

Réintroduire l'élevage pour accroître la durabilité des terroirs villageois d'Afrique de l'Ouest

Le cas du bassin arachidier au Sénégal

Élise AUDOUIN, Jonathan VAYSSIÈRES,
Mariana ODRU, Dominique MASSE, Séraphin DORÉGO,
Valérie DELAUNAY, Philippe LECOMTE

Introduction

En Afrique de l'Ouest, les enjeux clés restent l'amélioration des conditions de vie et de la sécurité alimentaire des habitants (LAHMAR *et al.*, 2012). Dans un contexte où la population rurale domine, la durabilité des systèmes agricoles est un objectif prioritaire. Traditionnellement, les systèmes agro-sylvo-pastoraux intégrés dominent en Afrique de l'Ouest (DUGUÉ *et al.*, 2012 ; JOUVE, 2001). Ils se basent sur la complémentarité entre troupeaux de ruminants, cultures céréalières et parc arboré (JOUVE, 2001). La durabilité de ces systèmes dépend en grande partie des transferts de fertilité du *saltus* vers l'*ager* via la pratique du parcage nocturne des animaux (FRESCHET *et al.*, 2008 ; JOUVE, 2001). Ces systèmes agraires ont dû s'adapter entre autres à des régimes pluviométriques changeants et à une forte croissance démographique. En effet, l'Afrique de l'Ouest a connu une période de sécheresse prolongée sur la période 1970-1995 (CORMIER *et al.*, 2000) et sa population a doublé durant cette même période (DONGMO *et al.*, 2010 ; FAO, 2003 ; SERPANTIÉ et OUATTARA, 2001). En réaction, pour répondre à des besoins vivriers croissants, les populations rurales ont mis en culture les terres marginales (COURTIN et GUENGANT, 2011 ; FAYE et LANDAIS, 1986 ; SCHLECHT *et al.*, 2004). Ces surfaces étaient traditionnellement allouées au parcours du bétail. L'extension des terres cultivées s'est donc traduite par une réduction de la ressource fourragère herbacée et a accentué la pression sur le parc arboré, durant les années sèches en particulier. Le parc arboré a particulièrement été sollicité pendant la période de sécheresse de 1970-1995, où il a fini par régresser par surexploitation (COURTIN et GUENGANT, 2011 ; FAO, 2003). En conséquence, les effectifs des troupeaux

ont diminué et l'alimentation du bétail a été recentrée sur les résidus de culture, ce qui accentue les tensions autour de cette ressource (FRESCHET *et al.*, 2008 ; JOUVE, 2001 ; RUFINO *et al.*, 2010). En conséquence, la tendance actuelle est la récolte des résidus (Faye et Landais, 1986). Cette pratique vise leur appropriation en vue de les commercialiser ou de les stocker pour subvenir à l'alimentation du bétail en saison sèche (DUGUÉ, 1985 ; FALL-TOURÉ *et al.*, 1997 ; SCHLECHT *et al.*, 2004). Elle traduit le passage d'un système de gestion collectif à un système de gestion individuel (COURTIN et GUENGANT, 2011 ; DUGUÉ, 1985 ; JOUVE, 2001). La diminution de la présence des animaux conjuguée à une récolte quasi systématique des résidus de culture (en plus des produits culturaux principaux) conduit à une diminution de la fertilité des sols, car les exportations de nutriments ne sont plus compensées par un apport équivalent sous forme de fumure organique (BULDGEN *et al.*, 1992 ; DUGUÉ, 1985 ; FAO, 2003).

Dans cette étude, nous nous sommes penchés sur le cas des populations Sereer du bassin arachidier du Sénégal. Alors que les terroirs de la zone semblaient déjà saturés en 1960 (LERICOLLAIS, 1999), la population a doublé dans cette zone du Sénégal entre 1963 et 2009 (DELAUNAY et LALOU, 2012). Les stratégies d'adaptation ont été différentes selon les villages (DUGUÉ, 1985). Elles ont comme point commun l'essor de la transhumance des troupeaux de bovins. Pour maintenir des animaux dans les terroirs villageois, certaines communautés villageoises ont conservé la jachère commune, tandis que d'autres ont développé la pratique de l'embouche. On peut alors se demander si, dans un contexte de saturation de l'espace et de forte variabilité climatique, le système intensif basé sur une réintroduction des bovins par l'embouche est plus durable que le système traditionnel extensif basé sur un système de jachère. Pour répondre à cette question, nous avons adopté un regard croisé sur deux terroirs villageois qui pratiquent ces deux stratégies agricoles contrastées (jachère *versus* embouche) dans une même zone pédoclimatique.

Matériel et méthode

Le modèle conceptuel guidant l'analyse

Le modèle conceptuel d'analyse est un modèle stock-flux articulant trois systèmes imbriqués : le terroir, le foyer et la parcelle (fig. 1). Ces différents systèmes sont traversés par des flux de biomasse entrants et sortants. La biomasse correspond aux principaux matériaux circulant dans les systèmes agricoles étudiés (fig. 1), à savoir les principaux produits de la strate arborée, des cultures (grains, résidus, etc.) et de l'élevage (fumure organique, animaux, lait, etc.) ainsi que les principaux intrants (engrais minéraux, aliments concentrés, denrées alimentaires, etc.).

LE SYSTÈME ÉTUDIÉ : LE TERROIR VILLAGEOIS

Privilégiant une approche systémique, nous avons sélectionné la définition africaniste du terroir en tant que « espace cultivé et exploité par une communauté villageoise »

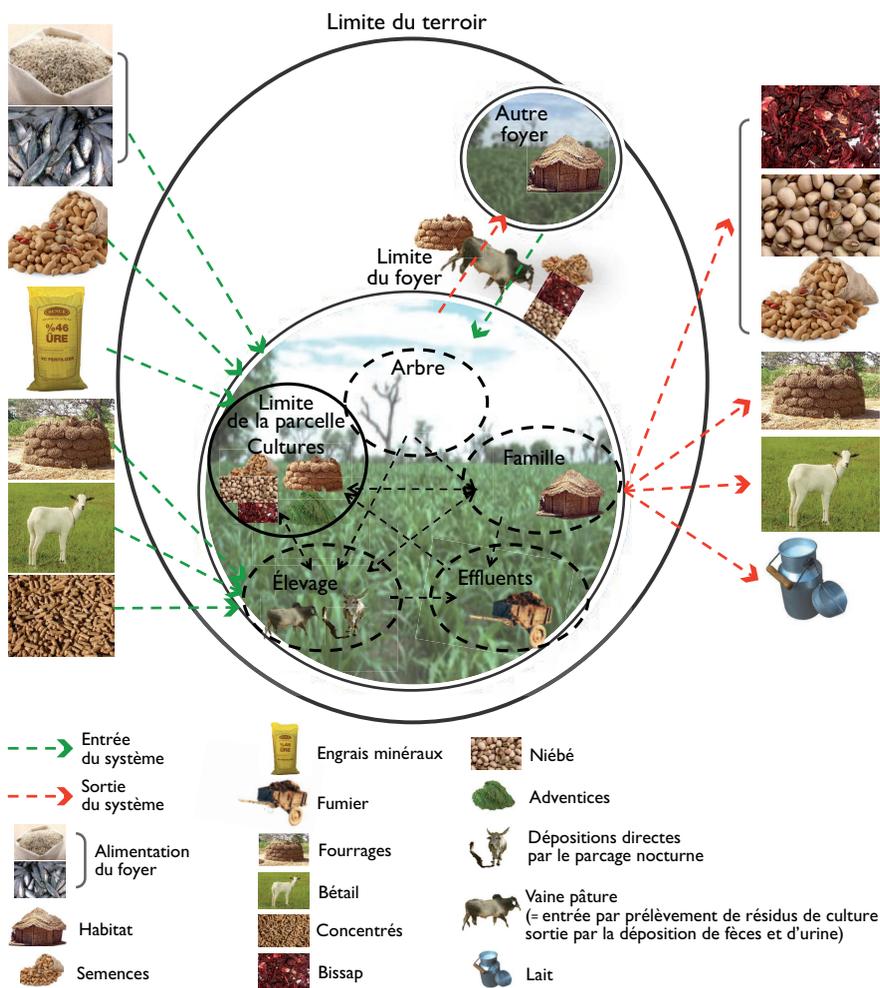


Figure 1. Représentation conceptuelle du système étudié en trois systèmes imbriqués (terroir, foyer, parcelle).

(RABOT, 1990). Le terroir peut être découpé en unités paysagères qui permettent de modéliser l'organisation spatiale des flux de biomasse et de nutriments (zone d'habitat, champs de case, champs de brousse, parcours réservés au bétail) (LERICOLLAIS, 1999 ; MANLAY, 2001 ; TITTONELL *et al.*, 2006).

Cette étude s'intéresse à deux terroirs proches (distants d'environ 8 km) situés dans une même zone pédoclimatique, dans le bassin arachidier du Sénégal (pluviométrie moyenne de 566 mm.an⁻¹, station météorologique de Fatick, 2013). **Diohine**, le premier terroir, est caractérisé par un système agricole à tendance traditionnelle basé sur une jachère commune. **Barry Sine**, le deuxième terroir, est caractérisé par l'essor spectaculaire de la pratique de l'embouche (fig. 2).

