

Ressources organiques et gestion de la fertilité du sol sur un terroir agro-pastoral de Casamance (Sénégal).

R. MANLAY¹, D. MASSE¹, M. DIATTA², M. KAIRE²

1. Programme Jachère ORSTOM BP. 1386 Dakar - Sénégal

2. Programme Jachère ISRA BP. 2312 Dakar - Sénégal

Résumé

L'amélioration de la gestion de la matière organique est une voie possible de l'intensification de la production agro-pastorale des espaces conjuguant agriculture et élevage en zone soudanienne. Cet article s'appuie sur une étude de cas d'un terroir agro-pastoral de Haute-Casamance (Sénégal) et une revue bibliographique. Il présente :

- les sources potentielles de production organique : biomasse aérienne et souterraine, herbacée et ligneuse, des cultures, des jachères et des forêts,
- les évolutions, contrôlées (alimentation humaine et animale, construction, énergie) ou non (incendie, activité faunique du sol) de la matière organique au sein du terroir.

La matière organique est conçue en tant que ressource à part entière, à la fois bien et moyen de production. Dans la région, la jachère est avec la fumure animale l'un des deux outils de gestion organique de la fertilité des sols. Le maintien ou la restauration de la fertilité par ces pratiques est considéré comme la conséquence de l'établissement d'un flux significatif de matière organique, et donc d'énergie et de minéraux, à travers la parcelle. L'originalité de l'étude tient également à ce qu'elle intègre les échelles de l'exploitation et du terroir, qui, seules, peuvent tenir compte des pratiques très collectives de la gestion des terres, des animaux et de la fertilité afférente.

Mots-clé : matière organique – flux – terroir agro-pastoral – fertilité du sol.

Organic matter resources and soil fertility management in a mixed farming system in West Africa.

Abstract

Improving organic matter management is a suitable way to intensify the agropastoral production in mixed farming systems of dry West Africa.

This article reviews :

- potential sources for organic matter production : above and below-ground, woody and herbaceous biomass produced in crops, fallows and woodlands,
- main roles of organic matter within the village, its evolution being strongly (human and animal feeding, building, heating) or weakly (fire, soil fauna activity) controlled.

Organic matter is an outstanding resource that should be regarded both as a commodity and means of production. Figures from a partial carbon balance led on an agropastoral village of High-Casamance (Senegal) are discussed in the light of previously explained concepts. In the region fallowing and livestock manuring during night tethering are the only two local tools for organic management of soil fertility. Doing so, it may be considered that peasants preserve or improve fertility by establishing a significant flow of organic matter - both energy and nutrients - through the land. Multiscale integration is a particular feature of this paper. Not only field scale can account for partly collective management of land, livestock and related fertility : farm and village scales are needed.

Key words : organic matter – flux – mixed farming systems – soil fertility.

Introduction

Cette étude s'intéresse à l'évaluation et à la gestion de la fertilité des sols au travers des bilans des matières organiques à l'échelle d'un terroir villageois.

Pieri (1989a) envisage la fertilité comme un jugement porté sur « *l'aptitude à produire d'un milieu dont on apprécie les diverses caractéristiques* ». Dans les espaces ruraux africains, les stratégies de gestion de l'espace résultent encore largement de choix collectifs ; la notion de fertilité doit alors être appréhendée à plusieurs échelles, de la parcelle à la petite région (Pichot, 1995). Les propos qui suivent concernent surtout la parcelle, l'exploitation et le terroir, abordé comme le territoire exploité par le village. La matière organique est ici comprise au sens large. Il s'agit de la matière vivante ou morte issue d'organismes et de tissus vivants.

La production végétale est la principale source de carbone et d'énergie d'un terroir. Elle est la première étape du processus de création de richesse par le paysan. Produite directement, commercialisable, elle peut aussi être réutilisée pour la création d'autres richesses (alimentation animale, fertilité du sol). A ce titre elle constitue une ressource.

La matière organique remplit des rôles essentiels et multiples en zone soudanienne. La vocation fondamentale est naturellement la satisfaction des besoins alimentaires des êtres humains (énergie et nutriments). Mais dans ces systèmes de culture vivrière encore largement autarciques, les productions fourragères du terroir constituent aussi la base de l'alimentation du bétail. Le bois satisfait 60 à 90% de la demande d'énergie domestique dans les pays des zones sahélienne et soudanienne ; et c'est encore la biomasse végétale qui est mise à contribution pour l'essentiel des constructions (toits, torchis, clôtures, ...) (Anonyme, 1991b ; Bréman et Kessler, 1995). Dans le sol, la matière organique a un rôle agro-écologique fondamental largement reconnu (Duchaufour, 1988 ; Morel, 1989 ; Mussy et Soutter, 1991 ; Anderson, 1995 ; en Afrique tropicale : Lal et Kang, 1982 ; Pieri, 1989a ; van Wambeke, 1991) :

- stimulation de l'activité biologique qui y puise son énergie,
- source directe et indirecte d'éléments nutritifs pour les êtres vivants,
- amélioration de certaines propriétés physiques et chimiques du sol.

Dans les sols ferrugineux à argile de type kaolinite de la zone soudanienne, la présence de matière organique est particulièrement importante pour la conservation de sols à texture grossière, sensibles à un climat agressif (Roose, 1983 ; Michels *et al.*, 1995a, 1995b), et pour leur statut minéral, en raison de l'inexistence du complexe argilo-humique (Pichot, 1975 ; Fernandez et Sanchez, 1990). Une telle importance doit aussi être comprise par un contexte technico-économique défavorable : le faible recours aux intrants (énergie, engrais, pesticides) ramène la fertilité de la parcelle à sa composante organique essentiellement (Swift et Wooster, 1993). La Matière Organique du Sol (MOS) rassemble un *continuum* de formes vivantes et mortes allant du résidu végétal frais aux substances humiques associées ou non à des particules minérales (Morel, 1989). Elle est un compartiment presque incontournable en ce qui concerne le recyclage des éléments minéraux et la redistribution de l'énergie, comme l'illustre la figure 1. En raison de la diversité de ses formes biochimiques, il existe des méthodes très diverses de caractérisation de la MOS en tant qu'indicateur de la fertilité du sol (Swift et Wooster, 1993 ; Feller, 1995). Crétenet (1995) et Palm (1996) s'interrogent sur la pertinence du seul taux de carbone comme indicateur de la fertilité des terres tropicales, quoiqu'il soit assez fiable en zone tempérée. C'est que le stock de MOS traduit un équilibre toujours temporaire entre facteurs de son élaboration (comme l'humification) et ceux qui concourent à sa minéralisation (Swift et Wooster, 1993). En milieu tropical, le climat, l'activité biologique, le passage du feu et la texture dans le cas de sols sableux, maintiennent un équilibre du stock organique très bas, même dans les écosystèmes non anthropisés (Moureau, 1967 ; Jones et Wild, 1975 ; Menaut *et al.*, 1985). L'agronome attribue en général aux apports organiques deux objectifs difficilement conciliables : fourniture d'éléments nutritifs à la culture (qui suppose donc minéralisation), et augmentation du taux de matière organique du sol pour en améliorer certaines propriétés physiques et chimiques (de Ridder et van Keulen, 1990). Le taux de matière organique est en fait un concept statique insuffisant en milieu tropical. Pour pouvoir rendre compte de la productivité de l'écosystème, le statut organique d'un sol doit être abordé en terme de flux et non de simple stock. L'importance du flux minéral dans les systèmes cultivés est depuis longtemps reconnue. La productivité paradoxale des savanes naturelles sur des sols pauvres repose largement sur l'efficacité des systèmes conservatoires des minéraux (Myers *et al.*, 1994 ; Abbadie *et al.*, 1996). Ces systèmes permettent la reprise rapide des nutriments perdus par la végétation lors de la sénescence, qui sont ainsi rapidement soustraits aux « puits » biotiques (humification, mobilisation dans les tissus de la microflore et de la mésofaune du sol) et

abiotiques (lessivage, érosion, volatilisation). De tels systèmes sont détruits avec la mise en culture de la savane. La nécessité thermodynamique, pour le fonctionnement correct d'un sol, du flux énergétique engendré par la matière organique est, elle, généralement sous-estimée (Perry *et al.*, 1989 ; Lemieux, 1997). Ce flux énergétique entretient le métabolisme de la microflore et de la mésofaune du sol. Il maintient indirectement l'organisation spatio-fonctionnelle de ces différents groupes biologiques, qui conditionne très largement la fertilité physique et chimique des sols ferrugineux sableux (Chotte *et al.*, 1995). Le maintien de la production des systèmes cultureux passe par la stabilisation des flux énergétiques et minéraux. En l'absence d'intrants exogènes, les sources de ces flux doivent être organiques et leur bonne gestion est impérative. Il est important de bien distinguer deux conceptions de la matière organique, qui est à la fois moyen de production et bien de consommation. Ainsi, l'utilisation de la matière organique en tant que moyen de production (fertilité du sol, alimentation des animaux, frein à l'érosion) doit permettre d'augmenter sa disponibilité en tant que bien de consommation : biomasse des cultures commercialisable (grains et résidus), produits forestiers, animaux et productions non carnées.

