sous la dir. de Edmond Bernus et F. Pouillon. *Cahiers des Sciences Humaines* 26 (1-2): p. 217-235. Centre IRD de Bondy.

**Landais**, E. et Philippe **Lhoste**. 1993. « Systèmes d'élevage et transferts de fertilité dans la zone des savanes africaines : 2. Les systèmes de gestion de la fumure animale et leur insertion dans les relations entre l'élevage et l'agriculture. » *Agricultures : Cahiers d'Etudes et de Recherches Francophones* 2 (1): p. 9-25. Centre IRD de Bondy.

**Landais**, E., Philippe **Lhoste** et H. **Guerin**. 1991. « Systèmes d'élevage et transferts de fertilité. » In *Savanes d'Afrique terres fertiles ? Comment produire plus et de façon durable en zone de savanes au Sud du sahara*, sous la dir. de Savanes d'Afrique Terres Fertiles ? Comment Produire plus et de Façon Durable en Zone de Savanes au Sud du Sahara : Rencontres Internationales, Montpellier (FRA), 1990/12/10-14, p. 219-270. Paris: Ministère de la Coopération et du Développement. [en ligne]. URL : <http://www.documentation.ird.fr/hor/fdi:36525>. Consulté le 3 octobre 2015.

**Lericollais**, André. 1972. « Sob : étude géographique d'un terroir Sérèr (Sénégal). » Paris: Mouton. Centre IRD de Bondy. [en ligne]. URL : <http://www.documentation.ird.fr/hor/fdi:05880> . Consulté le 24 juin 2015.



**Lericollais**, André. 1988a. « La mort des arbres à Sob, en pays sereer (Sénégal). ». Centre IRD de Bondy. [en ligne]. URL : <http://www.documentation.ird.fr/hor/fdi:010016386> . Consulté le 25 mars 2015.

**Lericollais**, André. 1992. « Gestion de l'environnement rural en pays sereer. » In *Actes du colloque : l'environnement dans l'enseignement des sciences humaines et sociales*, sous la dir. de P. Ndiaye, p. 149-163. Dakar: UCAD. [en ligne]. URL : <http://www.documentation.ird.fr/hor/fdi:010019021> . Consulté le 25 mars 2015

**Lericollais**, André. 1999. *PAYSANS SEREER. Dynamiques agraires et mobilité au Sénégal*. Paris: IRD Orstom.

**Lericollais**, André et A. **Faye**. 1994. « Des troupeaux sans pâturages en pays sereer au Sénégal. » In *Dynamique des systèmes agraires : à la croisée des parcours : pasteurs, éleveurs, cultivateurs*, sous la dir. de Chantal Blanc-Pamard, Jean Boutrais, et Dynamique des Systèmes Agraires : A la Croisée des Parcours, Paris (FRA), 1994, p. 165-196. Colloques et Séminaires. Paris: ORSTOM. [en ligne]. URL : <http://www.documentation.ird.fr/hor/fdi:40838> . Consulté le 12 avril 2015.

**Lericollais**, André, Pierre **Milleville** et Guy **Pontié**. 1998. « Terrains anciens, approches renouvelées : analyse du changement dans les systèmes de production séréres au Sénégal. » In *Observatoires du développement, observatoires pour le développement*, sous la dir. de Rémi Clignet et Observatoires du Développement, Observatoires pour le Développement : Séminaire, Paris (FRA), 1994/09, p. 33-46. Colloques et Séminaires. Paris: ORSTOM. [en ligne]. URL : <http://www.documentation.ird.fr/hor/fdi:010014356> . Consulté le 27 mars 2015.

**Lericollais**, André, C. **Ramond**, Claude **Charreau**, Georges **Fotius** et J. **Diatte**. 1970. « Sob, en pays Serer : observations agricoles 1965-1966-1967-1968-1969. » Dakar: ORSTOM. Centre IRD de Bondy. [en ligne]. URL : <http://www.documentation.ird.fr/hor/fdi:14105> . Consulté le 25 avril 2015.

**Lizet**, Bernadette et François de Ravignan. 1987. *Comprendre un paysage: guide pratique de recherche*. : Editions Quae.

**Manlay**, Raphaël. 2000. « Dynamique de la matière organique à l'échelle d'un terroir agropastoral de savane ouest-africaine (sud-Sénégal). » Phdthesis, ENGREF (AgroParisTech).

**Manlay**, Raphaël J. et Alexandre **Ickowicz**. 2004. « Spatial carbon, nitrogen and phosphorus budget in a village of the West African savanna—II. Element flows and functioning of a mixed-farming system. » *Agricultural Systems* 79 (1): p. 83-107.

**Manlay**, Raphaël J., Alexandre **Ickowicz**, Dominique **Masse**, Christian **Floret**, Didier **Richard** et Christian **Feller**. 2004. « Spatial Carbon, Nitrogen and Phosphorus Budget of a Village in the West African savanna—I. Element Pools and Structure of a Mixed-Farming System. » *Agricultural Systems* 79 (1): p. 55-81.

**Mazoyer**, Marcel et Laurence **Roudart**. 2002. *Histoire des agricultures du monde : Du néolithique à la crise contemporaine*. Paris: Seuil.

**Milleville**, Pierre. 2007. *Une agronomie à l'oeuvre: Pratiques paysannes dans les campagnes du Sud*. : Editions Quae.

**Odrú**, Mariana. 2013. « Flux de biomasse et renouvellement de la fertilité des sols à l'échelle du terroir. Etude de cas d'un terroir villageois sereer au Sénégal. » Cergy, France: ISTOM, CIRAD - UMR SELMET.

**Pelissier**, P. 1966. *Les paysans du Senegal, les civilisations agraires du Cayor a la Casamance*. : Ministère de l'Education Nationale - Centre National de la Recherche Scientifique.

**Prudencio**, Coffi Y. 1993. « Ring management of soils and crops in the west African semi-arid tropics: The case of the mossi farming system in Burkina Faso. » *Agriculture, Ecosystems & Environment* 47 (3): 237-264. doi:10.1016/0167-8809(93)90125-9.