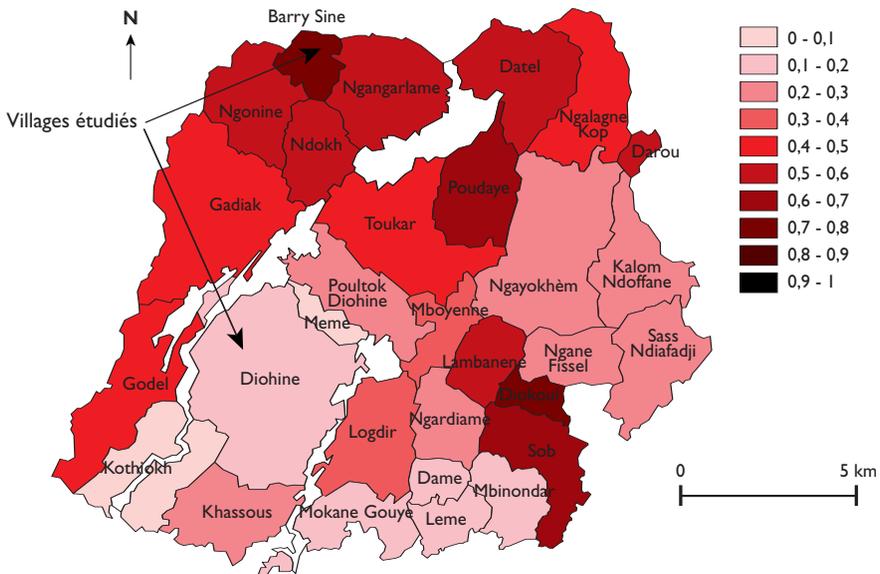


Figure 2.
Fréquence des concessions pratiquant l'embouche en 2012
dans les différents terroirs de l'observatoire démographique IRD de Niakhar
(Source : DELAUNAY et LALOU, 2012).

LES SOUS-SYSTÈMES FOYER ET PARCELLE

Historiquement, les Sereer se regroupent entre membres d'une même famille au sein de concessions. Chaque concession est une unité de résidence. Elle est généralement composée de plusieurs foyers. Alors qu'historiquement l'essentiel des décisions se prenait à l'échelle de la concession, aujourd'hui le foyer est généralement l'unité de décision concernant la gestion des ressources agricoles (troupeau, terres, matériel, etc.). Le foyer peut être scindé en cinq sous-systèmes ou ateliers agricoles : la famille, les cultures, l'élevage, les effluents et le parc arboré (cf. fig. 1).

La parcelle est l'unité de gestion des cultures. Ce sous-système est classiquement considéré dans les travaux d'évaluation de la durabilité des systèmes agricoles car, en agronomie, c'est l'échelle classique d'évaluation des rendements culturaux et des bilans de fertilité (SCHLECHT et HIERNAUX, 2004).

Collecte et traitement des données

ENQUÊTES FOYER

Les enquêtes avaient pour objectifs de décrire la structure et les pratiques agricoles de chaque foyer. La liste exhaustive des foyers de chaque village ainsi que les données démographiques correspondantes sont issues de la base de données de l'observatoire de Niakhar (DELAUNAY *et al.*, 2013). Les pratiques agricoles ont été traduites en flux de biomasse entre les différents ateliers agricoles afin de calculer les indicateurs de

durabilité (cf. *infra*). Le guide d'enquête a donc été divisé selon les 5 ateliers agricoles générateurs de flux de biomasse (cf. *supra*). Les flux entrants et sortants de chacun de ces ateliers ont été quantifiés (fig. 1). L'année de référence était la campagne agricole de 2012 (juin 2012 à mai 2013).

Les flux inter-foyers ont également été renseignés. Ils sont constitués de flux marchands de biomasse (directement renseignés par enquête), ainsi que de flux orchestrés par les troupeaux. Le calcul des flux orchestrés par les troupeaux est précisé *infra* (SCHLECHT *et al.*, 2004 ; THORNTON et HERRERO, 2001).

BASE DE DONNÉES DES FLUX DE BIOMASSE

La base de données des flux de biomasse est renseignée en unités standard (kg MB et kg MS). Les unités locales (charrettes, bottes, etc.) ont été converties en unités standard selon des pesées réalisées pendant l'étude ou à partir de facteurs de conversion disponibles dans la littérature (VANDERMEERSCH *et al.*, 2013).

Les flux non quantifiables directement par enquête, à savoir les flux inter-foyer orchestrés par les troupeaux, ont été calculés en distinguant les différentes saisons pratiques (cf. *infra*).

Durant la saison sèche, après récolte des cultures, le cheptel divague librement sur les parcelles et consomme les résidus de culture laissés au champ. Il restitue alors une partie de la biomasse sous forme de fèces et d'urine. Il en est de même en saison des pluies, où les animaux divagent sur les jachères (cas de Diohine).

Les flux d'ingestion de biomasse sont calculés en fonction du disponible fourrager de chaque foyer. Ce disponible correspond aux productions des parcelles du foyer desquelles sont retranchées la récolte du foyer et la consommation du troupeau du foyer (selon la taille du troupeau et les pratiques d'alimentation du bétail du foyer). Si le reliquat fourrager est positif, il est utilisé par un troupeau d'un autre foyer déficitaire. S'il est négatif, il est contrebalancé par un prélèvement sur les parcelles d'autres foyers excédentaires.

Les restitutions de fèces et d'urine par les animaux ont été calculées selon les temps de présence des différents lots d'animaux en Unité Bovin Tropical Heure (UBT.h) dans les différentes unités paysagères et dans les différentes parcelles pour chaque saison pratique (SCHLECHT *et al.*, 2006).

SPATIALISATION DES FLUX ET STOCKS VIA UN SYSTÈME D'INFORMATION GÉOGRAPHIQUE

Nous avons choisi de considérer l'approche spatiale des flux de biomasse, car les transferts de nutriments dans l'espace constituent une composante essentielle de l'entretien de la fertilité des terres en zone soudano-sahélienne (RABOT, 1990). Chaque parcelle a donc été géoréférencée. Les différents flux et bilans ramenés à la surface de chaque parcelle ont alors été spatialisés, ce qui nous a permis de représenter la répartition des flux au sein du terroir afin d'évaluer les unités paysagères qui constituent des sources ou des puits de fertilité (MANLAY *et al.*, 2004 ; DUGUÉ, 1985 ; TITTONELL *et al.*, 2006).

INDICATEURS DE DURABILITÉ CALCULÉS

Les travaux de recherche conduits en Afrique de l'Ouest durant les trente dernières années ont démontré que les nutriments, l'azote en particulier, constituent un facteur limitant majeur de la productivité agricole (RUFINO *et al.*, 2009 ; SCHLECHT *et al.*, 2006). L'alimentation des céréales dans les sols tropicaux sableux d'Afrique de l'Ouest est principalement basée sur le puisage des réserves en azote organique du sol, réserves finies et en quantité limitée (WANEUKEM et GANRY, 1992). En conséquence du rôle prédominant de l'azote dans le fonctionnement des systèmes agricoles de la zone étudiée, nous avons choisi cet élément minéral pour construire nos principaux indicateurs de durabilité. Ainsi, les flux de biomasse (en kg MS.an⁻¹) ont été convertis en flux d'azote (en kg N.an⁻¹). Les 4 indicateurs suivants ont été calculés aux 3 échelles (parcelle, foyer, terroir) pour mieux comprendre le fonctionnement des deux terroirs étudiés.

Bilan azoté

L'intensification agricole peut mettre en péril la durabilité du système agraire si elle ne s'accompagne pas d'un maintien de la fertilité des sols. Le bilan en nutriments est ainsi un indicateur intéressant de la durabilité du système (ROY *et al.*, 2005 ; THORNTON et HERRERO, 2001). Ici, seul le bilan N apparent a été calculé. Il correspond à la différence entre les entrées et les sorties de N ramenée à la surface agricole utile (SAU). Il ne prend pas en compte les flux verticaux (les émissions gazeuses, la fixation symbiotique, la déposition atmosphérique, etc.).

Efficience d'utilisation de l'azote

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

Productivités

La sécurité alimentaire des foyers reste la préoccupation majeure des Sereer. Il est donc incontournable de s'intéresser à la productivité des systèmes agricoles pour en définir la durabilité. Cet indicateur est renseigné en kg MS.ha⁻¹.an⁻¹, en kg N.ha⁻¹.an⁻¹ et kg N.hab⁻¹.an⁻¹. Il peut être calculé aux 3 échelles. À l'échelle de la parcelle il correspond aux rendements culturaux.

Importations

Les importations d'un terroir ou d'un foyer dévoilent la dépendance de ce système envers d'autres systèmes. Elles traduisent également l'indépendance du système envers les aléas climatiques locaux et le degré de pression sur les ressources naturelles locales (e.g. parc arboré). Cet indicateur peut être renseigné en kg N.ha⁻¹.an⁻¹ ou en kg N.hab⁻¹.an⁻¹ (RUFINO *et al.*, 2009).

Résultats

Structure des villages

HABITAT ET OCCUPATION DU SOL

Diohine est un village ancien dont l'habitat est concentré et organisé en quartiers. L'habitat de Barry Sine est le fruit de nombreux mouvements de population relativement récents, il est morcelé et dispersé (fig. 3). Ainsi à Diohine, une « hiérarchie de quartier » s'opère, tandis que Barry Sine présente une « hiérarchie de concession ».