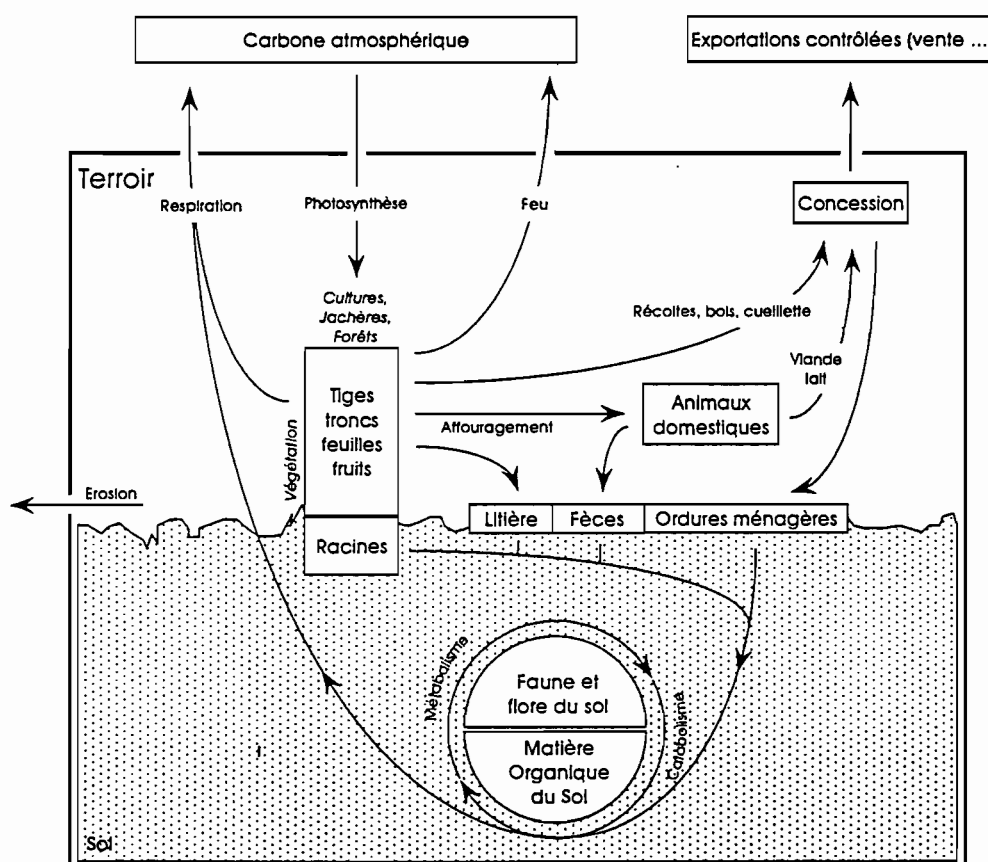


Figure 1. Représentation fonctionnelle de la dynamique du carbone à l'échelle du terroir

L'étude menée en Haute-Casamance sur un terroir agropastoral a pour objet de caractériser :

- certains stocks de matière organique en fin de saison des pluies,
- les flux de matière organique qui s'établissent depuis les différentes sources à l'échelle du temps et de l'espace.

La justification de cette approche repose sur l'hypothèse que l'intensité et les modes d'exploitation des ressources organiques déterminent le niveau et la durabilité de la production agricole d'un agrosystème.

En raison de la faiblesse des moyens de transport, de la présence de prédateurs et de la rareté des points d'eau, les terroirs d'Afrique subtropicale présentent une organisation spatiale concentrique décrite par Pélissier (1966), Lericollais (1993) et Fanchette (1996) au Sénégal, et Prudencio (1993) au Burkina Faso. Différentes auréoles se distinguent généralement selon que l'on s'éloigne du village (figure 2) : les champs de case permanents, les champs de brousse associés à des jachères courtes, les forêts et les jachères longues. Le troisième objectif de cette étude était la vérification de l'existence d'une structuration foncière capable de régir la localisation des stocks organiques et l'orientation des flux afférents.

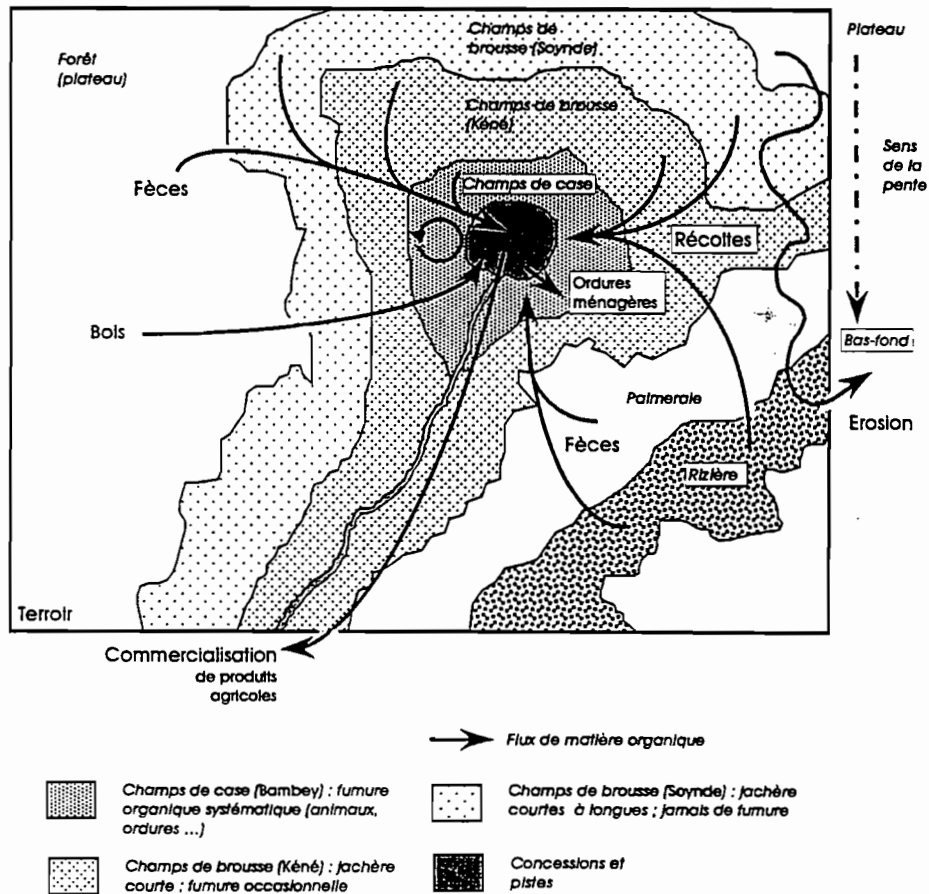


Figure 2. Organisation spatiale des transferts organiques sur le terroir

Matériel et méthodes

Présentation du milieu

Sare Yorobana, terroir de Haute-Casamance (12°49'N - 14°53'O), est situé en climat de type soudanien, tropical sec à saisons contrastées (pluviométrie annuelle moyenne sur les 20 dernières années : 1000 mm, répartis de mai à octobre). Le relief peu accusé permet de distinguer trois grandes unités agro-pédologiques (Anonyme, 1991a) : plateau à sol ferrugineux lessivé occupé par les forêts claires, les jachères et les cultures de brousse ; glacis à sol rouge à jaune sableux, sur lequel est en général installé le village et les cultures permanentes ; bas fond à sol

hydromorphe peu humifère, constitué d'une palmeraie et d'une rizière. Les vastes surfaces encore boisées du plateau donnent au paysage les apparences d'un front pionnier. L'activité est une agriculture diversifiée (céréales sèches et inondées, arachide) étroitement associée à un élevage extensif sédentaire. Ce terroir, Peul, n'est bien sûr représentatif que d'une partie des villages soudanais.

Approche parcellaire

Les données qui ont permis d'établir le bilan de matière organique ont été récoltées entre 1994 et 1996. Quatre parcelles de mil peu à bien fumées, six parcelles d'arachide et huit parcelles de jachères âgées de 2 à 30 ans, ont fait l'objet de mesures de biomasse aérienne (grains, pailles, adventices sur les cultures, biomasse ligneuse et herbacée et litière sur les jachères), de biomasse racinaire (par cylindres et blocs sur une profondeur de 40 cm), et de MOS. Ces mesures se sont faites lors du maximum de production végétale en fin de saison des pluies, sur quatre placeaux de 16 m² chacun par cultures et un transect de 20 m × 0,50 m en jachère. Kaïre (1996) a estimé les biomasses produites dans des jachères de différents âges. Cette estimation a été effectuée sur la base d'un inventaire dendrométrique sur une surface donnée. Des tarifs de biomasse préalablement établis ont permis d'estimer la phytomasse aérienne.

Approche terroir

Au niveau des exploitations et du terroir, un lever parcellaire a été réalisé sur la zone cultivée et les jachères, avec l'aide d'un théodolite, d'une boussole et d'un topofil. Pour chacune des parcelles répertoriées, des enquêtes ont permis d'estimer les productions de grains et de caractériser l'intensité de parcage bovin (produit nombre d'animaux par le nombre de jours parqués). A partir des relations établies entre les compartiments organiques à l'échelle parcellaire, nous avons pu estimer les productions de biomasse pour le mil et l'arachide. La même estimation a été faite sur l'espace des jachères en fonction de leur âge. Les effectifs bovins du terroir sont ceux comptabilisés par le Programme Alimentation du Bétail Tropical (ABT, ISRA/CIRAD-EMVT). Ce bilan est partiel. Il exclut : les cultures de maïs et de sorgho (environ 10% de la surface cultivée), les zones n'ayant pas été cultivées depuis plus de 17 ans, la rizière et la palmeraie, les souches de ligneux dans les jachères.

