

Ingestion, restitution et transfert d'éléments fertilisants aux agro systèmes par les ruminants domestiques en régions semi arides d'Afrique occidentale : points de vue d'un zootechnicien et d'un agro-pédologue

Hubert GUERIN et Eric ROOSE

Cirad, UMR SELMET (*Systèmes d'Élevage Méditerranéens et Tropicaux*)

BP 5035, 34032 Montpellier 01 : courriel : hubertguerin34@gmail.fr

IRD, UMR Eco&Sol, BP 64501, 34394 Montpellier cedex 5, France : courriel : eric.roose@ird.fr

Résumé

Sans accès aisé aux engrais chimiques, la jachère et la fumure animale sont les principaux moyens d'entretenir la fertilité des sols dans les régions d'élevage d'Afrique occidentale. La fumure est pratiquée depuis des siècles par la conduite des animaux sur parcours, leur parcage sur des surfaces destinées à la culture, dans des enclos ou au piquet pour accumuler des excréta mais, en Afrique, rarement en fabriquant du vrai fumier. La restitution de nutriments par l'animal est le résultat de l'ingestion de fourrages (1.8 à 2.5 t MS/UBT/an), de leur digestion et de l'excrétion des fèces ainsi que des urines. Sur parcours extensifs, les matières fécales contiennent 40 à 60% des biomasses consommées, donc du carbone, dont une grande proportion de fibres riches en lignine. Avec les urines, les fèces réunissent 75 à 90 % de l'azote et des minéraux (P, Ca, K, Mg) ingérés par le bétail, les minima correspondant à des jeunes animaux en croissance ou des vaches laitières, les maxima à des animaux adultes à l'entretien qui retiennent donc peu de nutriments. Ce texte vise principalement à expliquer, sur la base des processus digestifs, la variabilité quantitative et qualitative des excréta et de ses facteurs. Ceux-ci sont liés à la diversité des systèmes fourragers suivant le milieu naturel, les systèmes de culture, les saisons et les régimes différenciés des bovins, ovins ou caprins ; en particulier, les teneurs en azote des fèces de petits ruminants (3 à 4 % de la matière organique fécale) sont plus élevées que celles des bovins (1 à 3 %). Les teneurs en fibres lignifiées sont également plus importantes dans les fèces de caprins en relation avec leur importante consommation de fourrages ligneux. Les ovins sont intermédiaires entre les caprins et les bovins. Le texte rappelle aussi la compétition pour l'usage de la biomasse, trop peu abondante, entre la production fourragère, l'enfouissement, le paillage et les brûlis. La distribution spatiale des excréta et leur concentration du fait de la conduite des troupeaux au pâturage, de leur parcage, de la technologie fumière mise en œuvre, sont les principaux déterminants de la restitution des nutriments et de leur qualité humifère. Il est aussi souligné que toute innovation en fumure animale n'a de chance de s'étendre que si elle s'intègre au fonctionnement global et au projet des exploitations. Enfin, dans des contextes en rapide évolution de densification agricole des terroirs, de disparition des jachères et des réserves foncières, d'augmentation des productions végétales et animales, les transferts de fertilité par les animaux depuis les parcours non cultivés sont de moins en moins importants et les exportations par les carcasses plus fortes. Il est donc nécessaire d'intégrer les engrais minéraux dans les stratégies d'intensification écologique durable.

Mots-clés : Zone semi-aride, fertilisation des sols, systèmes fourragers, digestion, excrétion, conduite des animaux, matière organique, fibres, lignine, azote, bilans minéraux.