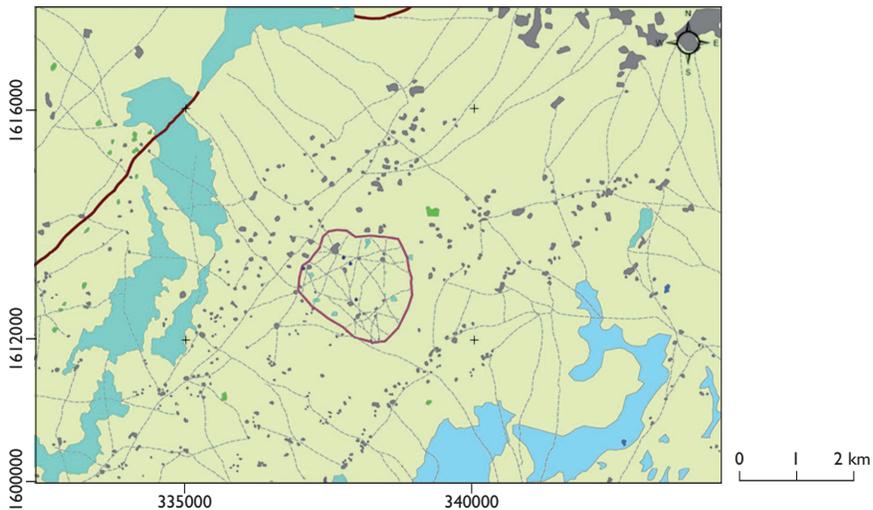
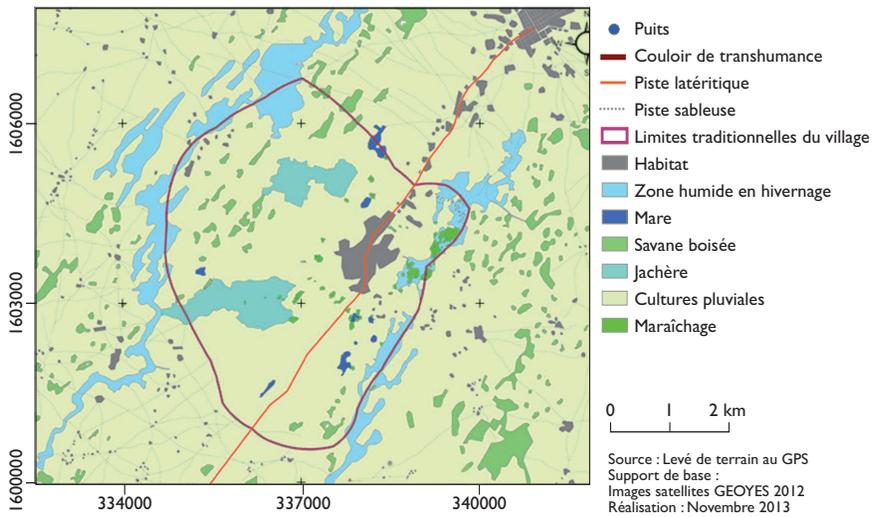


Figure 3.
Zonage agro-écologique de Diohine (en haut) et Barry Sine (en bas) en 2013.

Diohine reflète un mode d'organisation se rapprochant davantage du modèle traditionnel organisé autour de marigots, essentiels au maintien du troupeau sur le terroir. En revanche, Barry Sine n'inclut ni marigot, mares ou savanes boisées dans les limites traditionnelles du village.

POPULATION HUMAINE ET ANIMALE, SURFACES DISPONIBLES ET ASSOLEMENT

La pression démographique (180 hab.km⁻² à Diohine ; 320 hab.km⁻² à Barry Sine) et le chargement animal (0,96 UBT.an.ha⁻¹ à Diohine ; 2,31 UBT.an.ha⁻¹ à Barry Sine)

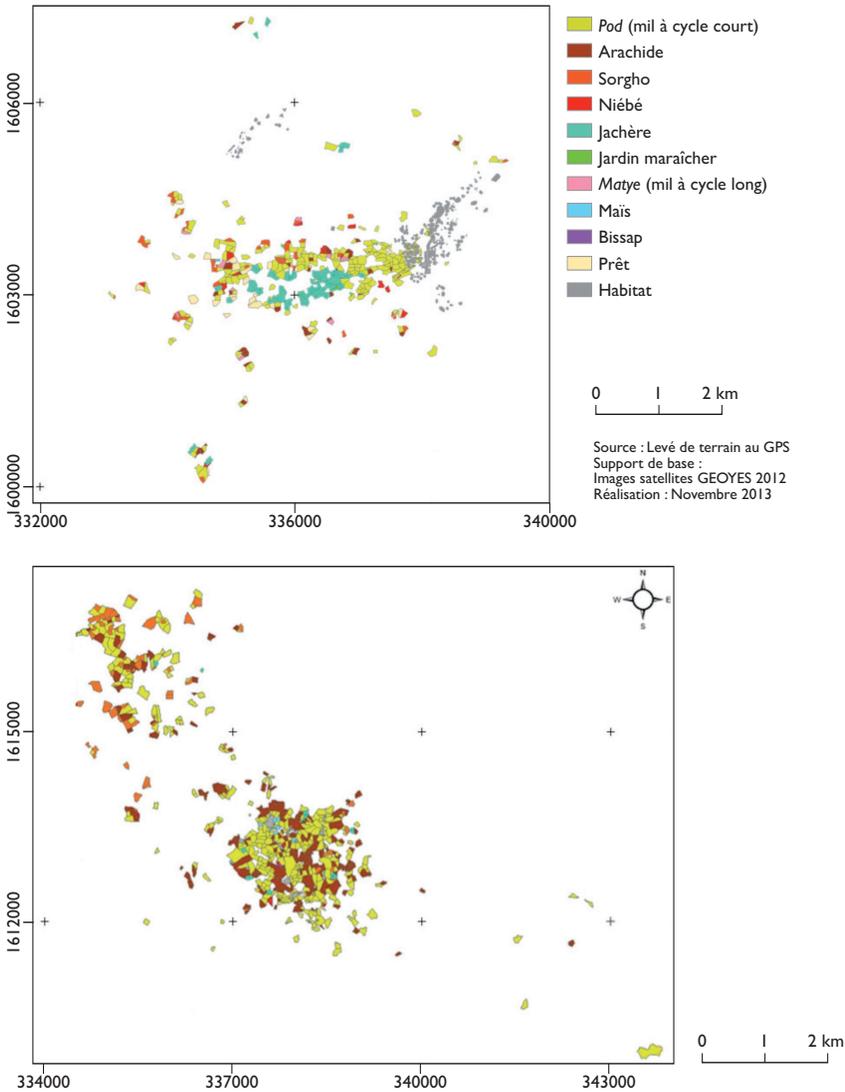


Figure 4.
Cartes de l'assolement à Diohine (en haut) et Barry Sine (en bas) en 2012.

sont plus faibles à Diohine. Ce village a ainsi pu garder un système d'élevage extensif divagant. 20 % de sa SAU sont mis en jachère chaque année pour permettre le pâturage des troupeaux en saison des pluies. Barry Sine, au contraire, ne pratique la jachère que sur quelques parcelles isolées et a développé un élevage intensif basé sur de fortes importations de concentrés.

Le mil reste la culture dominante dans les deux terroirs, il représente 53 % et 55 % de la SAU respectivement à Diohine et Barry Sine. Diohine a délaissé la culture de l'arachide. Elle ne représente plus que 7 % de la SAU à Diohine, contre 30 % à Barry Sine (fig. 4).

DIVERSITÉ DES FOYERS

D'après leurs données structurelles et leurs pratiques agricoles, les foyers des deux terroirs ont pu être classés en 5 types inégalement répartis dans les deux terroirs (tabl. 1).

Tableau 1.
Caractéristiques des différents types de foyer.

Classe	1- Nouveaux installés	2- Agriculteurs vivriers	2'- Arachidiers	3- Mixtes traditionnels	3'- Emboucheurs
Chargement animal (UBT.ha ⁻¹)	1,3	1,3	3,1	3,6	3,7
Chargement en embouche (UBT.ha ⁻¹)	0,3	0,2	1,0	0,1	2,2
Population (unité.ha ⁻¹)	4,5	2,8	4,2	3,1	6,3
SAU (ha)	3,8	5,5	5,2	5,3	4,9
Part de la surface en arachide (%)	26	19	32	8	20
Part de la surface en jachère (%)	2	11	2	19	0
Part des foyers de Diohine (%)	11	78	0	11	0
Part des foyers de Barry Sine (%)	26	49	19	0	6

Le type de foyer le plus représenté est constitué par les « Agriculteurs vivriers », en particulier à Diohine. Le second type le plus représenté est constitué par les « Nouveaux installés », en particulier à Barry Sine où l'individualisation des ménages est plus importante. Ce sont de jeunes chefs de foyer qui ont peu de SAU, peu d'animaux et sont particulièrement dépendants des ressources du terroir (herbe, bois).

Le type des « Mixtes traditionnels », présent à Diohine seulement, est constitué de chefs de concession qui ont conservé une large part de jachère et sont gestionnaires de troupeaux traditionnels et transhumants de taille moyenne.

Les « Arachidiers » et les « Emboucheurs » sont représentés à Barry Sine seulement. Ils s'orientent tous deux vers la production commerciale (arachide et embouche). Le type des « Emboucheurs » est constitué de foyers très peuplés à faible SAU.

Les « Emboucheurs » présentent un haut ratio de UBT en embouche par rapport au total des UBT. En revanche, les « Mixtes traditionnels » pratiquent peu ou pas l'embouche. Ces deux types ont la particularité de mettre peu de biomasse végétale (résidus de cultures) à disposition des troupeaux des autres foyers : en effet, leur chargement animal est élevé.

Ainsi, les troupeaux des « Mixtes traditionnels » consomment aussi sur les parcelles des autres foyers, en particulier chez les « Agriculteurs vivriers » qui ont un faible chargement animal. Ces producteurs prélèvent donc de l'azote sur les parcelles d'autres foyers, qu'ils concentrent sur leurs propres parcelles par le parage nocturne. Ils prêtent cependant leurs troupeaux pour le parage, notamment aux « Nouveaux installés », et peuvent ainsi accroître leur SAU en empruntant les parcelles fumées l'année suivante (ODRU, 2013).

En revanche, les « Emboucheurs » ont plutôt des troupeaux entravés au sein de la concession qui ne participent pas à la vaine pâture. Pour l'alimentation de ce bétail, ces foyers vont donc récolter une grande partie des résidus sur leurs propres parcelles et ont aussi parfois recours à l'achat de résidus d'autres foyers « Agriculteurs vivriers » et « Nouveaux installés ».