**QGIS Development Team**. 2015. *QGIS Geographic Information System* [logiciel]. Open Source Geospatial Foundation.

**R Development Core Team**. 2008. *R*. [logiciel]. URL : <<http://www.R-project.org>.>

**Rufino**, Rowe Mariana C. et C. **Edwin**. 2006. « Nitrogen cycling efficiencies through resource-poor African crop-animal systems. » *Agriculture, Ecosystems and Environment* 112 (2006) 4 112 (4).

**Ruthenberg**, Hans et J. D. **MacArthur**. 1980. *Farming Systems in the Tropics* : Clarendon Press.

**Le Thiec**, Gérard. 1996. *Agriculture africaine et traction animale*. Editions Quae.

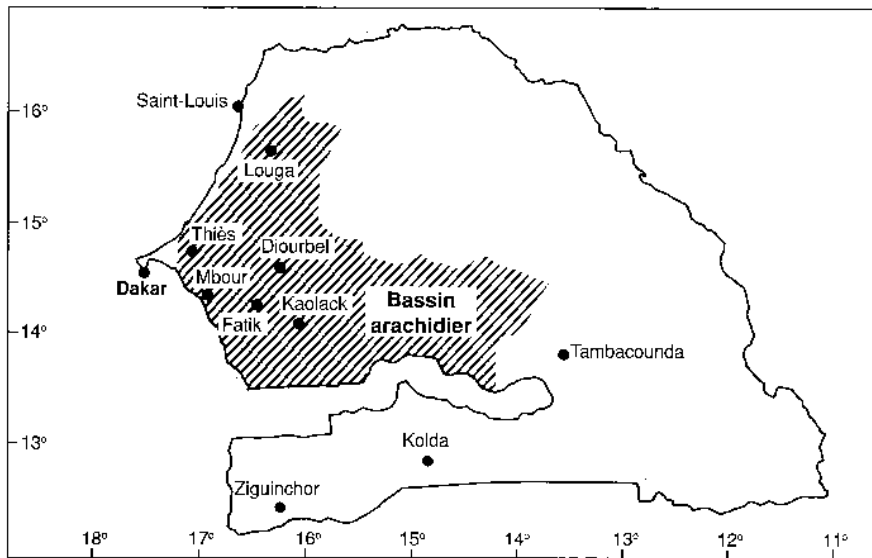
**Vayssières**, Jonathan et Mariana Cristina **Rufino**. 2012a. « Managing Nutrient Cycles in Crop and Livestock Systems with Green Technologies. » In *Green Technologies in Food Production and Processing*, sous la dir. de Joyce I. Boye et Yves Arcand, p. 151-182. Food Engineering Series.

**Vayssières**, Jonathan et Mariana Cristina **Rufino**. 2012b. « Managing Nutrient Cycles in Crop and Livestock Systems with Green Technologies. » In *Green Technologies in Food Production and Processing*, sous la dir. de Joyce I. Boye et Yves Arcand, p. 151-182. Food Engineering Series.

## Table des annexes

<i>Annexe 1: Carte du bassin arachidier sénégalais.</i>	52
<i>Annexe 2 : Carte : translation des isohyètes</i>	52
<i>Annexe 3 : Quantité de pluie annuelle (mm) et nombre de jours de pluie dans la région de Fatick</i>	53
<i>Annexe 4 : Exemple de conversions "unités locales" à "kgMB"</i>	53
<i>ANNEXE 5 : EXEMPLES DE CONVERSIONS KGMB EN KGMS ET KGN</i>	54
<i>Annexe 6: Conversion population en « unités de travail humain »</i>	55
<i>Annexe 7 : Tableau des conversions en Unité de Bétail Tropical (UBT)</i>	55
<i>Annexe 8 : Occupation du sol (cultures principales), Sob, 2014</i>	56
<i>Annexe 9 : Graphique de comparaison d'indicateurs généraux entre les trois terroirs</i>	57
<i>Annexe 10 : Bilan d'azote en fonction de la distance à l'habitat de l'utilisateur</i>	58
<i>Annexe 11 : Bilan d'azote en fonction de la distance à l'habitat (1000 premiers mètres)</i>	58
<i>Annexe 12 : Courbe de tendances : bilan d'azote en fonction de la distance à l'habitat</i>	59
<i>Annexe 13 : Graphique : indicateurs - Champs de case</i>	59
<i>Annexe 14 : Graphique : indicateurs - champs de brousse proches</i>	60
<i>Annexe 15 : Graphique : indicateurs - champs de brousse éloignés</i>	60
<i>Annexe 16 : Tableau de description des flux</i>	61
<i>Annexe 17 : Flux de biomasse inter-unités paysagères (en % des flux totaux de matière sèche)</i>	62
<i>Annexe 18 : Graphique des moyennes des bilans d'azote (kgN/ha) en fonction de la culture principale à Sob</i>	63

## Annexes



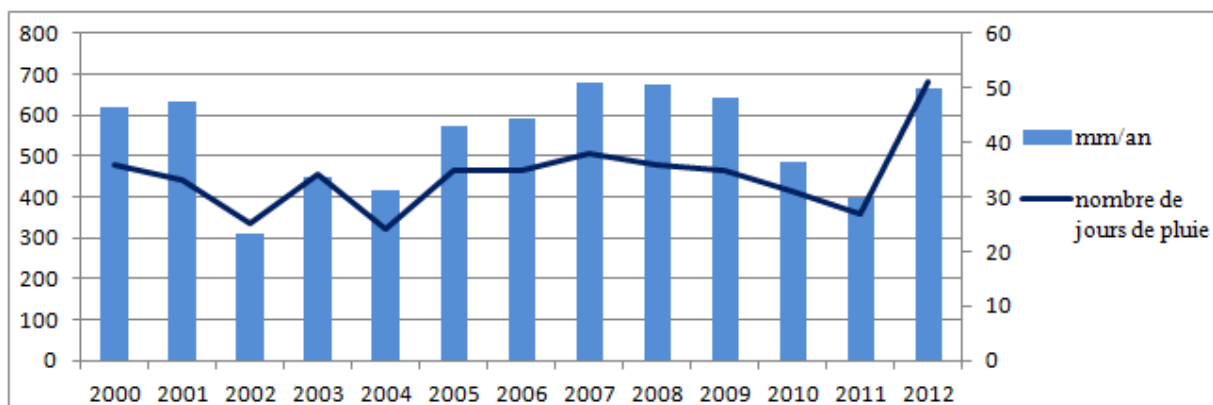
Annexe 1: Carte du bassin arachidier sénégalais.