Abstract

Without easy access to fertilizers, fallow and animal manure are the main means of maintaining soil fertility in Western Africa. Fertilization has been practiced for centuries by herding animals on rangelands, their gathering on fields at stakes or in fenced parks, raising it in confinement, but rarely by producing real manure. The return of nutrients by the animal is the result of the ingestion of feed (1.8 to 2.5 t DM / TLU / year), their digestion and excretion of faeces and urine. On rangelands, faeces contain 40 to 60% of biomass consumed -so carbon-including a large proportion of lignin-rich fibers. With urine, faeces meet 75-90% of the nitrogen and minerals (P, Ca, K, Mg) ingested by cattle, the minima corresponding to young growing animals or to dairy cows, and the maxima to adults on maintenance. This text is to explain, on the basis of nutritional processes, quantitative and qualitative variability of excreta and its factors. These are related to the diversity of forage systems according to the natural environment, farming systems, seasons, and diets of animals. In particular, the nitrogen content in faeces of small ruminants (3-4% of fecal organic matter) is higher than those of cattle (2-3%). The contents of fibers and lignin are also higher in the feces of goats in relation to their high consumption of browse. Sheep are intermediate between goats and cattle. It recalls the competition for the use of biomass (too scarce) between forage production, ploughing and mulching. It also recalls that the spatial distribution of excreta and concentration because of the herding conduct of grazing animals and their park, the manure technology implementation, are the main factors for the return of nutrients and humus quality of these refunds. Finally, in rapidly changing contexts of

increasing pressure of agriculture on land and livestock production, fertility transfers by animals from uncultivated lands are less important. It is therefore necessary to integrate mineral fertilizers in strategies for sustainable intensification.

Keywords : Western Africa, soil fertility restoration, forage and manure nutrient content, digestion, excretion, organic matter, fiber, lignin, nitrogen and minerals

1. Introduction

Dans les régions semi-arides soudano-sahéliennes africaines, la restauration de la fertilité des sols a été longtemps assurée par l'abandon des champs cultivés à une longue jachère, par la vaine pâture, contractuelle ou non, par le parcage nocturne des animaux sur les surfaces cultivées, par l'épandage sur les champs de poudrettes de parc de nuit, et, parfois, depuis quelques décennies, la fabrication de fumiers. Les fumures organiques et minérales ont été promues pour les cultures industrielles (coton et arachide principalement) et ont profité indirectement aux cultures vivrières. Mais, l'accroissement démographique et la pression foncière qui en découle, dépriment les systèmes traditionnels de gestion de la fertilité. Les évolutions économiques restreignent l'emploi des engrais minéraux devenus très chers. Une gestion plus performante des résidus organiques et minéraux produits par les systèmes de culture et d'élevage est donc une priorité.

Les matières fécales et les urines émises par le bétail, les biomasses végétales naturelles et cultivées, mélangées ou non, en sont les matières premières. La densité et la mobilité du bétail, les modalités de collecte, de stockage, de traitement, d'épandage de ces excréta, les caractéristiques des sols et des cultures qui les reçoivent sont les principaux déterminants de leur impact sur la fertilité. Des référentiels de recommandations techniques pour la fabrication de fumier en régions tropicales ont été élaborés (voir chapitre 2.9, Ganry et Thuriès).

La diversité et l'intensité des usages des biomasses végétales aux échelles des exploitations et des terroirs limitent cependant les disponibilités fourragères et en conséquence les restitutions animales. Des arbitrages peuvent être faits entre restitution directe au sol, paillage et affouragement. C'est le cas dans les exploitations qui adoptent des systèmes de culture sous couvert végétal (SCV). (Voir chapitre 3.4, Dugué et al.)

Pour diagnostiquer les marges de progrès d'un système de fumure animale, il est utile d'évaluer les restitutions par le bétail. Elles sont directement liées à son système alimentaire : le prélèvement fourrager résulte des disponibilités en ressources végétales, de la pression animale sur celles-ci, de la conduite des troupeaux sur le parcours et du comportement alimentaire des animaux.

La variabilité des restitutions découle aussi directement des processus physiologiques chez l'animal. Des repères qualitatifs et quantitatifs relatifs à ces différents aspects du système « fumure animale » sont nécessaires pour évaluer les facteurs limitant la valorisation des déjections.