Pratiques agricoles et équipements

ARTICULATION DES ACTIVITÉS D'ÉLEVAGE ET D'AGRICULTURE

Les types de foyers dominants dans chacun des deux terroirs sont différents. Ils se traduisent par des pratiques différentes. Ces pratiques peuvent être décrites en distinguant les principales saisons pratiques concernant la conduite des cultures et de l'élevage (fig. 5).

L'hivernage et le début de la saison sèche chaude (H1, H2 et SC1) correspondent à une période où les activités d'élevage et d'agriculture peuvent entrer en concurrence. Par conséquent, une partie du cheptel des « ruminants divagants » (bovins, caprins, ovins) part en transhumance à destination du Saloum puis du Ferlo (0,11 UBT.ha⁻¹ à Diohine et 1,10 UBT.ha⁻¹ à Barry Sine). Cette concurrence des activités est atténuée à Diohine grâce à la jachère commune et à l'accès aux marigots, ce qui permet de conserver de plus hauts effectifs divagants dans le terroir (0,56 UBT.ha⁻¹ à Diohine ; 0,35 UBT.ha⁻¹ à Barry Sine). Ce n'est pas le cas à Barry Sine, qui développe en contrepartie davantage l'élevage d'embouche (0,01 UBT.ha⁻¹ à Diohine ; 0,57 UBT.ha⁻¹ à Barry Sine). Ce type d'élevage atténue les relations entre les activités d'élevage et d'agriculture, puisque ce bétail est entravé au sein de la concession et que son alimentation est fortement basée sur des concentrés achetés auprès de provendiers et produits hors du terroir (e.g. concentrés complets, son de mil, son de riz, etc.).

En fin de saison sèche chaude et en saison sèche froide (SC2, SF1, SF2 et SF3), dès la récolte des coproduits, les activités d'agriculture et d'élevage deviennent potentiellement complémentaires. En effet, les animaux divagants pratiquent la vaine

	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Janvier	Février	Mars	Avril	
Saisons climatiques	Froide	Hivernage											
Saisons pratiques de Diohine	SF3	H1											
Saisons pratiques de Barry Sine	SF3	H1		H2		H1		SC2		SFI		SF2	
Période de pâturage en jachère collective à Diohine		++	++	++	++	++	++	++					
Culture du mil	+	++	++	++	++	++	++	++	+				
Culture de l'arachide		+	++	++	++	+							
Présence du troupeau transhumant	+	+					+	+	++	++	++	+	
Embouche bovine	++	++	+				++	++	++	++	++	++	
Embouche ovine		+	+	++	++								
Événements culturels				Korité x		Tabaski x	Tamkharit x		Magal x				

Saisons pratiques :

H1 : Lancement cultures et récolte fourrages (en vert)

H2 : Embouche ovine

SC1 : Récolte des produits principaux

SC2 : Récolte des coproduits + vaine pâture avec berger

SFI : Pleine vaine pâture

SF2 : Soudure avec recours aux ressources du marigot

SF3 : Soudure avec compléments d'alimentation + préparation des sols

Figure 5.

Représentation des saisons pratiques dans les deux terroirs villageois.

pâture des résidus de récolte laissés au champ et sont parqués la nuit dans certains champs privilégiés. À Diohine, la saison sèche froide est davantage scindée qu'à Barry Sine, avec deux saisons pratiques de soudure distinctes (SF2 et SF3). Dans la première phase, les « ruminants divagants » accèdent à la vaine pâture et consomment en priorité les résidus restés au champ et les ressources du marigot (ODRU, 2013). Puis, dans la deuxième phase, l'alimentation des troupeaux est basée sur les résidus de culture stockés et sur l'émondage des arbres fourragers (e.g. *Faidherbia albida*).

La période d'embouche ovine vise généralement les fêtes musulmanes telles que la Tabaski, alors que l'embouche bovine est chaque année étalée sur la saison sèche pour produire de la viande de contre-saison. À Diohine, l'embouche bovine est de type « finition » ; quelques rares animaux sont alors prélevés du troupeau divagant pour être engraisés. Alors que, à Barry Sine, il s'agit d'une embouche de type « achat/revente ».

FERTILISATION DES TERRES CULTIVÉES

Les flux de nutriments générés par les troupeaux (durant la vaine pâture, le pâturage d'hivernage et le parcage nocturne), les apports de fumier et d'engrais minéraux représentent les intrants majeurs des parcelles.

Vaine pâture, pâturage d'hivernage et parcage nocturne

À l'échelle de la parcelle, les apports du troupeau divagant représentent 32 et 15 % des entrées totales de N à Diohine et à Barry Sine respectivement. À Diohine, une large part des coproduits est laissée à disposition des troupeaux, et le prélèvement de biomasse végétale dépasse la déposition de fèces et d'urine. Il se traduit par une exportation de N de -8 kgN.ha^{-1} en saison sèche pendant la vaine pâture et de -26 kgN.ha^{-1} en saison des pluies pendant le pâturage d'hivernage dans la jachère commune. À Barry Sine, en moyenne, la pratique de la vaine pâture fertilise les terres ($+5 \text{ kgN.ha}^{-1}$) car le chargement animal est élevé, l'essentiel de la biomasse végétale est récolté et les animaux sont fortement complémentés.

Du fait du maintien d'un troupeau en saison des pluies grâce à la jachère, le parcage nocturne d'hivernage s'applique sur une portion de la surface 10 fois plus élevée à Diohine (2,7 % de la SAU à Diohine ; 0,2 % à Barry Sine) et de manière plus intensive à Diohine (dépôts de déjections de $3,95 \text{ t MS.ha}^{-1}$ à Diohine et $1,75 \text{ t MS.ha}^{-1}$ à Barry Sine). On observe le contraire concernant le parcage nocturne de saison sèche. Il est 10 fois plus pratiqué à Barry Sine (3 % de la SAU de Diohine ; 39 % à Barry Sine) et couvre tous les champs quel que soit leur éloignement par rapport à l'habitat, alors qu'il est réservé aux champs de case à Diohine (fig. 6). Les quantités de déjections déposées en saison sèche sont en moyenne plus élevées à Barry Sine ($2,40 \text{ t MS.ha}^{-1}$ à Diohine ; $2,57 \text{ t MS.ha}^{-1}$ à Barry Sine).

Apports de fumier

Le fumier représente 14 % des entrées d'azote des parcelles à Diohine pour 12 % à Barry Sine. Dans les deux villages, l'épandage du fumier s'applique en priorité aux parcelles des champs de case, en cohérence avec le schéma traditionnel. En revanche, l'équipement agricole de Barry Sine lui permet de fumer une plus grande part de sa SAU (fig. 7).

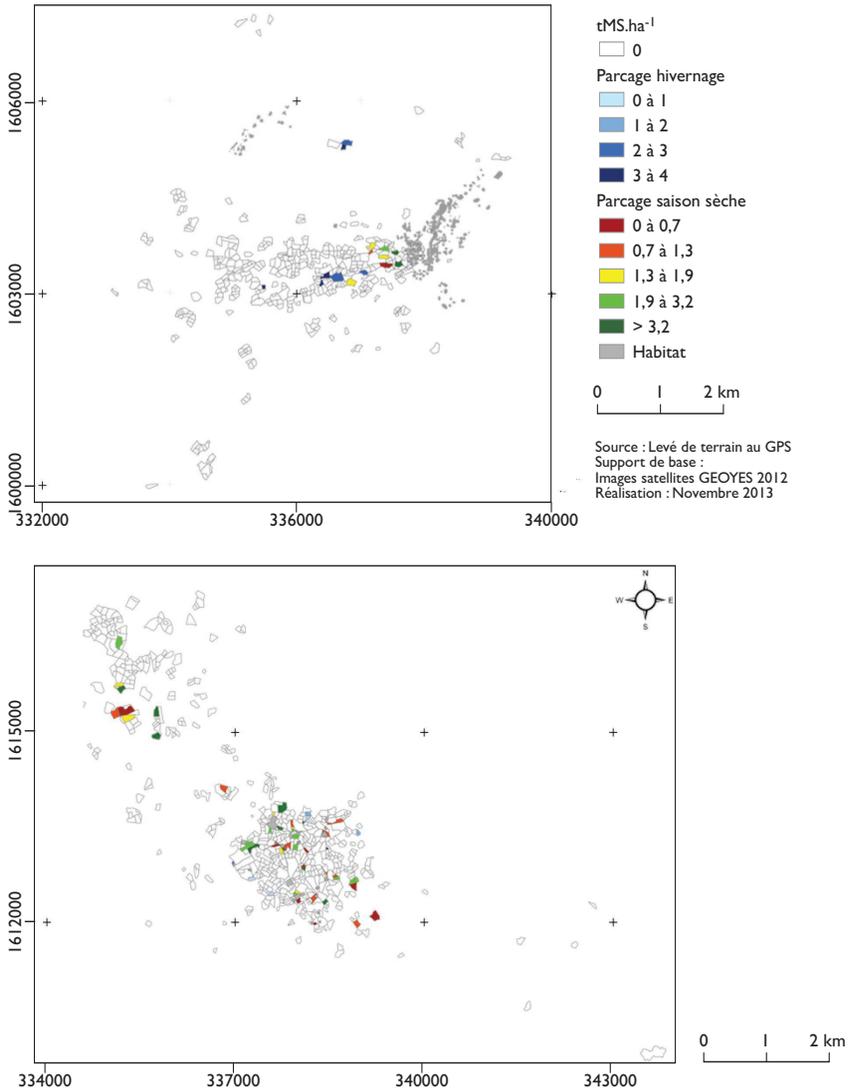


Figure 6.
Localisation des parcs nocturnes d'hivernage et de saison sèche pour Diohine (en haut) et Barry Sine (en bas) en 2012.