Source : FAO



Annexe 2 : Carte : translation des isohyètes

Source : IRD



Annexe 3 : Quantité de pluie annuelle (mm) et nombre de jours de pluie dans la région de Fatick

Source : station météorologique de Fatick, tiré de Odru (2013)

<i>Semences</i>	<i>Unité</i>	<i>Valeur</i>
<i>masse poignée arachide</i>	kgMB	0,2
<i>masse poignée niébé</i>	kgMB	0,2
<i>masse semoir sorgho</i>	kgMB	2
<i>masse 1L semences bissap</i>	kgMB	0,85
<i>masse sorgho/semoir</i>	kgMB	7
<i>masse poignée bissap</i>	kgMB	0,07
<i>masse semence niébé bidon 20L</i>	kgMB	20
<i>masse bassin semence bissap</i>	kgMB	6

Annexe 4 : Exemple de conversions "unités locales" à "kgMB"

## ANNEXE 5 : EXEMPLES DE CONVERSIONS KGMB EN KGMS ET KGN

		<i>Semences</i>		
		Maïs	Mil	Sorgho
<i>kgMS/kgMB</i>		0,912	0,925	0,91
<i>Reference</i>		Le Thiec, 1996	(Le Thiec, 1996)	(Le Thiec, 1996)
<i>kgN/kgMS</i>		0,01664	0,0192	0,01728
<i>Reference</i>		(Le Thiec, 1996)	(Le Thiec, 1996)	(Le Thiec, 1996)
		<i>Coproduit</i>		
		Fanes- Arachide	Paille_Mil	Paille_Sorgho
<i>kgMS/kgMB</i>		0,896	0,881	0,896
<i>Reference</i>		(Le Thiec, 1996)	(Le Thiec, 1996)	(Le Thiec, 1996)
<i>kgN/kgMS</i>		0,017	0,0027	0,00544
<i>Reference</i>		(Manlay, 2001)	(Manlay, 2001)	(Le Thiec, 1996)
<i>Superficie VP</i>		0	34,6210858	8,08185842
<i>%</i>		0	0,33	0,33
<i>consommation/Vaine</i>				
<i>pâture</i>				

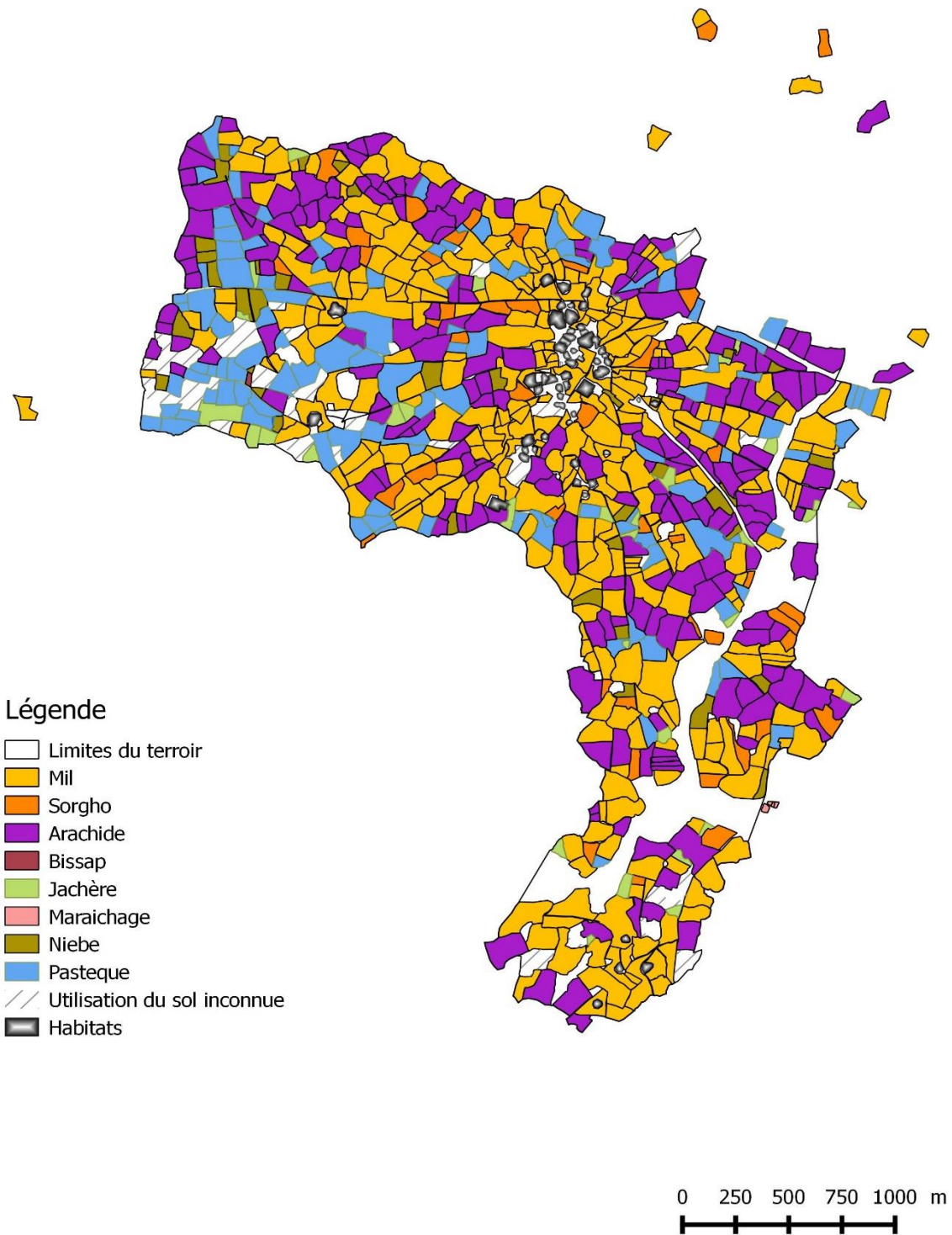
	<i>UTH</i>	<i>Source</i>
<i>1 homme &gt; 60</i>	0,2	FIA-SLE, 1990
<i>1 femme &gt; 60</i>	0	FIA-SLE, 1990
<i>1 homme 15-59</i>	1	<i>Isra</i>
<i>1 femme 15-59</i>	0,5	<i>Isra</i>
<i>1 fille 8-14</i>	0,2	<i>Isra</i>
<i>1 garçon 8-14</i>	0,5	<i>Isra</i>
<i>1 fille &lt; 8</i>	0	FIA-SLE, 1990
<i>1 garçon &lt; 8</i>	0	FIA-SLE, 1990