2. Constituants des fourrages, des fèces, des urines et leurs restitutions par l'animal

Les fourrages et les produits de leur digestion sont constitués de matières organiques et minérales.

2.1. Composés organiques

D'un point de vue agronomique et environnemental, la matière organique (MO) est la forme biologique de stockage des nutriments et du carbone ; d'un point de vue zootechnique elle correspond à l'énergie nutritionnelle et aux apports protéiques des animaux.

Les principaux constituants organiques des fourrages sont génériquement classés en « fibres », et en « matières azotées ».

Le terme de **fibres** recouvre plusieurs types de composants : celluloses, hémicelluloses, associées à des lignines. Une fraction variable des fibres (40 à 70 %) est fermentée dans le rumen, transformée en nutriments énergétiques absorbés dans le tube digestif et en méthane et gaz carbonique libérés dans l'atmosphère (Lecomte et al. 2004). La fraction non dégradée lors du transit digestif est retrouvée dans les fèces. Elle contient une partie des fibres dont la quasi totalité des lignines considérées indigestibles. Constituant l'essentiel de la matière organique non digestible, les fibres sont plus concentrées dans les fèces (50 à 60 % de la matière sèche) que dans les aliments (30 à 50 %) (Guérin et al., 1990).

Les matières azotées. La plus grande partie de l'azote végétal est sous forme protéique. Les équivalents nutritionnels sont exprimés en matières azotées totales et digestibles ($N \times 6.25$ exprimées en g / kg MS).

La teneur en azote des fourrages dépend de leur origine botanique, de la saison, du stade phénologique, de l'âge de la plante depuis le semis ou sa dernière exploitation par coupe ou pâturage et du sol. Les teneurs en azote des graminées diminuent rapidement au cours de leur cycle de végétation : de l'ordre de 2.5 % dans la matière sèche en début de croissance jusqu'à des niveaux très faibles inférieurs à 1 % quand elles sont à l'état de pailles sèches sur pied. Ces faibles teneurs peuvent être corrigées en saison sèche par l'ingestion de repousses de graminées vivaces, de légumineuses herbacées plus riches en N même à l'état de pailles, de fourrages ligneux. (1,5 à 3%), de résidus de culture de légumineuses comme l'arachide (1 à 2.5 % suivant l'importance relative des feuilles et des tiges).

Certains fourrages, ligneux principalement, sont riches en azote mais ils contiennent aussi des lignines qui l'emprisonnent dans les fibres indigestibles ou le bloquent chimiquement. Une part de cet azote, n'est donc pas disponible pour l'animal.

Le taux de digestion de la matière organique des fourrages par les ruminants est fonction de leurs teneurs en fibres, qui augmentent et se lignifient quand les plantes vieillissent. Cette dégradation de la digestibilité est accentuée par les très faibles teneurs en azote fréquentes dans les pailles soudano-sahéliennes car un faible niveau d'azote limite la digestion microbienne dans le rumen (Richard et al, 2009).

Le bilan azoté chez l'animal et ses conséquences pour les restitutions.

Le bilan azoté est le solde de l'azote ingéré, de celui excrété dans les urines et les fèces et de l'azote retenu par l'animal.

Hormis l'azote réellement indigestible du fait de son association aux fibres ou des tanins, l'essentiel de l'azote excrété est d'origine endogène (renouvellement des tissus du tube digestif, produits du métabolisme azoté).

La teneur en azote non digestible varie donc peu pour la majorité des fourrages (de 0.65 à 0.8 % de la matière sèche). La quantité d'azote fécal excrétée est surtout proportionnelle aux quantités ingérées. Les écarts de digestibilité expliquent alors les concentrations variables dans les fèces entre 1,5 et 2,5 %,

Pour les régimes qui contiennent beaucoup de fourrages ligneux, en particulier ceux des caprins, l'azote protégé de la digestion par les lignines et les tanins est plus abondant dans les fèces.