Les doses moyennes de fumier épandues sont assez similaires d'un village à l'autre (1,69 t MS.ha⁻¹ à Diohine ; 1,64 t MS.ha⁻¹ à Barry Sine). Cependant, les foyers de Barry Sine sont mieux équipés en charrettes (48 % des ménages sont équipés à Diohine contre 86 % à Barry Sine). Un meilleur niveau d'équipement associé à un meilleur disponible en fumure organique leur permettent de mieux répartir ce fumier dans l'espace (24 % des parcelles sont fumées à Diohine contre 31 % à Barry Sine).

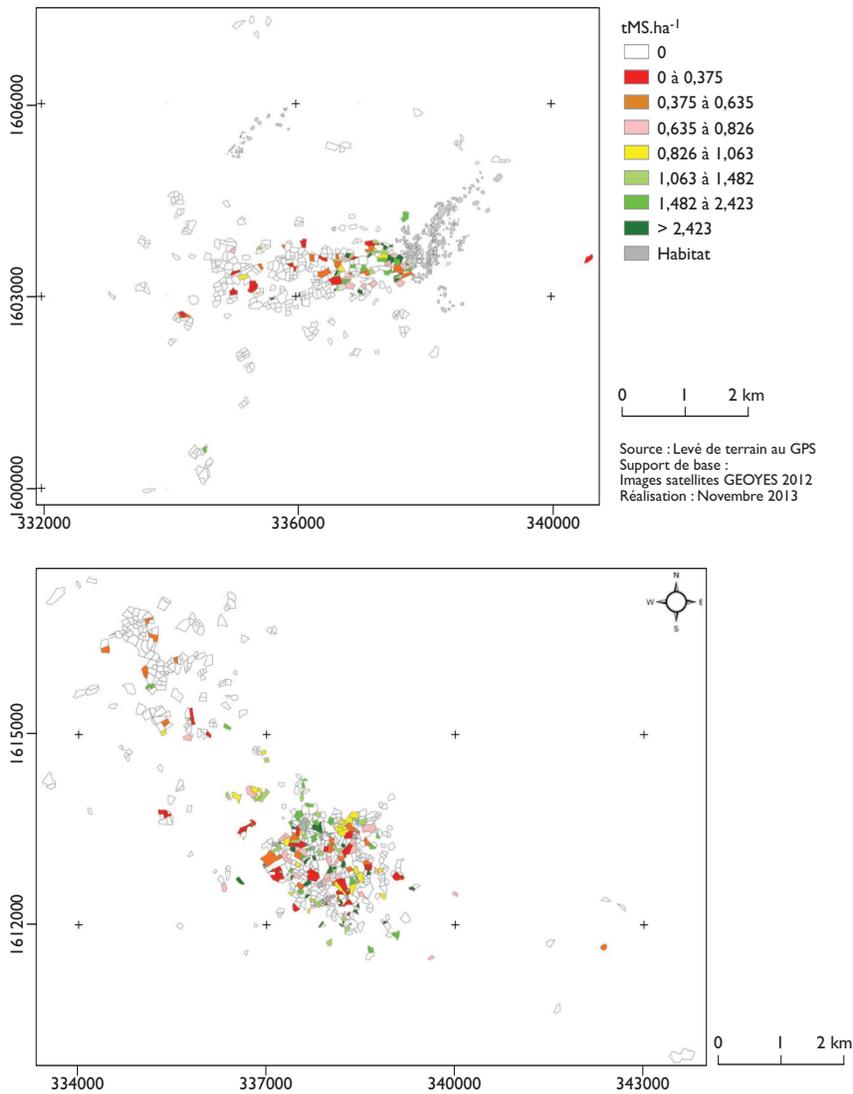


Figure 7.
Intensité des apports de fumier à Dioghine (en haut)
et Barry Sine (en bas) en 2012.

Apports d'engrais minéraux

L'épandage des engrais minéraux n'est pas lié de manière directe à l'élevage mais joue un rôle prépondérant en fournissant la majeure partie des intrants azotés des parcelles de Barry Sine (8 % à Dioghine ; 26 % à Barry Sine). L'épandage d'engrais minéraux concerne une surface plus importante à Barry Sine (2 % à Dioghine ; 27 % de la SAU à Barry Sine) et il est réalisé à des doses plus élevées. Ainsi, ce village contrebalance les apports de fumure organique (déjections et fumier) qui privilégient

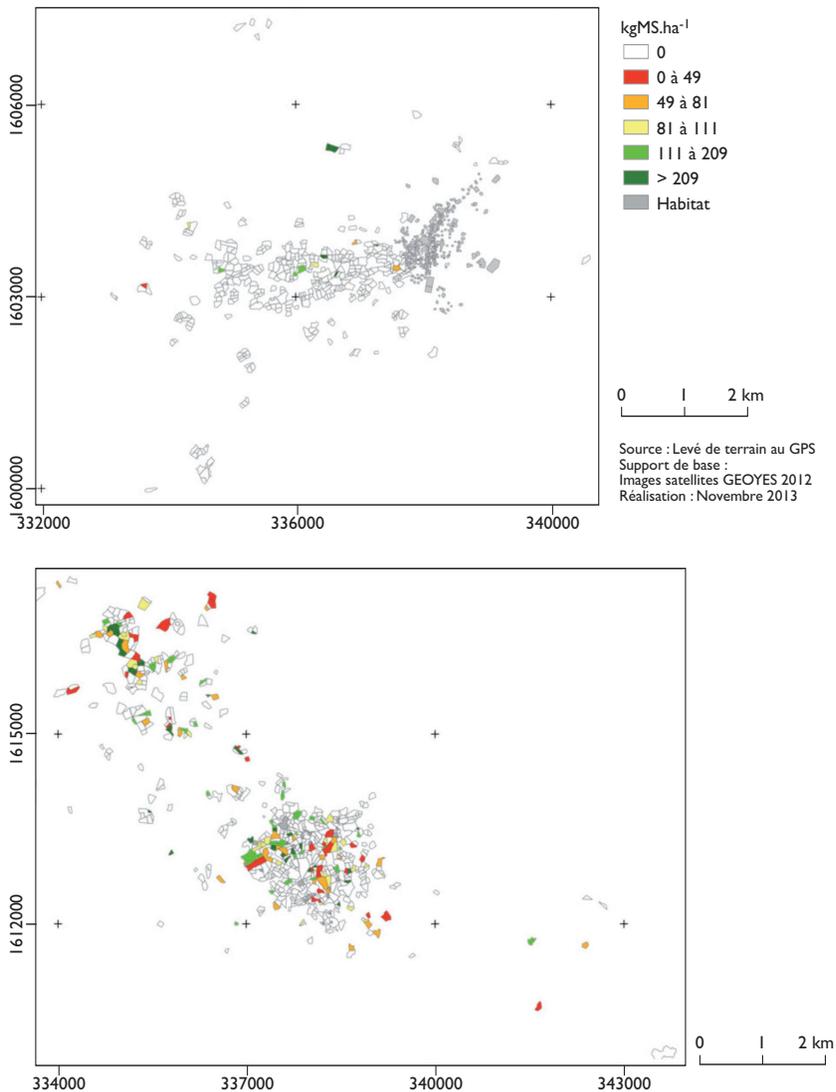


Figure 8.
Intensité des épandages d'engrais minéraux
à Diohine (en haut) et Barry Sine (en bas) en 2012.

les champs de case par l'apport d'engrais minéraux en priorité épandus sur les champs de brousse (fig. 8).

CONDUITE DES CULTURES ET RENDEMENTS CULTURAUX

Après avoir analysé les principaux intrants des parcelles, nous décrivons maintenant leur impact en termes de rendements. Les rendements en céréales sont plus importants à Barry Sine et équivalents en arachide pour les deux villages (tabl. 2). Il est à noter

que les rendements globaux en pailles sont significativement plus élevés à Barry Sine. Toutefois, les rendements de fanes y sont plus faibles (tabl. 2).

Tableau 2.
Comparaison des rendements des principales cultures
et de la part de coproduits laissés au champ à Diohine et Barry Sine en 2012.

	Produits principaux (épis/coques)			Coproduits (pailles/fanes)					
	Rendement (kgMS .ha ⁻¹)						Part de coproduits laissée au champ (%)		
	Mil	Sorgho	Arachide	Mil	Sorgho	Arachide	Mil	Sorgho	Arachide
Diohine	626	480	371	1823	1067	1171	60	44	31
Barry Sine	727	779	366	2418	2505	696	43	13	0

(En rouge la valeur la plus basse pour une variable comparée à l'autre village ;
en vert, la valeur la plus haute pour une variable comparée à l'autre village).

Le devenir des coproduits diffère également d'un terroir à l'autre. Cela s'explique par des systèmes d'élevage dominants différents d'un terroir à l'autre. À Diohine, le système divagant domine. Or ce dernier suppose qu'une quantité suffisante soit laissée au champ afin de permettre la vaine pâture. En revanche, il est de type embouche à Barry Sine, ce qui mène ses habitants à récolter une plus grande part de leurs coproduits (tabl. 2).

Indicateurs de durabilité

À L'ÉCHELLE DE LA PARCELLE

Barry Sine utilise significativement davantage d'intrants par hectare à l'échelle de la parcelle que Diohine (13,5 kgN.ha⁻¹ à Diohine ; 23,5 kgN.ha⁻¹ à Barry Sine). En revanche, son gain de production (+15 kgN.ha⁻¹) n'est pas compensé par le gain d'intrants (+10 kgN.ha⁻¹). En effet, les exports de fourrage, en particulier pour l'alimentation d'embouche, sont plus élevés à Barry Sine. Ainsi, au final, les pratiques agricoles impactent peu les bilans azotés des deux villages, qui présentent des moyennes et médianes à différence non significative (moyennes de -20 kgN.ha⁻¹ pour Diohine ; -23 kgN.ha⁻¹ pour Barry Sine) (fig. 9).