*Annexe 6: Conversion population en « unités de travail humain »*

	<i>Unité</i>	<i>Valeur</i>	<i>Source</i>
<i>masse UBT</i>	kgMB	250	CIRAD
<i>bovin adulte (vache laitière, femelle + 3 ans, mâle + 2 ans )</i>	UBT	1	CIRAD
<i>vache non allaitante</i>	UBT	0,8	CIRAD
<i>génisse de 2 à 3 ans</i>	UBT	0,6	CIRAD
<i>génisse de 1 à 2 ans</i>	UBT	0,5	CIRAD
<i>veau ou une velle (&lt;1 an)</i>	UBT	0,4	CIRAD
<i>mouton ou chèvre jeune</i>	UBT	0,1	CIRAD
<i>mouton ou chèvre adulte</i>	UBT	0,2	CIRAD
<i>équidé adulte</i>	UBT	1,1	CIRAD
<i>âne adulte</i>	UBT	0,3	CIRAD
<i>poule</i>	UBT	0,007	FAO 2012

*Annexe 7 : Tableau des conversions en Unité de Bétail Tropical (UBT)*

## Occupation de sol, hivernage 2014, Sob

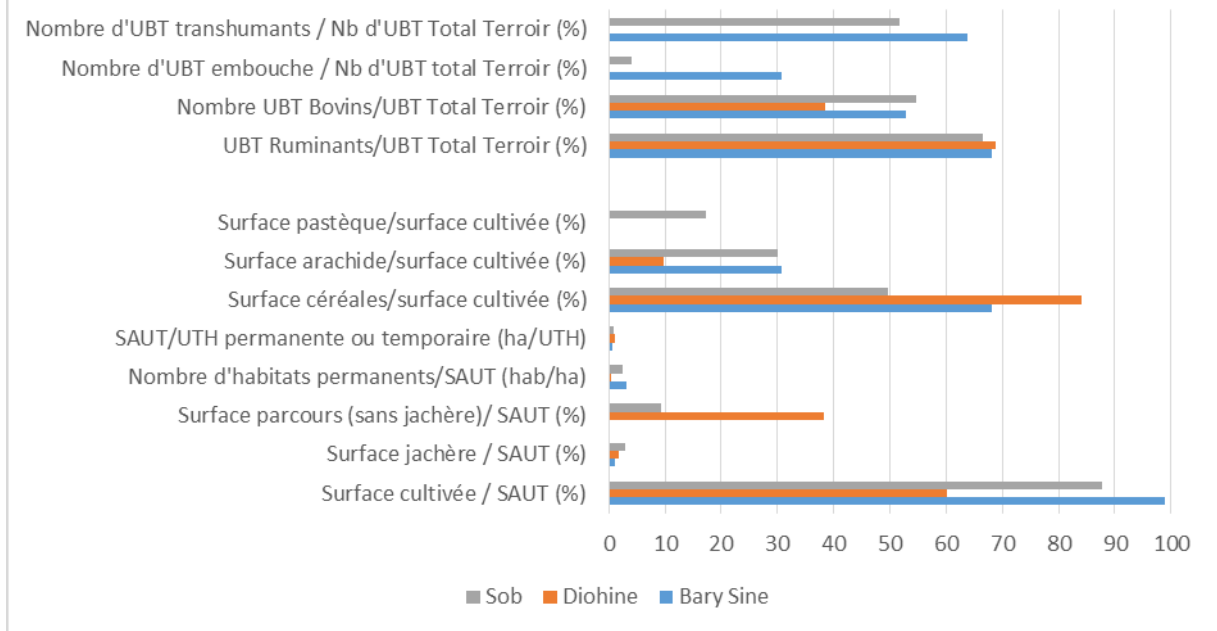


Annexe 8 : Occupation du sol (cultures principales), Sob, 2014

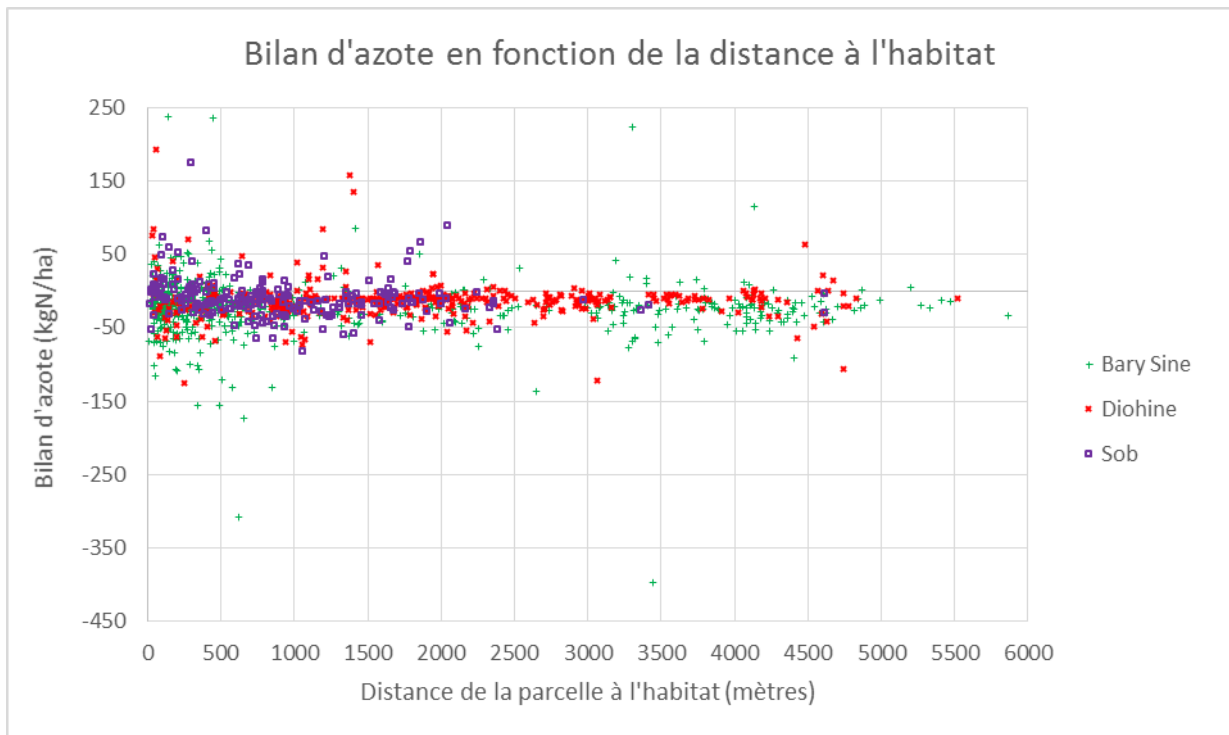
Source : Saunier-Zoltobroda, 2015



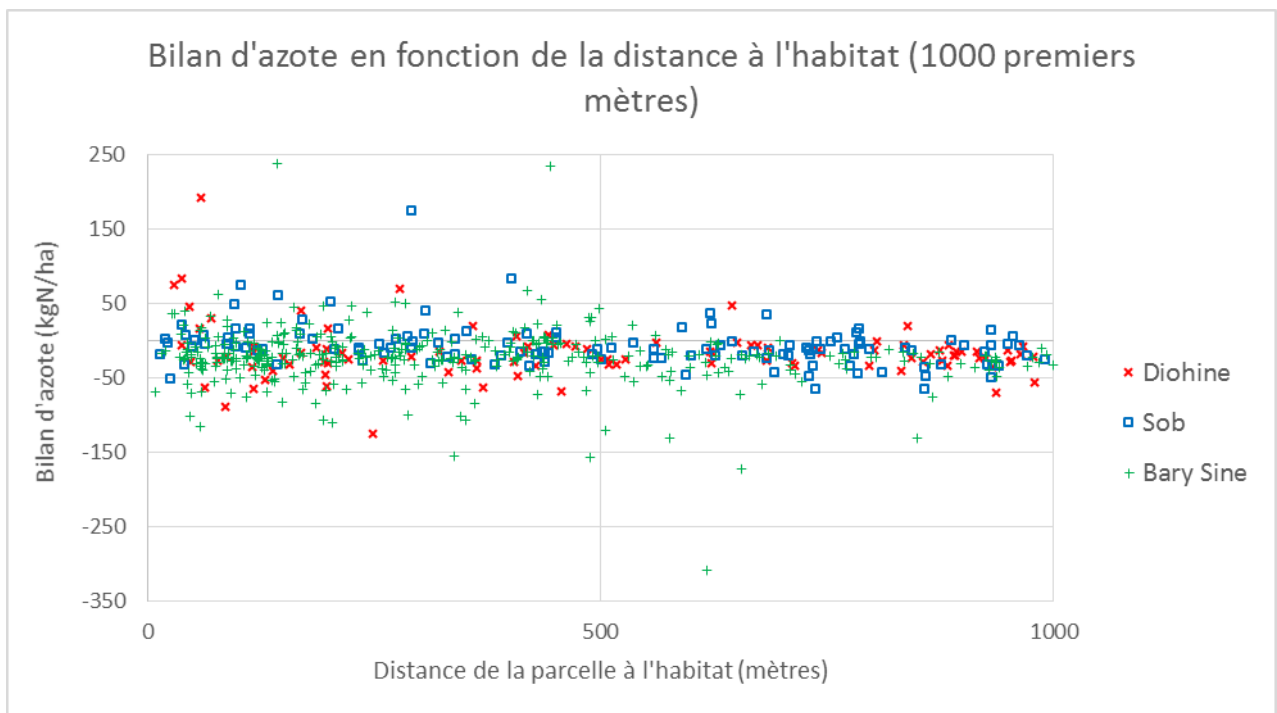
## Indicateurs clés de comparaison des trois terroirs de Barry Sine, Dioghine et Sob



Annexe 9 : Graphique de comparaison d'indicateurs généraux entre les trois terroirs