Résultats

Organisation spatiale du terroir

Le tableau 1 indique la distance moyenne des cultures aux concessions. Les céréales comme le mil et le maïs (cultures vivrières) sont à proximité du village, tandis qu'arachide et jachères sont rejetées en périphérie. Cette différenciation spatiale est liée avec le mode de gestion organique de la fertilité. Ainsi, la figure 3 illustre la complémentarité entre parcage animal et mise en jachère observée par les paysans. Les parcelles les plus fumées ne connaissent pas la jachère, tandis que les champs fréquemment laissés au repos bénéficient rarement du parcage des bovins en saison sèche.

Tableau 1. Distances moyennes des parcelles cultivées par type de culture (en mètres). Moyenne sur 18 exploitations

	Mil-maïs	Maïs	Mil	Sorgho	Arachide	Toutes cultures	Jachère
Moyenne	175	309	387	469	748	537	748
Ecart-type	152	140	170	245	263	146	288
C.V.	0.87	0.45	0.44	0.52	0.35	0.27	0.39

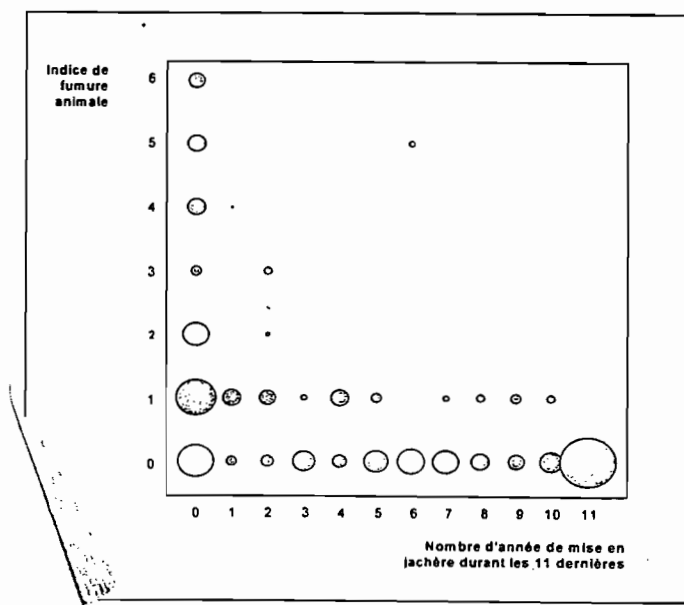


Figure 3. Complémentarité entre pratiques de jachère et de fumure animale. Les aires des cercles sont proportionnelles à la somme des aires des parcelles pour lesquelles on disposait d'une information fiable sur la durée de jachère et l'indice de fumure

Bilans organiques à l'échelle parcellaire

Les résultats obtenus sur les cultures de mil (champs de case) ont été synthétisés dans le tableau 2. La biomasse végétale produite représente entre 6,8 et 14,7 t.ha⁻¹ de matière sèche (MS) dont 70% venant des pailles et des adventices (de 5 à 10 t.ha⁻¹). Le parcage permet d'augmenter les rendements en grain (environ 30%) mais surtout de doubler ceux en résidus. Il affecte légèrement la biomasse racinaire. La production aérienne des adventices est également importante : 0,3 t.ha⁻¹ sur une parcelle non fumée et 1,3 t.ha⁻¹ sur parcelle fumée.

Tableau 2. Valeurs de quelques compartiments organiques sur champs de mil permanents (en tMS.ha⁻¹). Le stock de MOS est exprimé en tMO.ha⁻¹ et est obtenu à partir du stock de carbone du sol par application du coefficient 1,72

Compartiments		Champs permanents fumés	Champs permanents peu fumés
Racines (dia < 2 mm)		1,1	0,7-0,8
Racines (dia > 2 mm)	(souches)	0,0-4,0	0,0-4,0
Pailles et adventices		10,9-11,1	4,7-6,7
Grains		0,9-1,2	1,5-1,6
Fèces animaux	parcage	0,0 < < 7,0	0,0
	divagation	0,6	0,6
Matière organique du sol		34,7-36,3	32,3-37,7

Le tableau 3 indique les valeurs mesurées pour certains compartiments des cultures d'arachide et de jeunes jachères (champs de brousse). L'arachide produit relativement peu de biomasse : entre 3,4 et 7,1 t.ha⁻¹ dont 50% de pailles et d'adventices. La biomasse racinaire fine, de 0,6 à 0,7 t.ha⁻¹, est deux fois moins élevée que celle des jachères jeunes, qui de plus stockent environ 6 t.ha⁻¹ de racines plus épaisses d'origine ligneuse. Les jeunes jachères ont une biomasse aérienne d'environ 25 t.ha⁻¹. Le stock de carbone végétal est au total 5 à 10 fois plus élevé dans la jeune jachère que dans la parcelle d'arachide qui lui suit en rotation.

Le même tableau rassemble les estimations faites sur les stocks des jachères de durée moyenne (4 à 6 ans) et longues (plus de 6 ans). Les données de Kaïre (1996) utilisées rappellent la progression nette de la biomasse aérienne ligneuse dans les jachères. Il en est de même de la biomasse racinaire fine, qui augmente avec l'âge de jachère, passant de 1.5 à 3.5 t/ha, et avec les racines plus épaisses : augmentation de 5.7 à 18.9 t/ha en 30 ans. La biomasse herbacée varie de 6 à 9.5 t/ha dans les jachères de moins de 6 ans à moins de 2 t/ha dans les plus vieilles. Les stocks de carbone du sol ne semblent, eux, pas évoluer avec la mise en jachère.

Tableau 3. Valeurs de quelques compartiments organiques sur champs de brousse et jachères (en tMS.ha⁻¹). nd : non déterminé. Le stock de MOS est exprimé en tMO.ha⁻¹ et est obtenu à partir du stock de carbone du sol par application du coefficient 1,72

Compartiment	Diamètre (racines)(mm)	Champs de brousse		Jachère de		
		(arachide)		courte durée	moyenne durée	longue durée
Strate ligneuse		-		20,0	25,0-28,0	37,0-40,0
Strate herbacée		-		6,0	3,3-9,5	1,0-2,1
Grains		0,7-1,2		-	-	-
Racines de diamètre	0 à 2	0,4-0,8		1,5	1,5-2,5	3,1-4,5
Racines(grosses)	supérieur à 2	0,0-4,0		-	-	-
	2 à 10	-		0,7	1,0-4,5	2,9-5,7
	supérieur à 10	-		5	3,6-8,9	10,2-18,2
Litière		-		0,6	2,8-3,0	1,2-3,9
Résidus de culture		1,8-3,4		-	-	-
Fèces animaux		0,0-0,6		0,0-0,6	nd	nd
Matière organique du sol		30,8-38,2		35,1	44,8-45,8	34,8-41,4

Etat de la ressource en carbone au niveau terroir

Les parcelles de mil ont produit en 1996 un peu moins de 600 t de matière organique (13.6 t.ha⁻¹), sans tenir compte de la matière soustraite à la sole avant les récoltes (tableau 4). Les tiges et feuilles de mil ont contribué pour plus de 80% au bilan, suivi par les épis (8%, exportés du champ dès récolte), les racines (5%) et les adventices (4%). L'arachide a représenté, pour une superficie équivalente, un bilan beaucoup plus bas de près de 150 t. Cette différence est essentiellement liée aux performances de l'appareil aérien des cultures. Les fanes représentaient, à superficie équivalente, 10% du poids des tiges de mil, et 37% du carbone stocké sur la sole. Les adventices comptaient pour 27% du bilan, les gousses pour 18% et les racines 11%. Sur le mil, on peut estimer qu'à la récolte les exportations étaient de 48 t (8% du stock). Sur l'arachide elles étaient d'environ 70 t (gousses, tiges, 10% des feuilles et 20% des racines - proportions estimées), soit un retrait de 50% du stock en place. Au total, ce sont donc, par le mil et l'arachide, environ 120 t qui arrivent aux concessions grâce aux récoltes.

Tableau 4. Estimation des productions de biomasse des soles de mil et d'arachide en 1996. Moyennes calculées sur 18 concessions

	Stocks (en tMS)						Rendement grain (en tMS/ha)
	Epis	Grains	Pailles	Adventices	Racines	Total	
Mil							
Terroir	45	29	460	20	30	555	0.66
Moyenne	2.47	1.60	25.57	1.13	1.64	30.8	0.70
Ecart-type	1.37	0.89	14.17	0.63	0.95	17.1	0.18
Coeff. de var.	0.55	0.55	0.55	0.55	0.58	0.6	0.26
Arachide							
Terroir	25	18	52	38	26	141	0.41
Moyenne	1.38	1.00	2.88	2.12	1.50	7.8	0.33
Ecart-type	1.44	1.04	2.52	1.86	1.22	6.8	0.19
Coeff. de var.	1.04	1.04	0.87	0.88	0.82	0.9	0.58

Le bilan sur les parcelles de jachères de moins de 17 ans, qui représentent en 1996 100 ha, soit l'équivalent de la surface cultivée, est donné au tableau 5. On observe que près de 60% de la biomasse herbacée se trouve dans les jachères de moins de 3 ans. Ces jeunes jachères, parties intégrantes de l'aire de culture, stockaient 24% de la biomasse herbacée (mil, arachide et jeunes jachères), et 97% de la biomasse ligneuse (grands arbres des cultures exclus) de l'espace cultivé. Les jachères jeunes concentraient 19% de la biomasse ligneuse des jachères de moins de 17 ans, sur 30% de la superficie. Les jachères de plus de 6 ans renfermaient 78% de la biomasse ligneuse aérienne et 88% des racines. Les jachères stockent en moyenne 10 fois plus de biomasse que les cultures, cette différence étant surtout attribuable à la biomasse ligneuse aérienne.