Si l'on compare la répartition spatiale des bilans azotés des parcelles, et d'après un test ANOVA, Diohine converge vers le modèle traditionnel avec des bilans N plus élevés en champs de case qu'en champs éloignés. À Barry Sine, cette différence de bilan N selon l'éloignement à l'habitat n'est pas significative.

L'hétérogénéité est également plus élevée à Diohine, probablement en raison de pratiques de conduite davantage différenciées entre champs de case et champs éloignés.

À L'ÉCHELLE DU FOYER

Les pratiques agricoles de Barry Sine se traduisent par un plus fort recours aux intrants tels que les engrais minéraux, les aliments concentrés, les denrées alimentaires

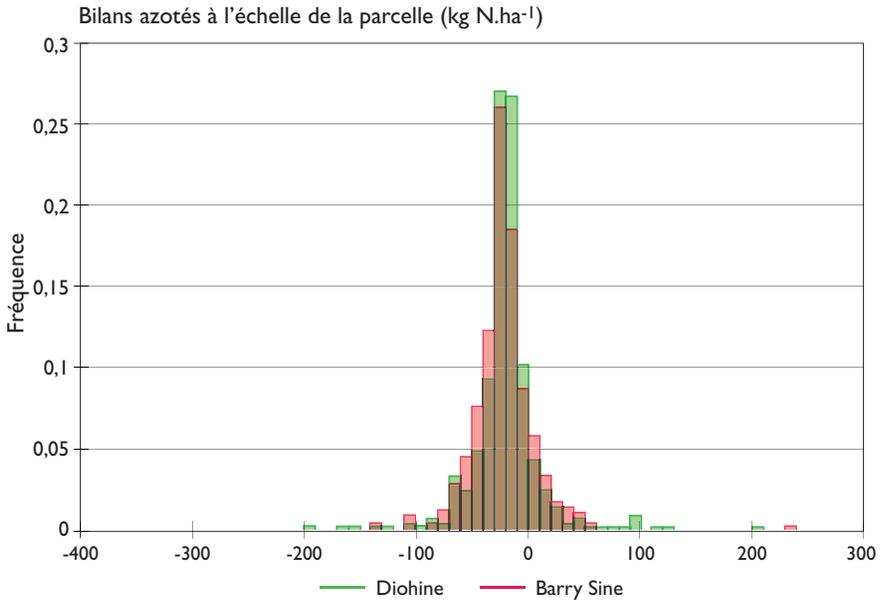


Figure 9.
Graphique de la répartition des bilans azotés par fréquence à Diohine et Barry Sine en 2012.

(flux de N entrants = 3 kg N.habitant⁻¹ à Diohine ; 20 kgN.habitant⁻¹ à Barry Sine), alors que les productions de Diohine sont essentiellement basées sur une utilisation des ressources locales par un recyclage des biomasses issues de l'élevage, des cultures et du parc arboré. Ce surplus d'intrants est essentiellement destiné à la pratique de l'embouche, puisque les achats de denrées alimentaires sont assez similaires dans les deux villages (1,62 et 1,66 kg N.habitant⁻¹ à Diohine et Barry Sine respectivement). Une analyse plus approfondie des flux d'azote intervenant à l'échelle des foyers montre que Diohine tend davantage vers l'autoconsommation, alors que Barry Sine s'est orienté vers la commercialisation de ses productions agricoles. En effet, les ventes de produits animaux et végétaux sont beaucoup plus élevées à Barry Sine (1 kg N.habitant⁻¹ à Diohine ; 13 kg N.habitant⁻¹ à Barry Sine).

Les flux générés par le déplacement des troupeaux divagants prédominent à Diohine, alors que ce sont les flux entrants et sortants liés à l'embouche qui dominent à Barry Sine. Ces chiffres montrent l'importance des activités d'élevage dans le fonctionnement des deux terroirs, même si les systèmes d'élevage diffèrent fortement.

Les pratiques et le fonctionnement actuels des foyers conduisent à des bilans N à l'échelle du foyer en moyenne supérieurs à Barry Sine (13 kgN.ha⁻¹ à Diohine ; 24 kg N.ha⁻¹ à Barry Sine). Ces bilans azotés sont d'autant plus élevés que le foyer s'oriente vers l'activité d'élevage. En effet, les « Agriculteurs vivriers » et les « Emboucheurs » ont respectivement les plus faibles et les plus hauts bilans azotés à l'échelle du foyer.

À L'ÉCHELLE DU TERROIR

À l'échelle du terroir, les résultats sont similaires à ceux observés à l'échelle du foyer. Les bilans azotés sont dans les deux cas positifs, et le bilan est supérieur à Barry Sine (+8,5 kg N.ha⁻¹ à Diohine ; +24,9 kg N.ha⁻¹ à Barry). L'intensité des flux de N est beaucoup plus élevée à Barry Sine. En effet, les flux entrants sont 7 fois plus élevés à Barry Sine (9,3 kg N.ha⁻¹ à Diohine ; 67,9 kg N.ha⁻¹ à Barry Sine). De même, les flux de N sortants sont 35 fois plus élevés à Barry Sine (1,2 kg N.ha⁻¹ à Diohine ; 43,9 kg N.ha⁻¹ à Barry Sine). Ces différences de fonctionnement se traduisent par une efficacité d'utilisation de N 4 fois supérieure à Barry Sine en référence à Diohine (0,15 à Diohine ; 0,64 à Barry Sine).

Discussion générale : effets de l'embouche sur la durabilité des terroirs en Afrique de l'Ouest

L'appauvrissement des sols est un problème commun à de nombreux pays d'Afrique de l'Ouest (SMALING *et al.*, 1997). Il apparaît sur la figure 10 que les bilans azotés en Afrique de l'Ouest sont généralement négatifs à l'échelle de la parcelle. Malgré des méthodologies qui peuvent différer d'une étude à l'autre, les bilans de Diohine et Barry Sine sont comparables avec ceux de la sous-région (SCHLECHT et HIERNAUX, 2004).

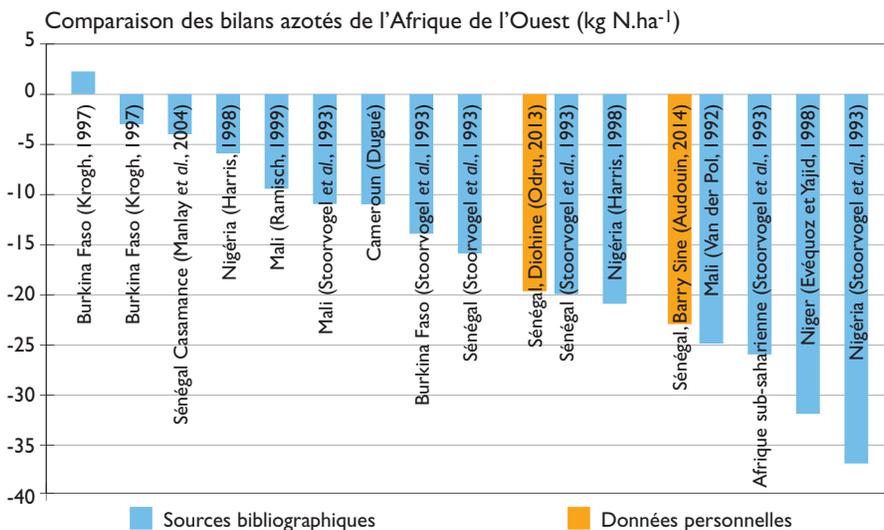


Figure 10. Bilans azotés à l'échelle de la parcelle en Afrique de l'Ouest.

Cette étude des flux de biomasse et d'azote, en décrivant le cas de Diohine, confirme que la réduction de la présence des troupeaux remet fortement en cause le système traditionnel basé sur une forte complémentarité entre élevage, cultures et parc arboré (LERICOLLAIS, 1999). En effet, les transferts de fertilité traditionnellement orchestrés par les troupeaux de ruminants divagants (MANLAY *et al*, 2004) deviennent insuffisants pour compenser les exportations de N *via* les produits des cultures, d'où des bilans N négatifs à l'échelle de la parcelle et des bilans N légèrement positifs à l'échelle du foyer et du terroir dans le cas de Diohine (tabl. 3).

Tableau 3.
Comparaison pluri-échelle des indicateurs de durabilité des villages.

		Diohine	Barry Sine
Bilan azoté (kg N.ha ⁻¹)	Parcelle	-19,8	-23,0
	Foyer	12,7	25,1
	Terroir	8,5	24,9
Efficience azotée (Dmnl)	Parcelle	12,5	3,84
	Foyer	0,78	0,89
	Terroir	0,15	0,64

Cette étude montre que le système agricole basé sur la pratique de l'embouche permet d'accroître la présence de ruminants à l'échelle du terroir. À Barry Sine, le chargement animal est plus élevé et les animaux sont mieux alimentés (cf. *supra*). D'où un disponible en fumure organique plus important et une plus grande fourniture en matière organique à l'échelle de la parcelle à Barry Sine (+2,2 kg N.ha⁻¹). Par conséquent, les rendements en mil, la culture principale des deux terroirs, sont en moyenne augmentés. Ce gain de rendements correspond à un surplus de +101 kg MS.ha⁻¹ d'épis et de +595 kg MS.ha⁻¹ de paille de mil (cf. *supra*). Ces gains de rendements moyens à l'échelle du terroir permettent d'alimenter un cheptel plus important et contribuent à accroître la production de viande de +189 kg PV.ha⁻¹, dont la vente constitue une entrée monétaire utile pour acheter des engrais minéraux et des denrées alimentaires. La pratique de l'embouche permet donc indirectement d'intensifier les productions culturelles et de soutenir une densité de population plus élevée de 78 % (cf. *supra*), confirmant ainsi l'hypothèse de DUNCAN *et al.* (2013).