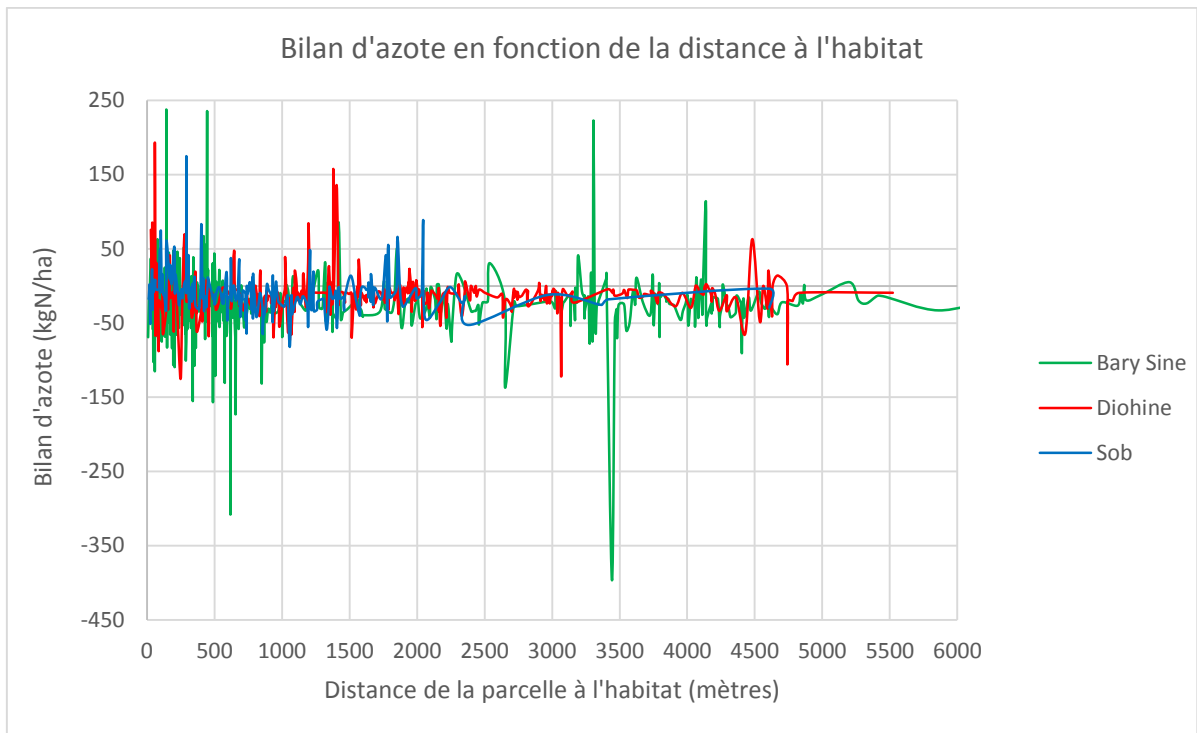


Annexe 10 : Bilan d'azote en fonction de la distance à l'habitat de l'utilisateur<sup>2</sup>

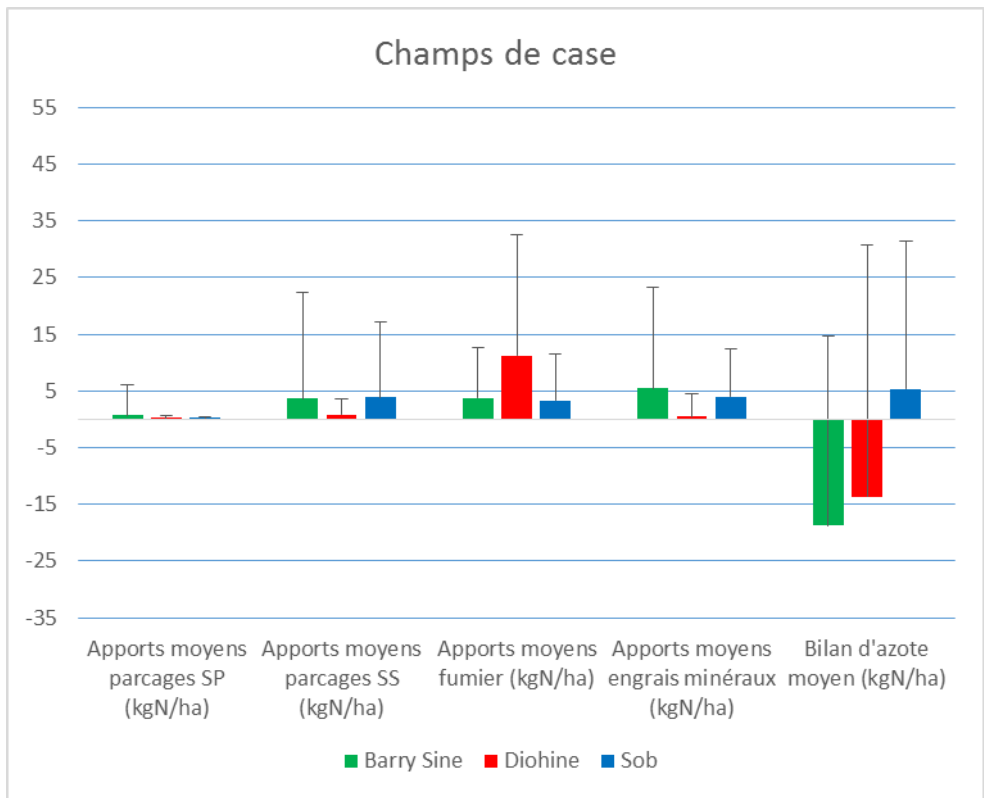


Annexe 11 : Bilan d'azote en fonction de la distance à l'habitat (1000 premiers mètres)

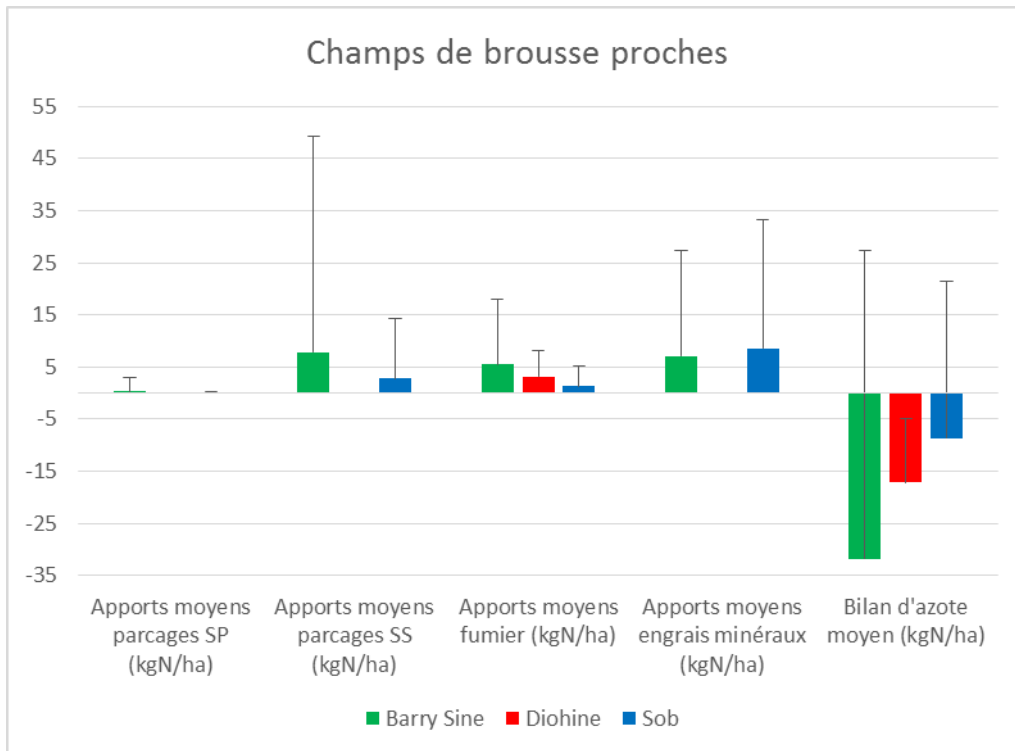
<sup>2</sup> L'habitat considéré est celui de l'utilisateur de la parcelle en question