Tableau 5. Estimation des stocks de matière organique dans les jachères par classe d'âge de jachère et par compartiment sur l'ensemble du terroir (à l'exclusion de la biomasse racinaire située sous 40 cm de profondeur, de la macrofaune du sol et de la MOS du sol) (en tMS.ha⁻¹)

Age de jachère	1-3 ans	4-6 ans	Plus de 6 ans	Total
Biomasse herbacée	210	10	140	360
Biomasse ligneuse	720	110	3130	3960
Litière	70	10	140	220
Racines	130	40	1150	1320
Total	1130	170	4560	5860

Utilisation de la ressource : exemple de l'articulation entre agriculture et élevage bovin

Un bilan agro-pastoral simplifié a pu être effectué sur le terroir de Sare Yorobana et est présenté au tableau 6. Si en première approximation on considère qu'une UBT consomme 2,3 t de MS par an et que toute la biomasse herbacée produite dans l'année est appétable (ce qui est sans doute loin d'être le cas) le stock herbacé produit permettrait de nourrir près de 240 UBT pour les cultures, et 155 dans les jachères, soit un total maximal de 395 UBT. Dans des hypothèses idéales, il semble que cette ressource ne suffise pas aux besoins du troupeau du terroir (454 UBT en mars 1996 ; source : ABT). En réalité toute cette production n'est pas disponible pour le troupeau bovin comme on le verra plus loin. Le tableau 6 fait l'hypothèse que la production de fèces est constante et établit le bilan de fumure théoriquement le meilleur (pas de dépôt de fèces en dehors des cultures). Dans des conditions idéales le troupeau suffit à peine à fumer correctement la superficie de mil et de maïs. Il y a cependant d'énormes disparités entre exploitations, certaines pouvant fumer 4 fois la surface de mil et de maïs cultivée par la concession, tandis que d'autres n'ont aucune source de fumure animale.

Tableau 6. Bilan agro-pastoral par concession. Les conventions suivantes ont été adoptées : 1 UBT = 250 kg de poids vif. Production journalière de fumier : 2.52 kgMS/UBT/jour (source : ABT). Apport annuel minimal de fèces nécessaire pour une culture de céréale (mil ou maïs) : 5t.ha⁻¹(de Ridder et van Keulen, 1990; Schleich, 1986)

Concession	Nombre d'UBT		Taux d'autosuffisance fourragère [(1)/(2) x 100]	Surface de mil (3)	UBT par ha de mil et/ou maïs	Fèces produits (en tMS/s. sèche)	Surface maximale fumable (4)	Taux d'autosuffisance de fumure bovine [(4)/(3) x 100]
	maximum supportables (1)	Disponible (2)						
1	27.4	77.0	36	6.7	11.6	40.8	8.2	122
2	17.2	98.6	17	3.4	29.3	52.2	10.4	310
3	11.1	65.3	17	1.5	43.1	34.6	6.9	456
4	4.1	0.7	572	0.6	1.1	0.4	0.1	12
5	11.8	4.7	250	2.7	1.8	2.5	0.5	19
6	26.2	46.5	56	6.2	7.5	24.6	4.9	79
7	13.7	32.8	42	2.6	12.5	17.3	3.5	132
8	12.7	6.5	196	2.4	2.7	3.4	0.7	28
9	3.9	5.6	70	0.9	5.9	3.0	0.6	63
10	15.2	4.4	348	3.9	1.1	2.3	0.5	12
11	8.7	4.6	189	1.5	3.1	2.4	0.5	33
12	9.6	0.0		2.7	0.0	0.0	0.0	0
13	17.8	42.4	42	2.8	15.1	22.4	4.5	160
14	12.1	18.8	64	1.9	9.9	10.0	2.0	105
15	15.0	4.4	345	3.1	1.4	2.3	0.5	15
16	1.7	6.9	24	0.0	0.0	3.7	0.7	
17	20.7	10.4	198	2.8	3.8	5.5	1.1	40
18	9.3	24.6	38	1.8	13.9	13.0	2.6	147
Terroir	238.2	454.2	52	47.4	9.6	240.4	48.1	101
Moyenne	13.2	25.2	147	2.63	9.63	13.35	2.67	102
Ecart-type	7.00	29.5	157	1.70	11.39	15.60	3.12	121
CV	0.53	1.17	1.07	0.64	1.18	1.17	1.17	1.18

Les termes du bilan organique du terroir sont récapitulés en figure 4. Ils servent de base à la discussion qui suit et dans laquelle sont précisées les sources ayant permis d'estimer les valeurs des stocks ou flux qui n'ont pu être mesurés sur le terrain.

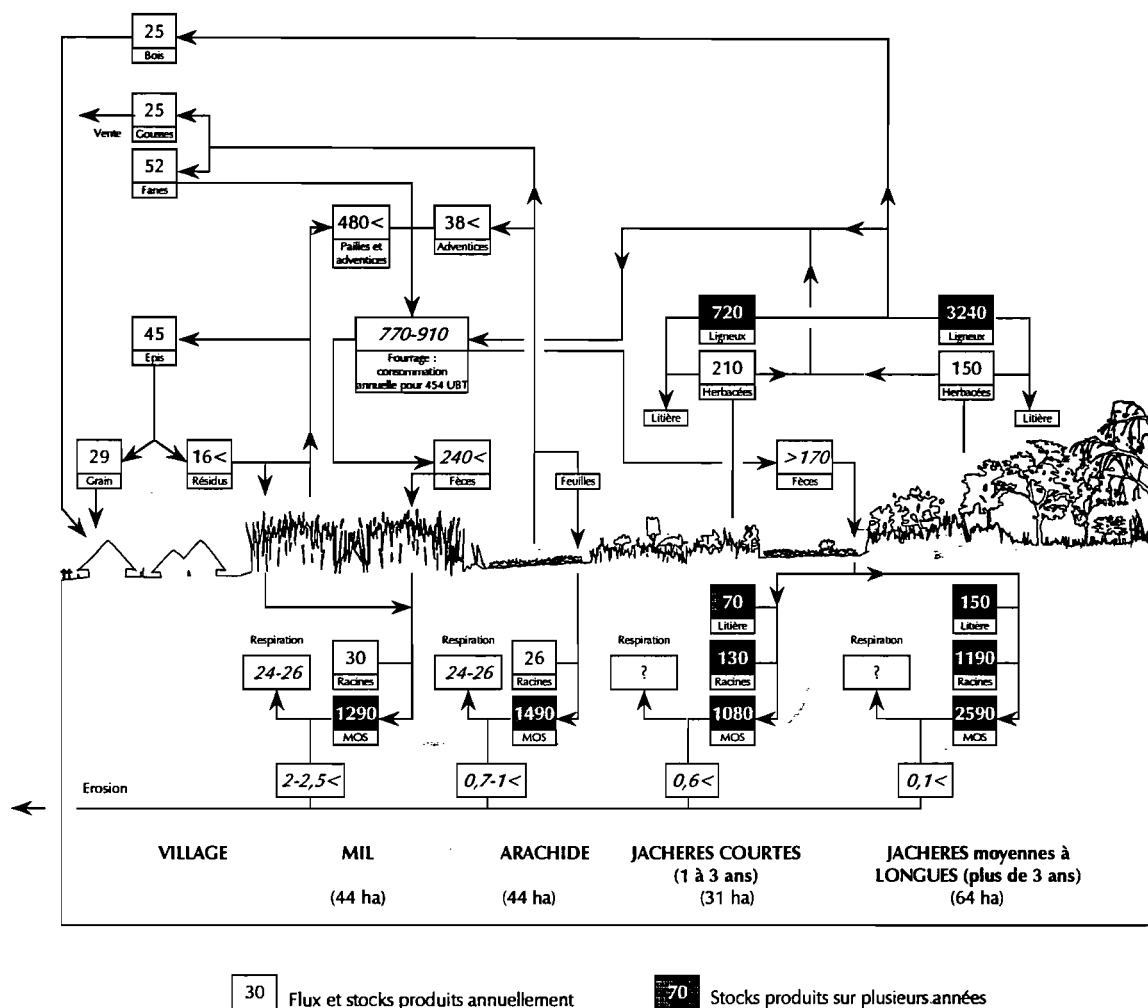


Figure 4. Bilan de carbone partiel à l'échelle du terroir : récapitulatif chiffré. Les chiffres en italiques sont des estimations effectuées à partir de sources bibliographiques.