En milieu agropastoral, les teneurs en azote des bouses de bovins varient de 1 à 3 % de la matière sèche (avec des minima à 1 % sur paille pauvres de graminées), celles des crottes de petits ruminants entre 2 et 4 %. Les ovins sont intermédiaires entre les bovins et les caprins.

Pour une année et à l'échelle d'une UBT bovine, les quantités ingérées sont de l'ordre de 30 kg, celles excrétées dans les fèces de l'ordre de 15 kg et dans les urines de 10 à 20 kg. L'azote des urines sous diverses formes chimiques est dilué à à raison de 10 à 20 g /litre dans 1000 à 2500 litres par an suivant les conditions climatiques et la teneur en eau des fourrages. L'azote des urines composé à 75 % d'urée est rapidement volatilisé s'il est déposé sur un sol sec et peu argileux.

Une UBT stocke 8 kg d'azote avec un turnover important. Les vaches en lactation exportent 2 kg d'azote pour 300 l de lait ; les jeunes bovins en croissance en fixent autant pour un gain de 80 kg de poids vif. Si ces produits animaux sont exportés du terroir ils correspondent à autant de perte en azote à cette échelle. (Figure 1)

Pour une densité animale de 4 ha par UBT, ces valeurs ramenées à l'ha en les divisant par 4 correspondent cependant à des flux très faibles en regard des quantités contenues dans le compartiment sol (environ 1000 kg d'azote / ha dans l'horizon de sol 20 cm - d'après Roose, 1981. (tableau 2)

2.2. Composés minéraux :

Leur part totale dans la matière sèche est déterminée par incinération d'échantillons du végétal. Les éléments majeurs (P, K, Ca, Mg), la silice et les oligo-éléments (Cu, Zn, Se, Mn, Co,...) sont dosés dans les cendres résiduelles. Les teneurs en minéraux des fèces sont variables : 10% de la matière sèche au maximum de végétation, par exemple sur parcours post culturaux portant 1 à 2 tonnes de pailles de céréales à l'hectare) ; 25 % pour des disponibles fourragers sur parcours naturels de 600 kg de MS / ha ; jusqu'à 40 % en fin de saison sèche et lors des premières pluies quand le fourrage est rare et chargé de terre ou de sable. Il s'agit alors essentiellement de silice.

Comme les composés organiques, les minéraux sont partiellement absorbés dans le tube digestif, restitués dans les fèces et les urines suite à des processus métaboliques complexes notamment pour le phosphore et le calcium au niveau du squelette.

Lorsque les animaux reçoivent des compléments minéraux, ce qui est encore rare, les taux d'absorption et de restitution varient suivant leur nature chimique ; ainsi la digestibilité apparente du phosphore varie de 20 à 60 % suivant qu'il s'agit de phosphate tricalcique, de phosphate bicalcique ou de farine d'os.

La répartition des restitutions minérales entre les fèces et les urines varie suivant les éléments (Lançon, 1978). Les quantités stockées par l'animal sont faibles (2.2 kg de P, 0.6 kg de K, 5 kg de Ca par UBT d'après Meschy et Gueguen, 1995) et celles exportées dépendent de la productivité du bétail en gain de poids vif ou en lait suivant les moyennes indiquées ci-dessous. Globalement, sauf pour le phosphore et secondairement le calcium, ces quantités sont faibles comparativement aux compartiments sol et biomasse végétale (Roose, 1981) (tableau 2 et figure 1).

La **silice** est l'élément minéral le plus abondant dans les végétaux (1 à 10%). Elle est particulièrement abondante dans la paille de riz. Elle est sans intérêt nutritionnel, voire abrasive pour le tube digestif et retrouvée intégralement dans les fèces.