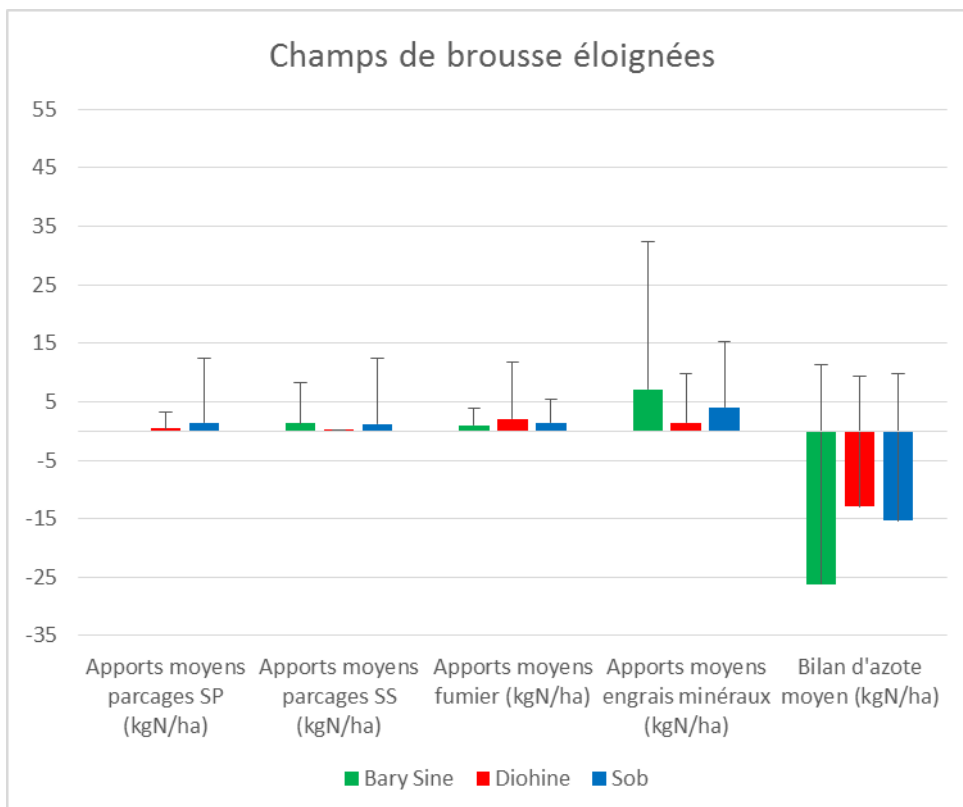
Annexe 12 : Courbe de tendances : bilan d'azote en fonction de la distance à l'habitat



Annexe 13 : Graphique : indicateurs - Champs de case



Annexe 14 : Graphique : indicateurs - champs de brousse proches



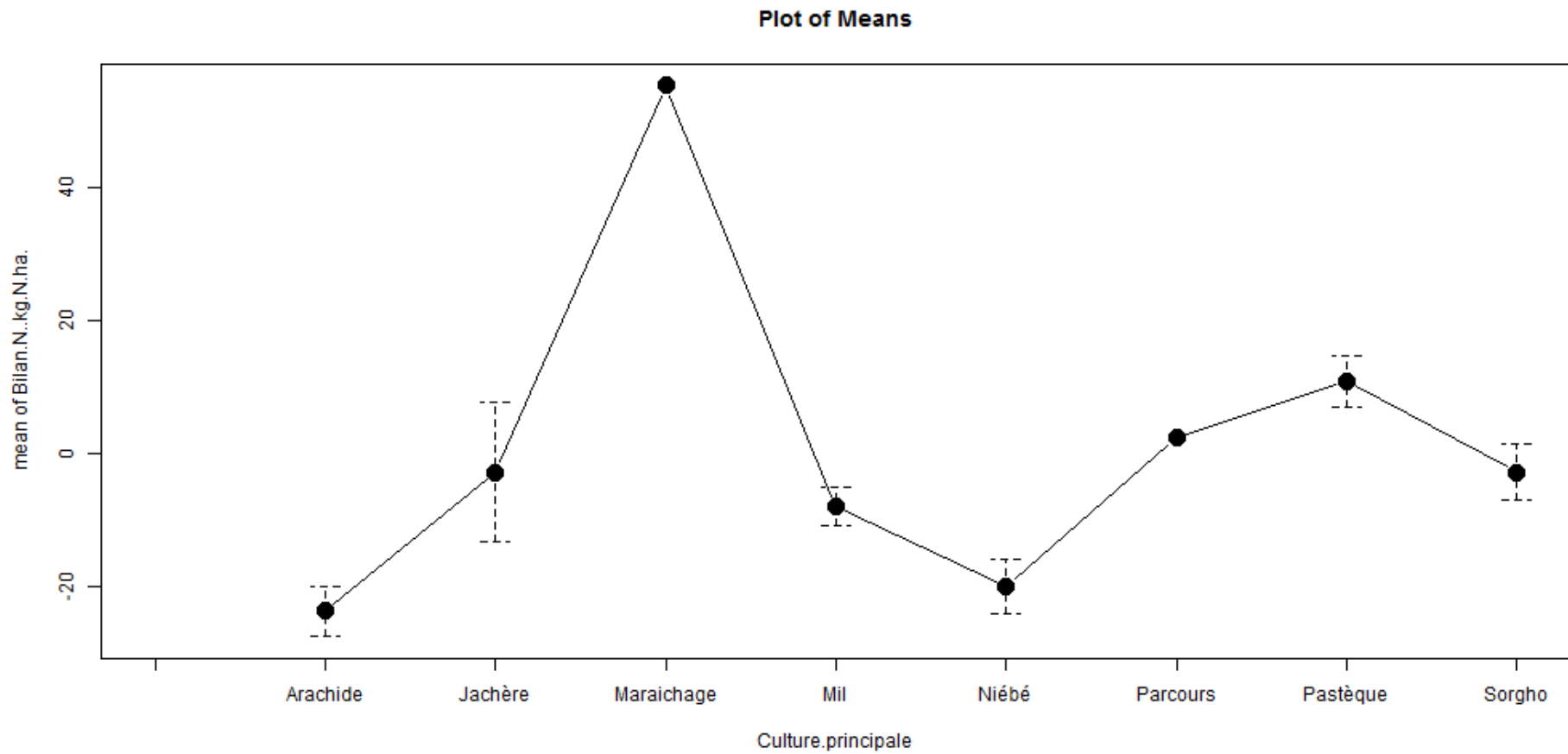
Annexe 15 : Graphique : indicateurs - champs de brousse éloignés