Discussion

Constitution de la ressource organique

L'existence d'une spécialisation dans la gestion des terres (choix de la culture, mode de fertilisation) suivant leur distance au village permet d'établir une typologie des parcelles suivant trois ensembles concentriques autour du village.

L'auréole des champs de case

Principalement consacrés aux systèmes de productions vivrières, les champs de case bénéficient d'une gestion paysanne active de la fertilité, par la fumure animale aussi fréquemment que l'autorise l'effectif du troupeau, et par l'apport d'ordures ménagères. Cette attention de la part du paysan, et la proximité de ces cultures par rapport au village, sont liées au rôle de sécurisation alimentaire attribué aux champs de case. Une autre fonction organique de cette auréole céréalière est l'alimentation des animaux domestiques pendant la saison sèche. La

quantité de résidus laissés par les cultures est variable suivant les espèces. Berger (1996) estime ainsi qu'un hectare de maïs produit en moyenne une tonne de matière sèche de paille, contre 6 tonnes au sorgho.

Les entrées organiques pilotent le niveau et la durabilité de la productivité des champs de case. Elles sont ici nombreuses mais finalement assez endogènes à l'auréole. Les apports peuvent être directs :

- décomposition des racines des cultures. Chopart (1980) et Pieri (1989a) rapportent des stocks à la récolte de 0,3 t.ha⁻¹ pour le mil et le maïs, et de 1 t.ha⁻¹ pour le sorgho,
- incorporation des pailles par le piétinement des animaux et l'activité faunique du sol.

Les entrées peuvent aussi provenir des ordures ménagères (cuisines, constructions, ...) et des fèces des animaux. Ces derniers redistribuent la matière organique dans la zone cultivée. Cependant, dans la mesure où les bovins sont maintenus hors de l'espace agricole en saison des pluies et que la valeur fourragère des résidus de culture est supérieure à celle des parcours en saison sèche, les transferts de fertilité entre les parcours naturels et les cultures sont actuellement encore limités (Richard *et al.*, 1991). De plus, la disponibilité en fumure bovine est très variable entre concessions.

L'intensité du parage et au besoin l'utilisation d'engrais minéraux orientent le choix entre des cultures très exigeantes (maïs), moyennement exigeantes (mil) et peu exigeantes (sorgho) en matière de qualité du sol. La hiérarchisation des différents flux de matière organique en fonction de leur volume est malaisée. Par exemple, la quantification de la production racinaire est difficile et les mesures de stocks de fin de saison sèche n'en sont que des sous-estimations (Vogt *et al.*, 1996). Il en est de même pour la quantité de matière organique directement prélevée par la faune et la flore du sol sur les résidus. Les flux d'origine animale sont en revanche mieux connus et discutés plus loin. Ces flux sont les seuls vraiment maîtrisables par le paysan, dans cette auréole.

La ceinture des champs de brousse et des jachères jeunes

Les champs de brousse supportent en général des cultures de rente (arachide ou coton dans la région), en rotation avec des céréales (mil ou sorgho) sur les meilleures terres, avec une jachère courte sinon. La fumure animale est temporellement et spatialement limitée dans cette zone. Elle dépend du nombre des animaux et de leur conduite. En raison de la faiblesse quantitative ou qualitative de la ressource fourragère (les fanes d'arachides sont retirées, les feuilles de cotonniers sont toxiques), il peut s'agir d'un parage de fin de saison sèche, préparant par exemple une culture céréalière. En réalité, c'est surtout la pratique de la jachère qui assure le flux positif de matière organique au système des champs de brousse. Lors de la remise en culture, les restitutions organiques des parties aériennes au sol sont faibles, en raison de la fréquence des incendies et de la pratique du brûlis ; mais la constitution, par les racines ligneuses, d'un stock organique exploité progressivement par les cultures, explique sans doute largement la restauration de la fertilité. Herbacées et ligneux n'ont pas le même intérêt énergétique dans la reconstitution de la fertilité du sol, puisque les arbres dirigent vers le sol 70 à 80% de l'énergie lumineuse convertie, contre 10 à 20% chez les graminées (Lemieux, 1997).

Jachères longues et forêt

Cet ensemble, lorsqu'il existe encore, n'est pas totalement déconnecté de l'espace agricole. Cependant, la présence de jachères âgées ne reflète pas seulement des problèmes de fertilité des parcelles mais aussi des modifications des pratiques agricoles (Fanchette, 1996). Dans le contexte démographique dynamique de la région, ces espaces représentent la principale réserve foncière de terres valorisables par l'agriculture.

Il est indéniable que la défriche, tout comme les feux tardifs, constitue un gaspillage de la ressource organo-minérale accumulée en phase de jachère. La remise en culture s'accompagne en général du brûlis de la majorité de la biomasse aérienne, à l'exception du bois de chauffe ou d'œuvre, rapporté au village selon la disponibilité en combustibles naturels. Indépendamment des pertes minérales directes (azote et soufre) ou indirectes par lessivage et érosion pour le potassium, le magnésium et le sodium (Juo et Manu, 1996), le brûlis est aussi un gâchis énergétique soustrayant au système l'énergie des rameaux et des feuilles et dont on commence seulement à prouver l'intérêt pour la conservation des sols tropicaux (Aman *et al.*, 1996). Etant données les pratiques actuelles de remise en culture des jachères, c'est bien la biomasse racinaire qui assure l'essentiel des restitutions organiques et donc énergétiques à la culture suivante.

Les jachères jeunes ont une forte biomasse herbacée : 3,5 à 9 t.ha⁻¹.an⁻¹ au Burkina Faso (Fournier, 1996) ; 2 à 10 t.ha⁻¹ au Sénégal (Charreau et Nicou, 1971) ; 7 t.ha⁻¹ en savane arbustive plus humide (Lamotte et Bourlière, 1978). Les jachères plus anciennes développent leur strate ligneuse et, au bout d'une dizaine d'années n'ont plus qu'une biomasse herbacée de moins de 2 t.ha⁻¹. La valeur pastorale des vieilles friches et des forêts est médiocre : les ligneux des jachères interviennent peu dans le régime alimentaire des animaux en saison sèche (Delacharlier, 1994), et la qualité et la quantité de biomasse herbacée y est faible.

Le bois est une ressource organique importante des jachères et des forêts. La production maximale (c'est à dire correspondant à des savanes gérées) est estimée à 2 ou 3 m³.ha⁻¹.an⁻¹ en zone soudanienne (Catinot, 1994). La productivité ligneuse des savanes naturelles non protégées n'a guère de sens tant sont nombreux les facteurs pouvant l'influencer : feu, pâturage, coupes sauvages.... Lamotte et Bourlière (1983) rapportent une productivité de 1.5 t.ha⁻¹.an⁻¹ dans un savane indienne. A titre indicatif, Kaïre (1996) a mesuré une biomasse ligneuse de 20 t.ha⁻¹ sur jachère non protégée de un an. Un stockage proche du maximum était atteint dès 10 ans avec 40 t.ha⁻¹, ce qui donne une production apparente annuelle moyenne de 4 t.ha⁻¹.

Aperçu des différentes utilisations de la ressource organique

Bien que les processus biophysiques pilotant la dynamique du carbone se perpétuent en saison sèche, l'essentiel de la ressource – et en particulier celle aisément gérable par l'homme, c'est à dire la biomasse aérienne – se constitue en saison des pluies. Elle est maximale en début de saison sèche. La ressource organique subit des transformations multiples, plus ou moins contrôlables.

Alimentation humaine

Il s'agit de la fonction prioritaire de la ressource dans les systèmes vivriers. L'homme constitue en fait un véritable puits à matière organique, car dans ces régions le recyclage des fèces humains est rarement pratiqué pour diverses raisons d'ordre non technique. Aucune étude n'existe à notre connaissance sur les valeurs de ces flux, mais il est évident qu'ils ne sont pas négligeables lorsque le nombre de bovins par habitant est faible.

Alimentation animale

Cette alimentation se fait habituellement sur parcours naturels (forêts, savanes, jachères et chaumes) en saison des pluies, et principalement sur les champs récoltés de la zone en saison sèche (Richard *et al.*, 1991). La prise de matière par animal est importante. Landais *et al.* (1993) l'estiment à 2,3 tMS.an⁻¹.UBT⁻¹ pour les bovins. Fernandez-Rivera *et al.* (1994) retiennent un niveau d'ingestion de 1,7 à 2 tMS.an⁻¹.UBT⁻¹, de 0,3 à 4 tMS.an⁻¹.UBT⁻¹ pour les moutons et de 0,3 tMS.an⁻¹.UBT⁻¹ pour les chèvres. L'ingestion et la digestibilité dépendent de la qualité du fourrage, de l'état physiologique de l'animal et du climat. C'est pourquoi les meilleurs gains de poids sont observés en fin de saison des pluies.

La production fécale des animaux a fait l'objet d'estimations variables. Fernandez-Rivera *et al.* (1994) l'estiment entre 0,79 et 0,93 t.an⁻¹ pour les bovins, 0,15 et 0,18 t/MSan⁻¹ pour les moutons et 0,2 à 0,4 t/MSan⁻¹ pour les chèvres. Berger (1996) retient le chiffre de 0,6 tMS.an⁻¹.UBT⁻¹. En saison sèche Ickowicz (comm. pers.) a pu mesurer sur le terroir une production de 2,5 kgMS.j⁻¹.UBT⁻¹. Il semble que pour une offre fourragère non limitante la production de bouses soit plus élevée en saison sèche qu'en saison des pluies.