Le **phosphore** est limitant dans les sols, les végétaux et les animaux. Sa teneur de l'ordre de 0.2% de la matière sèche dans les graminées naturelles en début de cycle diminue jusqu'à des niveaux très faibles en saison sèche (0,02 à 0,05% de la matière sèche), alors que pour satisfaire le besoin d'entretien des

ruminants la teneur devrait être de 0,12% de la MS ingérée. Comme pour l'azote, cette carence peut-être partiellement corrigée par la consommation de repousses de graminées vivaces, des dicotylédones herbacées ou ligneuses et de sous-produits de cultures (0.15 à 0.2 % de MS). La teneur des sols en phosphore assimilable par les plantes, influence grandement la composition des fourrages et la satisfaction, ou non, des besoins des animaux globalement non couvertes en zone tropicale sèche (Richard et al., 1989). Les éventuels apports exogènes de phosphore par des engrais ont donc un impact indirect sur la qualité des rations. L'animal en retient 0.9 kg / 100 kg de gain de poids vif et 84 g / 100 l de lait. Les restitutions au sol passent essentiellement par les fèces qui en contiennent en moyenne 0,3% de matière sèche ce qui correspond à un total annuel de l'ordre de 3 kg par UBT.

Le **potassium**, forte contrainte en agriculture, n'est pas limitant en élevage extensif. Les teneurs en K dans les fourrages sont comprises entre 0,6 et 3,1% de la matière sèche. Les restitutions par l'animal à l'entretien sont proportionnelles aux quantités consommées soit 25 kg de K/UBT/an répartis entre les urines (85 %) et les fèces (15 %). L'animal en retient 0.25 kg/100 kg de gain de poids vif et 130 g /100 l de lait. Le recyclage du potassium par les urines dans le fumier permet aussi de restaurer dans les résidus de paille un niveau facilitant l'humification et correspondant aux besoins des cultures. De même, les aires de repos sont significativement enrichies par le transfert spatial de cet élément depuis les zones pâturées.

Les teneurs en **calcium** dans les fourrages sont comprises entre 0,3 et 1,6 % de la MS, plus élevées dans les légumineuses. L'animal en stocke 5 kg /UBT et en exporte 2 kg par 100 kg de cheptel vif et 130 g /100 l de lait. Pour un animal en production à ces niveaux, 5 kg sont rejetés dans les fèces. Les urines en contiennent très peu.

Le **magnésium** (0,1 à 0,3% de la matière sèche des fourrages ; jusqu'à 0.6 % dans les légumineuses fertilisées et dans les feuilles d'arbres) est à 95 % excrété (4 kg) dans les fèces.

Les teneurs en **sodium** des fourrages ne sont importantes que dans les zones arides salées. Ailleurs, la pauvreté naturelle des fourrages en Na, indispensable à la régulation du métabolisme hydrique, conduit souvent les éleveurs à compléter leur cheptel. C'est la complémentation minérale la plus aisée à mettre en œuvre notamment lors de cures salées pour les troupeaux transhumants. Le NaCl constitue aussi la plus grande part des compléments minéraux commercialisés pour le bétail.

D'une façon générale, comme pour le phosphore, les concentrations en minéraux d'intérêt nutritionnel dans les fourrages sont fortement influencées par la fertilisation. C'est le cas en particulier pour les sous-produits de récoltes et les fourrages cultivés. Hormis pour le phosphore, les teneurs des fourrages en éléments minéraux majeurs d'intérêt nutritionnel posent peu de problèmes pour l'élevage parce que les teneurs sont adaptées aux besoins des animaux du fait de leurs performances modérées. En cas d'intensification et donc d'augmentation des besoins nutritionnels, ces apports doivent être reconsidérés en particulier pour le calcium et la production laitière sachant cependant que le calcium est toujours associé à la complémentation en P. Dans les régions subsahariennes, le **cuivre**, le **zinc** et parfois le **sélénium** peuvent cependant donner lieu à des carences alimentaires conduisant à des pathologies et des baisses de production. Ils ont parfois été associés à des complémentations en phosphore dans des projets de développement de l'élevage en régions sahéliennes



Action des termites sur les tiges de riz dans un parc -



Photos (78) et (27) GUERIN - IERUV

où des carences et leurs impacts sur la productivité ont été diagnostiqués (Guerin et al 1991).