Pour maintenir un chargement animal élevé (2,31 UBT.ha⁻¹), l'ensemble des agriculteurs de Barry Sine importe annuellement 411 t MS d'aliments concentrés (cf. *supra*). Le recours aux aliments concentrés importés est discutable. Certes, il réduit l'autonomie des foyers et les expose aux fluctuations des prix des céréales et des coproduits de l'industrie, mais il réduit également la pression des systèmes de production sur les ressources naturelles locales et les rend moins sensibles aux variations climatiques. En effet, en système traditionnel (tel qu'à Diohine) durant les années sèches, le parc arboré est fortement sollicité pour compenser le déficit de résidus de récolte nécessaires à l'alimentation des troupeaux. Or la durabilité d'un tel système est fortement remise en cause lors de sécheresses prolongées telles que celle survenue durant la

période 1970-1995. Alors qu'en système construit autour de l'embouche (tel qu'à Barry Sine), le déficit de fourrages en années sèches se fait moins ressentir puisque l'essentiel de la ration est couvert par des aliments concentrés.

Le tableau 3 souligne une grande différence entre les résultats obtenus à l'échelle de la parcelle et ceux calculés à l'échelle du foyer et du terroir. En effet, le bilan azoté est négatif à l'échelle de la parcelle et il est largement positif aux échelles supérieures. Une analyse plus approfondie des flux de N permet d'expliquer ces différences de bilan N par le fait qu'une part du disponible en matière organique (fumier, bouses, urine) n'est pas valorisée sur les parcelles cultivées. Ainsi, dans les deux villages, une partie de l'azote s'accumule au niveau de l'habitat. La différence entre les bilans N est encore plus importante pour Barry Sine (cf. *supra*) où le fumier est encore moins bien valorisé. En effet, une analyse des flux de N par foyer montre que la valorisation du fumier dépend largement du type de foyer (cf. *supra*). En règle générale, plus la quantité de fumier disponible est importante, moins le fumier épandu par UBT sera élevé. En effet, certains foyers, les « Emboucheurs », se concentrent exclusivement sur la commercialisation du bétail, portent moins d'attention aux cultures et importent une grande part de leurs denrées alimentaires *via* les bénéficiaires de l'embouche. Au contraire, les foyers qui s'intéressent à la fois à la commercialisation du bétail d'embouche et à la culture de rente, les « Arachidiers », valorisent mieux le fumier. Cela avait été également noté dans d'autres contextes de développement de l'élevage à visée commerciale en Afrique subsaharienne (RUFINO *et al.*, 2009 ; SCHLECHT *et al.*, 2006).

AUDOUIN (2014) a évalué dans les deux villages l'intérêt environnemental, technique et économique d'une meilleure valorisation du fumier par la mise en place de fosses fumières sous hypothèse d'attelages et de main-d'œuvre non limitants (tabl. 4). Les fosses fumières permettent d'augmenter la biomasse collectée (souches et tiges grossières qui sont par ailleurs brûlées) et de réduire les pertes gazeuses de N (BLANCHARD *et al.*, 2011).

Tableau 4.
Bénéfices environnementaux, techniques et économiques
de l'implémentation de fosses fumières par foyer et par an
(AUDOUIN, 2014).

Type de foyer	Nombre de fosses de 9 m ³ nécessaires	Fumier (kg MS.ha ⁻¹)	Grains mil (kg MS .ha ⁻¹)	Revenu (€)	Bilan azoté parcelle (kg N.ha ⁻¹)
1- Nouveaux installés	2	+155	+21	+30	+3,1
2- Agriculteurs vivriers	2	+58	+9	+17	+1,9
2'- Arachidiers	5	+231	+34	+45	+5,8
3- Mixtes traditionnels	2	+20	+6	+8	+2,4
3'- Emboucheurs	8	+357	+142	+327	+4,3
Moyenne sur Diohine	2	+24	+3	+1	+1,8
Moyenne sur Barry	4	+161	+30	+64	+3,3

L'analyse montre que les gains sont particulièrement importants dans les terroirs où l'embouche domine tels qu'à Barry Sine (tabl. 4). L'intérêt est beaucoup plus réduit pour les foyers qui ont des chargements animaux faibles et où le système d'élevage dominant est de type divagant tels qu'à Diohine. En effet, la production de fumier y est limitée.

Conclusion

Cette étude porte un regard croisé sur deux terroirs agricoles villageois qui ont suivi des trajectoires différentes afin de s'adapter aux changements de leur environnement. Le premier, Diohine, est proche du système agro-sylvo-pastoral traditionnel sereer organisé autour de la jachère, de troupeaux divagants et fortement dépendant du parc arboré en période de soudure. Le second, Barry Sine, conduit de façon plus intensif, est organisé autour de la pratique de l'embouche à l'étable. Les pratiques agricoles et les flux de biomasse résultants ont été décrits par enquête et ont permis de calculer des indicateurs décrivant la productivité des terroirs et l'évolution de la fertilité de leurs sols.

Diohine est un terroir ancien, où la hiérarchie sociale intergénérationnelle reste forte. Le poids de la tradition a participé au maintien de la gestion collective des ressources par l'organisation d'une jachère commune qui accentue les interactions inter-foyers *via* les troupeaux divagants. La possession de troupeaux, fortement liée au statut social, est déterminante de la productivité agricole et du maintien de la fertilité des sols, puisque l'essentiel des entrées d'azote des foyers est basé sur la vaine pâture et le parcage nocturne.

Le terroir de Barry Sine est plus récent. Il a évolué vers un système de gestion des ressources plus individuel et plus intensif, puisque l'essentiel des entrées d'azote des foyers est basé sur l'import d'aliments concentrés pour l'embouche. Ce village a également maintenu la culture commerciale de l'arachide, facilitée par un épandage d'engrais minéraux 5,7 supérieur à celui de Diohine en termes d'azote. Son équipement agricole permet une meilleure répartition des apports d'azote entre champs de case et champs éloignés. Ainsi, le terroir de Barry Sine est plus productif *via* une augmentation des rendements culturaux (+39 % de N pour les produits principaux, +45 % de N pour les coproduits) et de la productivité animale (x 9 kg N.ha⁻¹ produit sous forme de viande).

L'analyse des flux de biomasse montre que les troupeaux jouent toujours dans les deux villages un rôle majeur dans l'organisation du cycle de l'azote. À Barry Sine, l'embouche permet d'accroître la présence de ruminants dans le terroir villageois, et donc de multiplier les apports d'azote des champs sous forme de fumure organique par 1,5. Cependant, les bilans azotés à l'échelle de la parcelle restent négatifs dans les deux terroirs (-20 kg N.ha⁻¹ à Diohine ; -23 kg N.ha⁻¹ à Barry Sine). Ils indiquent

une gestion insuffisamment durable de la fertilité des sols, expliquée par l'importance des flux sortants de la parcelle et la faiblesse des flux de retours aux champs. Ainsi, les systèmes agricoles actuels sont basés sur un puisage non durable des ressources du sol. Des marges de progrès sont néanmoins possibles, puisque les bilans azotés des terroirs (+9 kg N.ha⁻¹ à Diohine ; +25 kg N.ha⁻¹ à Barry Sine) et des foyers (+13 kg N.ha⁻¹ à Diohine ; +25 kg N.ha⁻¹ à Barry Sine) sont positifs. Les différences de bilans montrent que l'azote s'accumule au niveau de l'habitat et que le recyclage de l'azote n'est pas optimal. Il s'explique notamment par une sous-valorisation des fumiers.

Conscients de la régression de la fertilité de leurs sols, les habitants des deux terroirs montrent un intérêt particulier pour l'intensification des systèmes de culture *via* l'apport de fumure organique d'origine animale. Ils réfléchissent notamment à augmenter la valorisation du fumier par la mise en place de fosses fumières. Le développement des fosses fumières serait en effet bénéfique d'un point de vue environnemental (bilans N accrus à l'échelle de la parcelle). Les avantages d'une telle innovation sont plus probants à Barry Sine d'un point de vue technique et économique grâce à un fort disponible en fumier issu de l'embouche.

Dans un contexte de changement climatique et de croissance démographique forte, cette question des options d'intensification des terroirs agricoles villageois est commune à bien des régions d'Afrique de l'Ouest. L'intensification par l'introduction d'un élevage de type embouche paraît être une voie prometteuse. Cette option présente l'intérêt non seulement d'accroître la productivité animale et végétale, mais aussi d'améliorer la santé économique des ménages et de réduire leur sensibilité vis-à-vis des variations climatiques locales, puisque l'alimentation des troupeaux est moins tributaire du disponible fourrager, ce qui réduit la pression exercée sur les ressources locales, dont le parc arboré en périodes de sécheresse.

Remerciements

Les auteurs remercient les agriculteurs pour leur disponibilité et l'intérêt qu'ils ont porté à ce travail. Ils remercient également Ibrahima Thiaw et Mamadou Lamine Ndiaye, étudiants en cartographie de l'UCAD, qui ont effectué une partie des relevés du parcellaire et réalisé l'ensemble des cartes de ce chapitre.

Références

AUDOUIN E., 2014

Comparaison de deux terroirs en termes de flux de biomasse et de bilans azotés en vue de proposer des voies d'intensification écologique – Cas de Diohine et Barry Sine dans le Bassin Arachidier du Sénégal.
Thèse de master, EIP (École d'ingénieurs de Purpan), Toulouse, 118 p.

**AUDOUIN E., VAYSSIÈRES J.,
BOURGOIN J., MASSE D., 2014**

« Identification de voies d'amélioration de la fertilité des sols par atelier participatif ».
In : Actes symposium 50 ans de Niakhar,
IRD Éditions, sous presse, 22 p.