Sur le terroir, la gestion individualiste actuelle de la fumure ne correspond pas forcément à un optimum pour le terroir, car le rendement sur mil ne répond pas linéairement à la fumure animale au delà de 5 t.ha⁻¹.an⁻¹ (Bationo et Mokwunye, 1991). Avec le système de la vaine pâture les gros propriétaires s'approprient une partie de la production végétale réalisée par les petits propriétaires. Ils valorisent cette production sous forme d'augmentation du cheptel et de la capacité à fumer leurs terres. Ainsi, l'inégalité des moyens de production et des richesses s'entretient d'elle même. Dans un espace encore assez ouvert comme celui de la région de Kolda, l'existence de la vaine pâture n'est pas une condition nécessaire à l'entretien des inégalités entre concessions, inégalités qui existent sans doute aussi entre villages. Tel n'est plus le cas lorsque la ressource en vient à se raréfier. Le maintien de gros troupeaux suppose alors plusieurs scénarios liés à l'évolution des rapports de force entre producteurs et utilisateurs de la ressource organique : développement de contrats de fumure, augmentation de la ressource fourragère, renvoi des troupeaux en dehors de l'espace villageois sans retour en saison sèche.

Le bois

La consommation annuelle de bois de chauffe pour une personne est estimée à 0.7 m³ en zone soudanienne (Sow, 1990) et à au moins 5 à 6 kg par foyer et par jour sur le terroir de Sare Yorobana (Kaïre, 1996). Pour l'ensemble du village, ceci correspondrait à une consommation annuelle de 25 t de MS, biomasse ligneuse stockée sur pied par un hectare de jachère âgé. A ces besoins il faudrait ajouter la consommation de bois pour la construction. Cette même construction fait aussi appel aux résidus de culture (palissades) et aux graminées sauvages (pailles de toiture).

Pertes non contrôlées

Dans la jachère, nous avons vu que le substrat carboné utilisé est sans doute surtout issu des exsudats racinaires et des racines mortes. En zone cultivée, il s'agit des racines de la culture et de la matière végétale non consommée, comme les pailles et des fèces des animaux. En raison du piétinement et de la souillure engendrée par le passage des bovins, une bonne partie des résidus n'est pas consommée par les animaux (Quilfen et Milleville, 1983). Toute cette biomasse est sans doute activement recyclée par les termites, du genre *Microtermes* en zone de culture, jusqu'en fin de saison sèche. A cette époque les paysans brûlent les résidus subsistants, qui gênent le travail de préparation du champ. L'effet de l'incorporation de ces différents types de matériaux organiques sur le statut organique du sol varie suivant leur nature chimique. Diouf (1990) constate que le simple parcage n'entraîne pas d'augmentation du taux de MOS. Seul le fumier, mélange de bouses et de paille, semble l'améliorer (Pieri, 1989a ; Bacye, 1993). Ceci s'explique sans doute plus par un ralentissement de la cinétique de décomposition que par une augmentation de l'humification. En Gambie Peters *et al.* (1994) n'observent une augmentation du taux de matière organique que sur les champs attenants aux cases, qui bénéficient de la fumure animale et de l'adjonction des ordures ménagères d'origine végétale. En fait comme le rappellent Landais *et al.* (1992), le transit par le système digestif de l'animal diminue le rapport C/N du matériel végétal, et agit comme un accélérateur du cycle de la matière organique, en augmentant son aptitude à la décomposition.

L'humification, le transfert horizontal ou l'oxydation progressive sont les trois destins possibles du carbone organique qui échappe au brûlis. L'équilibre entre ces trois voies définit le taux de carbone du sol. Dans les sols sableux des Tropiques secs, l'intense respiration des micro-organismes et de la faune du sol maintient des stocks de carbone relativement faibles dans le sol. Cette respiration peut être estimée grâce à la mesure des flux de CO₂ issus du sol. Ainsi, Gupta (1981) a mesuré un flux de carbone engendré par la minéralisation entre 1,2 et 9,1 g.m⁻².j⁻¹ (soit 4.4 à 33.2 t.ha⁻¹.an⁻¹) sur une prairie indienne tropicale humide, tandis que Sanhueza (1994) ont trouvé un flux de 12 g.m⁻².j⁻¹ (43.8 t.ha⁻¹.an⁻¹) après un an de remise en culture d'une savane vénézuélienne. Sur parcelles cultivées en Afrique tropicale sèche, de Ridder et van Keulen (1990), et Berger (1996) retiennent une valeur approximative comprise entre 0.5 et 0.6 t.ha⁻¹.an⁻¹. Les éléments minéraux et l'énergie, produits de la décomposition et de la minéralisation des sources organiques seront récupérés à nouveau par les végétaux mais peuvent être immobilisés par la faune et la microflore du sol. Une partie est également perdue par lessivage en profondeur. Enfin, si elle ne constitue pas une perte d'éléments minéraux, la respiration du sol dissipe une partie de l'énergie.

L'érosion est un facteur potentiel de perte de matière organique. Sur des sols cultivés à texture grossière soumis à des précipitations violentes, les phénomènes d'érosion peuvent prendre une ampleur importante, même dans des paysages au relief peu marqué (Roose, 1983). Lors des enquêtes, l'exposition à l'érosion était d'ailleurs le principal critère utilisé par les paysans du terroir pour expliquer l'état de fertilité de leur parcelle. L'érosion dépend de la pluviométrie, de la pente, du type de sol, des pratiques culturales et du couvert végétal. Dans la proche station de Séfa (Moyenne Casamance) pour une pluviométrie annuelle comprise entre 1000 et 1200 mm, Roose (1967) a mesuré des pertes annuelles par érosion de l'ordre de 0,2 t.ha⁻¹ dans les forêts, entre 4,9 et 10.3 t.ha⁻¹ dans les jachères jeunes et les cultures. Il est fort probable que les apports minéraux et organiques venus des glacis et des plateaux assurent la fertilisation des terres lourdes de bas fond, qui supportent une culture de riz permanente et sans fumure. La façon dont s'organisent spatialement les flux de matière organique liés à l'érosion n'est cependant pas évidente. Les chiffres fournis précédemment ne font pas la part entre ce qui sort du terroir (c'est à dire en aval de la rizière) et ce qui est simplement déplacé mais retenu sur le terroir. En se fondant sur les taux de carbone mesurés sur le terroir, les volumes de carbone concernés par l'érosion ont été calculés pour les différents types de parcelles du terroir (tableau 7). Ces valeurs sont en fait relativement faibles par rapport aux stocks de carbone du sol situés dans les 10 premiers centimètres de sol. De plus, elles correspondent à des estimations maximales, puisqu'une partie des pertes est compensée par du carbone issu de parcelles sus-jacentes.

Tableau 7. Estimation des mouvements de carbone liés à l'érosion

Occupation	Forêt et jachère âgée	Jachère jeune	Arachide	Mil
Taux de carbone (0-10 cm) en ‰	4,5 - 5,8	4,2	3,4 - 4,8	4,5 - 5,6
Terre déplacée (t.ha ⁻¹ .an ⁻¹) *	0,2	4,9	5,1	10,3
Carbone déplacé (t.ha ⁻¹ .an ⁻¹)	0,001 - 0,002	0,02	0,017 - 0,025	0,046 - 0,058
Carbone déplacé sur le terroir (t.an ⁻¹)	0,06 - 0,12	0,6	0,74 - 1,09	2 - 2,5

* source : Roose (1967)

Dans les jachères pendant la saison sèche, dans les champs cultivés au moment de la préparation pour la culture suivante, les feux de brousse plus ou moins maîtrisés constituent également des pertes de matière organique à l'échelle du terroir. Kaïre (1996) estime les biomasses brûlées entre 7 et 8 t.ha⁻¹ pour les jeunes jachères, et entre 3 et 4 t.ha⁻¹ dans les vieilles jachères. La litière et la biomasse herbacée seront totalement détruites. Les pertes liées au feu sont essentiellement organiques, certains éléments minéraux étant restitués à travers les cendres. Les feux de brousses ont un impact insignifiant sur les stocks de matières organiques du sol (Masse *et al.*, 1997). Les pertes par le feu dépendent de la fréquence et la période précoce ou tardive du passage du feu ; la gestion de ces deux paramètres permet d'améliorer le bilan de biomasses végétales (Dembélé, 1996).

Conclusion

L'expansion de l'espace cultivé au détriment des forêts et des jachères est, avec les migrations temporaires ou définitives, une réponse des paysans africains confrontés actuellement à forte croissance démographique. De nombreux systèmes de production, en but depuis longtemps à la rareté de l'espace, se sont attachés à intensifier leur production en raisonnant l'utilisation de la matière organique non consommée par l'homme. Dans bien des cas l'augmentation de la pression démographique sur le milieu se traduit par une baisse de la disponibilité en matière organique, à travers un accaparement de l'espace par les cultures : régression de la jachère dans son extension spatiale et sa durée, diminution des surfaces boisées, vente des grains et des résidus des cultures de rente et maintenant vivrières (Lericollais et Milleville, 1993), péjoration inévitable du statut organique des sols après toute remise en culture (Siband, 1972 ; Jones et Wild, 1975 ; Juo *et al.*, 1995). L'évolution vers une raréfaction de la ressource, et donc, en l'absence de tout recours aux intrants, la remise en cause de la viabilité du système de production, ont conduit nombre d'auteurs à proposer une intensification agricole passant par une gestion plus rationnelle de la matière organique (Pieri, 1989b ; Pieri, 1990 ; César et Coulibaly, 1993 ; Dugué, 1993 ; Myers *et al.*, 1994).