<b>N° flux</b>	<b>Description</b>	<b>Unité d'origine</b>	<b>Unité de destination</b>
1	Semences issues du terroir Matières organiques et minérales (déchets balayage, cendres, résidus alimentaires, sous-produits de transformation)	Habitat	Champs de case
2	Semences issues du terroir Matières organiques et minérales (déchets balayage, cendres, résidus alimentaires, sous-produits de transformation)	Habitat	Champs de brousse
3	Alimentation animale issue des récoltes de l'année N-1	Habitat	Animaux
4	Autoconsommation récoltes de l'année N, autoconsommation de produits issus du parc arboré, prélèvement de matière organique (bouses de vaches sèches)	Champs de case	Habitat
5	Autoconsommation récoltes de l'année N, autoconsommation de produits issus du parc arboré, prélèvement de matière organique (bouses de vaches sèches)	Champs de brousse	Habitat
6	Alimentation animale issue des récoltes (aliments concentrés et fourrages), alimentation animale issue du parc arboré, prélèvement relatif à la vaine pâture, prélèvement manuel d'herbe (sèche et fraîche)	Champs de case	Animaux
7	Alimentation animale issue des récoltes (aliments concentrés et fourrages), alimentation animale issue du parc arboré, prélèvement relatif à la vaine pâture, prélèvement manuel d'herbe (sèche et fraîche)	Champs de brousse	Animaux
8	Ventes/dons de produits et coproduits issus des récoltes, ventes de produits issus du parc arboré	Champs de case	Extérieur du terroir
9	Ventes/dons de produits et coproduits issus des récoltes, ventes de produits issus du parc arboré	Champs de brousse	Extérieur du terroir
10	Autoconsommation de produits animaux (viande, lait)	Animaux	Habitat
11	Fumier déposé indirectement, déjections et urines liées au parcage, déjections et urines liées à la vaine pâture	Animaux	Champs de case
12	Fumier déposé indirectement, déjections et urines liées au parcage, déjections et urines liées à la vaine pâture	Animaux	Champs de brousse
13	Déjections et urines animales	Animaux	Parcours
14	Ventes / dons de produits animaux (viande, lait) ; vente d'animaux	Animaux	Extérieur du terroir
15	Alimentation animale pendant pâturage (prélèvement d'herbe)	Parcours	Animaux
16	Alimentation humaine ; consommation de produit du parc arboré	Extérieur du terroir	Habitat
17	Achat engrais minéraux; matières organiques et semences	Extérieur du terroir	Champs de case
18	Achat engrais minéraux; matières organiques et semences	Extérieur du terroir	Champs de brousse
19	Alimentation animale (aliments concentrés et fourrages) ; achat animaux	Extérieur du terroir	Animaux

Annexe 16 : Tableau de description des flux

N°FLUX	ORIGINE	DESTINATION	RESUMÉ	BARRY SINE	DIOHINE	SOB
FLUX 1	Habitat	Champs case	Semences et déchets ménagers	11,57	4,27	4,32
FLUX 2	Habitat	Champs brousse	Semences et déchets ménagers	0,19	1,61	0,60
FLUX 3	Habitat	Animaux	Alimentation animale : coproduits de l'année N-1	3,42	5,00	22,94
FLUX 4	Champs case	Habitat	Récoltes : alimentation humaine	4,53	5,05	2,50
FLUX 5	Champs brousse	Habitat	Récoltes : alimentation humaine	4,72	15,37	9,14
FLUX 6	Champs case	Animaux	Alimentation animale : coproduits de l'année N	21,58	3,05	5,64
FLUX 7	Champs brousse	Animaux	Alimentation animale : coproduits de l'année N	17,78	11,75	22,50
FLUX 8	Champs case	Extérieur	Ventes produits et coproduits	0,77	0,05	0,12
FLUX 9	Champs brousse	Extérieur	Ventes produits et coproduits	0,20	0,26	0,71
FLUX 10	Animaux	Habitat	Consommation de produits animaux	2,47	2,47	0,42
FLUX 11	Animaux	Champs case	Déjections et urines	7,38	2,84	4,48
FLUX 12	Animaux	Champs brousse	Déjections et urines	5,70	5,70	5,82
FLUX 13	Animaux	Parcours	Déjections et urines	0,00	2,73	2,68
FLUX 14	Animaux	Extérieur	Ventes animaux	0,98	0,70	3,01
FLUX 15	Parcours	Animaux	Alimentation animale : herbe	0,00	35,41	6,07
FLUX 16	Extérieur	Habitat	Alimentation humaine	3,65	5,36	3,33
FLUX 17	Extérieur	Champs case	Achats semences, matière organique ou minérale	0,20	0,02	0,07
FLUX 18	Extérieur	Champs brousse	Achats semences, matière organique ou minérale	0,26	0,15	0,33
FLUX 19	Extérieur	Animaux	Alimentation animale, achats d'animaux	14,59	3,43	5,33

Annexe 17 : Flux de biomasse inter-unités paysagères (en % des flux totaux de matière sèche)



Annexe 18 : Graphique des moyennes des bilans d'azote (kgN/ha) en fonction de la culture principale à Sob