**BLANCHARD M., KOUTOU M.,
VALL E., BOGNINI S., 2011**

Comment évaluer un processus innovant ?
Cas de l'amélioration quantitative et qualitative de la fumure organique au champ.
Revue d'élevage et de médecine vétérinaire en pays tropicaux, 64 (1-4) : 61-72.

**BULDGEN A., DETIMMERMAN F.,
PRIRAUX M., COMPÈRE R., 1992**

Les techniques d'embouche de moutons en région soudano-sahélienne sénégalaise.
Nutrition et Alimentation, 35 (3-4) : 321-328.

**CORMIER M. C., GUEYE C.,
LERICOLLAIS A., SECK S. M., 2000**

« Sécheresse ».
In : La construction de l'espace sénégalais depuis l'indépendance, 1960-2000,
[<http://www.cartographie.ird.fr/SenegalFIG/secheresse.html> 2013]

COURTIN F., GUENGANT J. P., 2011

Un siècle de peuplement en Afrique de l'Ouest.
Natures Sciences Sociétés, 19 (3) : 256-265.

**DELAUNAY V., DOUILLOT L.,
DIALLO A., DIONE D., TRAPE J. F.,
MEDIANIKOV O., RAOULT D.,
SOKHNA C., 2013**

Profile: The Niakhar Health and Demographic Surveillance System.
International Journal of Epidemiology, 42 (4) : 1002-1011.

DELAUNAY V., LALOU R., 2012

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

**DONGMO A. L., DUGUÉ P.,
VALL E., LOSSOUARN J., 2010**

« Optimiser l'usage de la biomasse végétale pour l'agriculture et l'élevage au Nord-Cameroun ». *In : Savanes africaines en développement : innover pour durer,*
du 20 au 23 avril 2009,
Éditions Seiny-Boukar L. et Boumarda P.,
N'Djaména, Tchad/ Montpellier, Cirad, 10 p.

DUGUÉ P., 1985

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

**DUGUÉ P., VAYSSIÈRES J.,
CHIA E., OUEDRAOGO S., HAVARD M.,
COULIBALY D., NACRO H.B., SISSOKO F.,
SANGARE M., VALL E., 2012**

L'intensification écologique : réflexions pour la mise en pratique de ce concept dans les zones de savane d'Afrique de l'Ouest.
Actes du séminaire ASAP, Partenariat, modélisation, expérimentation : quelles leçons pour la conception de l'innovation et l'intensification écologique,
Vall E., Andrieu N., Chia E., Nacro H. B., éd.,
novembre 2011, Bobo-Dioulasso, Burkina Faso, 15 p.

**DUNCAN A. J., TARAWALI S.A., THORNE P. J.,
VALBUENA D., DESCHEEMAER K.,
HOMANN-KEE TUI S., 2013**

Integrated crop-livestock systems – a key to sustainable intensification in Africa.
Tropical Grasslands – Forrages Tropicales, 1 : 202-206.

**FALL-TOURÉ S., TRAORÉ E., N'DIAYE K.,
N'DIAYE N. S., SÈYE B. M., 1997**

Utilisation des fruits de *Faidherbia albida* pour l'alimentation des bovins d'embouche paysanne dans le bassin arachidier au Sénégal.
Livestock Research for Rural Development, 9 (5) : 1-17.

FAYE A., LANDAIS E., 1986

L'embouche bovine paysanne dans le centre-nord du bassin arachidier au Sénégal.

Cahiers de la recherche-développement en milieu rural, 9-10 : 113-120.

Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2003

Gestion de la fertilité des sols pour la sécurité alimentaire en Afrique subsaharienne.

Rome, FAO, Italie, 66 p.

FRESCHET G. T., MASSE D., HIEN E., SALL S., CHOTTE J. L., 2008

Long-term changes in organic matter and microbial properties resulting from manuring practices in an arid cultivated soil in Burkina Faso.

Agriculture, Ecosystems and Environment, 123 : 175-184.

JOUBE P., 2001

« Jachères et systèmes agraires en Afrique subsaharienne ».

In Floret C., Pontanier R. :

La jachère en Afrique tropicale.

Rôles, aménagement, alternatives.

De la jachère naturelle à la jachère améliorée, le point des connaissances.

Paris, IRD Éditions : 1-20.

LAHMAR R., BATIONO B. A.,

LAMSO N. D., GUÉRO Y.,

TITTONELL P., 2012

Tailoring conservation agriculture technologies to West Africa semi-arid zones: Building on traditional local practices for soil restoration.

Field Crops Research, 132 : 158-167.

LERICOLLAIS A., 1999

Paysans sereer. Dynamiques agraires et mobilités au Sénégal.

Paris, IRD Éditions,

coll. À travers champs, 681 p.

MANLAY R. J., 2001

Organic matter dynamics in mixed-farming systems of the West African savanna.

A village case study from South Senegal.

Thèse doctorale, École nationale du génie rural, des eaux et forêts, Montpellier, 192 p.

MANLAY R. J., ICKOWICZ A.,

MASSE D., FELLER C., RICHARD D., 2004

Spatial carbon, nitrogen and phosphorus budget in a village of the West African savanna— II. Element flows and functioning of a mixed-farming system.

Agricultural Systems, 79 : 83-107.

ODRU M., 2013

Flux de biomasse et renouvellement de la fertilité des sols à l'échelle du terroir. Étude de cas d'un terroir villageois sereer au Sénégal.

Thèse de master, Istom,

Cergy-Pontoise, 109 p.

RABOT C., 1990

Transfert de fertilité et gestion des terroirs, Quelques points de vue.

Les Cahiers de la Recherche-Développement, 25 : 19-32.

ROY R. N., MISRA R. V., LESSCHEN J. P., SMALING E. M., 2005

Évaluation du bilan en éléments nutritifs du sol. Approches et méthodologies.

Bulletin FAO engrais et nutrition végétale, 14, FAO, Rome, Italie, 85 p.

RUFINO M. C., HENGSDIJK H., VERHAGEN A. 2009

Analysing integration and diversity in agro-ecosystems by using indicators of network analysis.

Nutrient Cycling in Agroecosystems, 84 : 229-247.

RUFINO M. C., DURY J., TITTONELL P., WIJK M. T. V., HERRERO M., ZINGORE S.,

MAPFUMO P., GILLER K. E., 2010

Competing use of organic resources, village-level interactions between farm types and climate variability in a communal area of NE Zimbabwe.

Agricultural Systems, 104 (2) : 175-190.

SCHLECHT E., HIERNAUX P., 2004

Beyond adding up inputs and outputs: process assessment and upscaling in modelling nutrient flows.

Nutrient Cycling in Agroecosystems, 70 : 303-319.

**SCHLECHT E., HIERNAUX P.,
ACHARD F. O., TURNER M. D., 2004**

Livestock related nutrient budgets
within village territories in western Niger.
Nutrient Cycling in Agroecosystems, 68 :
199-211.

**SCHLECHT E., BUERKERT A.,
TIELKES E., BATIONO A., 2006**

A critical analysis of challenges
and opportunities for soil fertility restoration
in Sudano-Sahelian West Africa.
Nutrient Cycling in Agroecosystems, 76 :
109-136.

SERPANTIÉ G., OUATTARA B., 2001

« Fertilité et jachères en Afrique de l'Ouest ».
In Floret C., Pontanier R. :
La jachère en Afrique tropicale.
Rôles, aménagement, alternatives.
De la jachère naturelle à la jachère
améliorée, le point des connaissances.
Paris, IRD Éditions : 21-83.

**SMALING E. M. A., NANDWA S. M.,
JANSSEN B. H., 1997**

« Soil fertility in Africa is at stake ».
In Buresh R. J., Sanchez P. A.,
Calhoun F., eds : *Replenishing Soil Fertility*
in Africa, Wisconsin, ASSA, CSSA, SSSA :
47-61.

THORNTON P. K., HERRERO M., 2001

Integrated crop-livestock simulation models
for scenario analysis and impact assessment.
Agricultural Systems, 70 (2-3) : 581-602.

**TITTONELL P., LEFFELAAR P. A.,
VANLAUWE B., WIJK M.T. V.,
GILLER K. E., 2006**

Exploring diversity of crop
and soil management within smallholder
African farms: A dynamic model
for simulation of N balances
and use efficiencies at field scale.
Agricultural Systems, 91 (1-2) : 71-101.

**VANDERMEERSCH C.,
MARRA A., NDIAYE P., NDIAYE O.,
FAYE S., LEVI P., NAULIN A.,
EKOUVIDJIN E., 2013**

Rapport sur les enquêtes
« Culture élevage »,
« Ménage équipement »
et le « Suivi scolaire » :
document technique et axes de recherche.
IRD, Dakar, Sénégal, 270 p.

VAYSSIÈRES J., 2012

Modélisation participative et intégration
des pratiques décisionnelles d'éleveurs
dans un modèle global d'exploitation.
Thèse doctorale, Centre international d'études
supérieures en sciences agronomiques,
Montpellier, 179 p.

WANEKEM V., GANRY F., 1992

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

Audouin E., Vayssières J., Odru M., Masse Dominique, Dorégo S.,
Delaunay Valérie, Lecomte P.

Réintroduire l'élevage pour accroître la durabilité des terroirs
villageois d'Afrique de l'Ouest : le cas du bassin arachidier au Sénégal.

In : Sultan Benjamin (ed.), Lalou Richard (ed.), Amadou Sanni M. (ed.),
Oumarou A. (ed.), Soumaré M.A. (ed.). Les sociétés rurales face aux
changements climatiques et environnementaux en Afrique de
l'Ouest.

Marseille : IRD, 2015, p. 403-427. (Synthèses). ISBN 978-2-7099-2146-
6