A Sare Yorobana, l'approche des flux de matière organique à l'échelle d'une organisation spatiale supérieure à la parcelle montre que toutes les parcelles cultivées ne sont pas gérées de la même façon. Dans cette région, en dehors des zones de rizières attenantes à la plupart des villages, deux grands types de parcelles coexistent : les champs permanents et les champs de brousse.

La fertilité des sols des champs de brousse est déterminée par le recours à la jachère. Une augmentation des terres cultivées dans cette zone conduit à une perte de fertilité des sols, sans parler des implications sur les autres rôles des jachères. Les ligneux dans les jachères sont un élément clé de la reconstitution de la fertilité du sol. En raison des feux, ce sont surtout les racines qui contribuent à une bonne partie de la matière organique du sol. Celle-ci, par un transfert dans le temps, est restituée aux parcelles cultivées.

En revanche, à Sare Yorobana, la diminution des jachères n'implique pas une diminution de la fertilité des sols des champs permanents, pour lesquels les exportations sont essentiellement compensées par les animaux. Les parcages des bovins en saison sèche sont les plus efficaces pour la restitution de matière organique. La dégradation de la fertilité des champs permanents est liée à la diminution du nombre et du temps de présence des bovins pendant la saison sèche. Par manque de nourriture sur le terroir, certains villages sont obligés d'envoyer leur animaux beaucoup plus loin en saison sèche, diminuant les temps de parcages sur les parcelles cultivées. Pour y remédier, la gestion des disponibilités en fourrage est nécessaire : adoption de cultures fourragères, amélioration de la qualité fourragère des jachères pendant la saison sèche (introduction de ligneux à forte valeur pastorale par exemple), développement des parcs arborés dans les champs permanents, qui constituent souvent une source d'alimentation pour les animaux.

Les ligneux, assimilables à une fonction de transfert temporel de la matière organique, et les bovins, fonction de transfert spatial, sont deux pivots essentiels de la fertilité d'un terroir.

Références bibliographiques

- Abbadie L., Lepage M. et Menaut J.C., 1996 Paradoxes d'une savane africaine. Comment des sols pauvres entretiennent une végétation abondante. *La Recherche* 287, 36-38.
- Aman S., Depatie S., Furlan V. et Lemieux G., 1996 Effects of chopped twig wood (CTW) on maize growth and yields in the forest-savanna transition zone of Ivory Coast. *en voie de publication*.
- Anderson D.W., 1995 The role of nonliving organic matter in soils *Dans "Role of non living organic matter in the Earth's carbon cycle"* (R.G.Z.a.C. Sonntag, ed.), pp. 81-92. John Wiley & Sons Ltd.
- Anonyme, 1991a *Connaissance générale du milieu physique de la zone d'intervention du projet de foresterie rurale de Kolda*. République du Sénégal / Ministère du Développement Rural et de l'Hydraulique, Agence Canadienne de Développement International.
- Anonyme, 1991b *Mémento de l'Agronome*, 1635 p. Ministère de la Coopération et du Développement, Paris.
- Bacaye B., 1993 *Influence des systèmes de culture sur l'évolution du statut organique et minéral des sols ferrugineux et hydromorphes de la zone soudano-sahélienne (Province du Yatenga, Burkina Faso)*. Thèse de Doctorat, Université d'Aix Marseille III, 218 p. + ann.
- Bationo A. et Mokwunye U., 1991 Role of manures and crop residue in alleviating soil fertility constraints to crop production : with special reference to the Sahelian and Sudanian zones of West Africa *Dans "Alleviating soil fertility constraints to increased crop production in West Africa"* (U. Mokwunye, ed.), pp. 217-225. Kluwer Academic Pub.
- Berger M., 1996 Fumure organique : des techniques améliorées pour une agriculture durable. *Agriculture et Développement* 10, 37-46.
- Breman H. et Kessler J.J., 1995 *Woody plants in agro-ecosystems of semi-arid regions*, 340 p. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg.
- Catinot R., 1994 Aménager les savanes boisées africaines. *Bois et Forêts des Tropiques* 241, 53-69.
- César J. et Coulibaly Z., 1993, Conséquence de l'accroissement démographique sur la qualité de la jachère dans le Nord de la Côte d'Ivoire, C. Floret et G. Serpantié, Eds., *La jachère en Afrique de l'Ouest. Atelier International*, 2-5/12/1991, Montpellier, ORSTOM, p. 415-434.
- Charreau C. et Nicou R., 1971 L'amélioration du profil cultural dans les sols sableux et sablo-argileux de la zone tropicale sèche ouest-africaine et ses incidences agronomiques. *L'Agronomie Tropicale* 26 (5), 565-531.
- Chopart J.L., 1980 *Etude au champ des systèmes racinaires des principales cultures pluviales au Sénégal (arachide, mil, sorgho, riz pluvial)*. Thèse de Doctorat, Institut National Polytechnique de Toulouse, 159 p.
- Chotte J.L., Blanchart E. et Lavelle P., 1995, Gestion durable des terres en milieu tropical. Régulation biologique des processus de décomposition de la matière organique, F. Ganry et B. Campbell, Eds., *Sustainable land management in African semi-arid and subhumid regions. Proceedings of the SCOPE Workshop*, 15-19 November 1993, Dakar, Senegal, CIRAD, p. 89-97.
- Crétenet M., 1995, Conception de systèmes de culture durables. Expérimentation et enquête dans l'étude de la fertilité des sols, F. Ganry et B. Campbell, Eds., *Sustainable land management in African semi-arid and subhumid regions. Proceedings of the SCOPE Workshop*, 15-19 November 1993, Dakar, Senegal, CIRAD, p. 131-139.
- de Ridder et van Keulen H., 1990 Some aspects of the role of organic matter in sustainable intensified arable farming systems in the West-African semi-arid-tropics (SAT). *Fertilizer Research* 26, 299-310.
- Delacharlerie P.F., 1994 *Contribution à l'étude de l'alimentation des bovins sur parcours naturel en Moyenne-Casamance (Sénégal) : composition botanique des régimes, rôle des fourrages ligneux. Première approche de la disponibilité fourragère ligneuse*. Mémoire de DESS, ENVA, Maison Alfort, 91 p.
- Dembélé F., 1996 *Influence du feu et du pâturage sur la végétation et la biodiversité dans les jachères en zone soudanienne nord du Mali. Cas des jeunes jachères du terroir de Missira (cercle de Kolokani)*. Thèse de Doctorat, Université d'Aix-Marseille II, Marseille, 181 p.
- Diouf M., 1990, Diagnostic agronomique en parcelles paysannes. Une méthode d'amélioration des systèmes de culture, M.d.I. Coopération, Ed., *Savanes d'Afrique, terres fertiles ?*, 10-14/12/1990, Montpellier, p. 123-143.
- Duchaufour P., 1988 *Pédologie*, 224 p. Masson, Paris.
- Dugué P., 1993, La gestion de la fertilité et l'utilisation des ressources naturelles dans les systèmes agropastoraux soudano-sahéliens, *Journée AGER : gestion de la fertilité*, 20 janvier 1993, Montpellier, CIRAD-SAR.
- Fanchette S., 1996 Le rôle des jachères au sein des systèmes de culture en Haute-Casamance *Dans "Raccourcissement du temps de jachère, biodiversité et développement durable en Afrique Centrale (Cameroun) et en Afrique de l'Ouest (Sénégal, Mali). Rapport scientifique 1996"*, pp. 12-23.

- Feller C., 1995 *La matière organique dans les sols tropicaux à argile 1:1. Recherche de compartiments fonctionnels. Une approche granulométrique*. Thèse d'Etat, Université Louis Pasteur, 393 p. + ann.
- Fernandez E.C.M. et Sanchez P.A., 1990, The role of organic inputs and soil organic matter for nutrient cycling in tropical soils, *Organic matter management and tillage in humid and subhumid Africa*, Bangkok, Thailand, International Board for Soil Research and Management, p. 169-187.
- Fernandez-Rivera S., Williams T.O., Hiernaux P. et Powell J.M., 1994, Faecal excretion by ruminants and manure availability for crop production in semi-arid West-Africa, J.M. Powell, S. Fernandez-Rivera, T.O. Williams et C. Renard, Eds., *Livestock and sustainable nutrient cycling in mixed farming systems of sub-Saharan Africa. Proceedings of an International Conference, 22-26/11/93*, Addis Ababa, Ethiopia, ILCA (International Livestock Centre for Africa), Addis Ababa, Ethiopia, p. 149-169.
- Fournier A., 1996, Dans quelle mesure la production nette de matière végétale herbacée dans les jachères en savane soudanienne est-elle utilisable pour le pâturage ?, C. Floret, Ed., *La jachère, lieu de production*, 2-4/10/1996, Bobo Dioulasso, Burkina Faso, p. 101-111.
- Gupta S.R. et Singh J.S., 1981 Soil respiration in a tropical grassland. *Soil Biology & Biochemistry* 13, 261-268.
- Jones M.J. et Wild A., 1975 *Soils of the West African savanna*, 246 p. Commonwealth Agricultural Bureaux, Harpenden.
- Juo A.S.R., Franzluebbers K., Dabiri A. et Ikhile B., 1995 Changes in soil properties during long-term fallow and continuous cultivation after forest clearing in Nigeria. *Agriculture Ecosystems and Environment* 56, 9-18.
- Juo A.S.R. et Manu A., 1996 Chemical dynamics in slash-and-burn agriculture. *Agriculture Ecosystems & Environment* 58 (1), 49-60.
- Kaïre M., 1996, La production ligneuse des jachères et son utilisation par l'homme en zones soudano-sahélienne du Sénégal, C. Floret, Ed., *La jachère, lieu de production*, 2-4/10/1996, Bobo Dioulasso, Burkina Faso, p. 1-17.
- Lal R. et Kang B.T., 1982, Management of organic matter in soils of the tropics and subtropics, ISSS, Ed., *Non-symbiotic nitrogen fixation and organic matter in the tropics. Transactions of the 12th International Congress of Soil Science*, 8-16/02/82, New Delhi, India, ISSS-AISSS-IBG.
- Lamotte M. et Bourlière F., 1978 *Problèmes d'écologie : structure et fonctionnement des écosystèmes terrestres*, 345 p. Masson, Paris.
- Lamotte M. et Bourlière F., 1983 Energy flow and nutrient cycling in tropical savannas *Dans "Tropical savannas"* (F. Bourlière, ed.), pp. 583-603. Elsevier, Amsterdam, Netherlands.
- Landais E. et Guérin H., 1992 Systèmes d'élevage et transferts de fertilité dans la zone des savanes africaines. I. La production des matières fertilisantes. *Cahiers Agricultures* 1, 225-238.
- Landais E. et Lhoste P., 1993 Systèmes d'élevage et transferts de fertilité dans la zone des savanes africaines. II. Les systèmes de gestion de la fumure animale et leur insertion dans les relations entre l'élevage et l'agriculture. *Cahiers Agricultures* 2, 9-25.
- Lemieux G., 1997 *Les fondements pédogénétiques des écosystèmes forestiers : une approche de la métastabilité par la biologie tellurienne* Rap. No. 71. GCBR, Université de Laval.
- Lericollais A. et Milleville P., 1993, La jachère dans les systèmes agropastoraux Sereer au Sénégal, C. Floret et G. Serpantié, Eds., *La jachère en Afrique de l'Ouest. Atelier International*, 2-5/12/1991, Montpellier, ORSTOM, p. 133-145.
- Masse D., Dembélé F., Le Floc'h E. et Yossi H., 1997, Impact de la gestion des feux de brousse sur la qualité des sols des jachères de courtes durées dans les régions soudanaises du Mali, *Gestion de la fertilité des sols dans les systèmes d'exploitation d'Afrique de l'Ouest*, Niamey, Niger, Universität Hohenheim, ICRISAT, INRAN, p. sous presse.
- Menaut J.C., Barbault R., Lavelle P. et Lepage M., 1985 African savannas : biological systems of humification and mineralization *Dans "Ecology and Management of the World's Savannas"* (J.C. Tothill et J.J. Mott, eds.), pp. 14-33. Australian Acad. Science, Canberra.
- Michels K., Sivakumar M.V.K. et Allison B.E., 1995a Wind erosion control using crop residue. I. Effects on soil flux and soil properties. *Field Crops Research* 40, 101-110.
- Michels K., Sivakumar M.V.K. et Allison B.E., 1995b Wind erosion control using crop residue. II. Effects on millet establishment and yields. *Field Crops Research* 40, 111-118.
- Morel R., 1989 *Les sols cultivés*, 373 p. Lavoisier, Paris.
- Moureau C., 1967 Influence de la température et de l'humidité sur les activités biologiques de quelques sols ouest-africains. *Cahiers ORSTOM, série Pédologie* 5 (4), 393-420.
- Mussy A. et Soutter M., 1991 *Physique du sol*, 335 p. Presses polytechniques et universitaires romandes, Lausanne.

- Myers R.J.K., Palm C.A., Cuevas E., Gunatilleke I.U.N. et Brossard M., 1994 The synchronisation of nutrient mineralisation and plant nutrient demand Dans "The Biological Management of Tropical Soil Fertility" (P.L. Woomer et M.J. Swift, eds.), pp. 81-116. Wiley-Sace Publication.
- Palm C.A., Swift M.J. et Woomer P.L., 1996 Soil biological dynamics in slash-and-burn agriculture. *Agriculture Ecosystems & Environment* 58 (1), 61-74.
- Pélissier P., 1966 *Les paysans du Sénégal. Les civilisations agraires du Cayor à la Casamance*, 939 p., St Yrieix.
- Perry D.A., Amaranthus M.P., Borchers J.G., Borchers S.L. et Brainerd R.E., 1989 Bootstrapping in ecosystems. *Bioscience* 39 (4), 230-237.
- Peters J.B. et Schulte E.E., 1994 Soil test survey of the Gambia - an overview. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 25 (9-10), 1713-1733.
- Pichot J., 1975 Rôle de la matière organique dans la fertilité du sol. *L'Agronomie Tropicale* 30, 170-175.
- Pichot J., 1995, La fertilité des milieux tropicaux humides, J. Pichot, N. Sibelet et J.J. Lacoeyllhe, Eds., *Fertilité du milieu et stratégies paysannes sous les tropiques humides*, 13-17/11/95, Montpellier, CIRAD, p. 13-15.
- Pieri C., 1989a *Fertilité des terres de savanes*, 444 p. Ministère de la Coopération et CIRAD-IRAT, Paris.
- Pieri C., 1989b Les processus majeurs d'évolution de la fertilité. Les termes et l'évolution du bilan organique des sols cultivés Dans "Fertilité des terres de savanes. Bilan de trente ans de recherche et de développement agricoles au sud du Sahara", pp. 277-336. Ministère de la Coopération, Paris.
- Pieri C., 1990, Les bases agronomiques de l'amélioration et du maintien de la fertilité des terres de savanes au sud du Sahara, *Savanes d'Afrique, terres fertiles ? Rencontres Internationales.*, 10-14/12/1990, Montpellier, CIRAD - Ministère de la Coopération et du Développement, Paris, p. 43-73.
- Prudencio C.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, 237-264.
- Quilfen J.P. et Milleville P., 1983 Résidus de culture et fumure animale. Un aspect des relations agriculture-élevage dans le Nord de la Haute-Volta. *L'Agronomie Tropicale* 38 (3), 206-212.
- Richard D., Ahopke B., Blanfort V. et Pouye B., 1991, Utilisation des zones agricoles et pastorales par les ruminants en zone soudanienne (Moyenne Casamance, Sénégal), A. Gaston, M. Kernick et H.N. Le Houérou, Eds., *Actes du Quatrième Congrès International des Terres de Parcours*, 22-26/04/91, Montpellier, CIRAD, p. 754-756.
- Roose E., 1967 Dix années de mesure de l'érosion et du ruissellement au Sénégal. *L'Agronomie Tropicale* 22 (2), 123-152.
- Roose E., 1983 Ruissellement et érosion avant et après défrichement en fonction du type de culture en Afrique Occidentale. *Cahiers ORSTOM, série Pédologie* 20 (4), 327-339.
- Sanhueza E. et Santana M., 1994 CO₂ emissions from tropical savannah soil under first year of cultivation. *Interciencia* 19 (1), 20-23.
- Siband P., 1972 Etude de l'évolution des sols sous culture traditionnelle en Haute-Casamance. Principaux résultats. *L'Agronomie Tropicale* 27 (5), 574-591.
- Sow H., 1990 *Le bois-énergie au Sahel*, 176 p. ACCT-CTA-Karthala, Paris.
- Swift M.J. et Woomer P., 1993, Organic matter and the sustainability of agricultural systems : definition and measurement, K. Mulongoy et R. Merckx, Eds., *Organic matter and the sustainability of agricultural systems : definition and measurement. Proceedings of an International Symposium*, 4-6/11/91, Leuven, Belgium, John Wiley & Sons, p. 3-18.
- van Wambeke A., 1991 *Soils of the tropics. Properties and appraisal*, 343 p. McGraw-Hill, Inc., New-York.
- Vogt K.A., Vogt D.J., Palmiotto P.A., Boon P., Ohara J. et Asbjornsen H., 1996 Review of root dynamics in forest ecosystems grouped by climate, climatic forest type and species. *Plant and Soil* 187 (2), 159-219.

Amélioration et gestion de
la jachère en Afrique de l'Ouest
Projet 7 ACP RPR 269

Jachère et maintien de la fertilité

Organisateurs
IER (Mali)
ORSTOM



Amélioration et gestion de
la jachère en Afrique de l'Ouest
Projet 7 ACP RPR 269

Actes de l'Atelier

Jachère et maintien de la fertilité

Bamako, 2-4 octobre 1997

Organisateurs :
IER (Mali)
ORSTOM

Editeurs : Christian Floret et Roger Pontanier
Coordination Régionale du Projet Jachère
BP 1386 Dakar Sénégal