Dans les systèmes extensifs, l'exportation de minéraux dans les produits animaux est donc assez faible en proportion de leur teneur globale dans les sols et de leur turnover dans les systèmes alimentaires. Elle augmente avec l'intensification des cultures et de l'élevage et donc avec les ventes de produits animaux. Ainsi, l'intensification, de la production laitière en particulier, principale exportatrice de minéraux, justifie de réévaluer les apports de minéraux aux animaux et le bilan des exportations en particulier pour le phosphore.

3. Diversité des ressources, diversité des régimes, comparaison entre espèces animales et conséquence pour les restitutions d'éléments fertilisants.

Pour une saison climatique et agricole donnée, la diversité des fourrages dans les régimes des animaux dépend de la nature et de la distribution des ressources, de la conduite sur les parcours et des préférences alimentaires des cheptels. C'est aussi à l'échelle des espèces végétales et de leurs organes que s'opèrent les choix alimentaires des animaux, en particulier pour les petits ruminants plus sélectifs que les bovins. Cela contribue encore à enrichir et différencier leurs régimes.

Les bovins consomment davantage de pailles de graminées sèches, les petits ruminants plus de fourrages ligneux mais toutes les espèces recherchent avidement les fanes de légumineuses. Par exemple dans le bassin arachidier sénégalais après la récolte des fanes d'arachide les petits ruminants passent de longues semaines à récupérer les folioles tombées au sol (150 kg de MS/ha), tandis que les bovins se concentrent sur les pailles de céréales et les végétations adventices et ligneuses qui les entourent (Guerin et al, 1986)

Les excréta des animaux dépendent de cette diversité. L'analyse chimique des fèces et les mesures de quantités excrétées renseignent alors sur la quantité d'éléments fertilisants restitués par chaque unité de bétail. (tableau 1)

Tableau 1 : Quantités de matière organique (MO), de fibres (assimilées à la ligno-cellulose – Acid Detergent Fiber –ADF- Van Soest), de lignine et d'azote fécales émises par des petits ruminants et des bovins sur parcours agro sylvo-pastoral sahélo-soudanien. (par petit ruminant moyen de 30 kg PV ou par bovin de 250 kg PV –UBT- et par 100 kg PV pour faciliter les comparaisons entre espèces)

		Quantités dans les fèces par période (kg)								
		(kg / petit ruminant 30 kg) Ovins, O ; Caprins, C					(kg / Bovin 250 kg)			
		MO	Fibres			Azote	Matière organique	Fibres		Azote
			Ligno cellulose	Lignine				Ligno cellulose	Lignine	
				O	C					
Guerin et Friot 1991	Saison des pluies (3 mois)	17	10	4	6	0.7	130	70	35	5
	Saison sèche post récolte	28	13	7	9	0.9	200	110	50	5 à 7
	Pleine Saison sèche (6 mois)	68	47	21	28	1.6	330	200	85	5 à 8
	TOTAL ANNUEL	113	70	32	44	3.2	660 à 830*	380 à 470*	170	15 à 18*
Par 100kg poids vif pour comparaison entre espèces										
Totaux annuels		330	230	110	145	10	270 à 330*	150 à 180 *	70 à 80*	6 à 7*

** les valeurs en italiques indiquées pour les bovins en saison sèche correspondent à des systèmes fourragers plus favorables ; les petits ruminants, plus sélectifs, s'adaptent mieux aux variations de disponibilités fourragères.*

Noter les différences significatives entre espèces (rapportées à 100kg de poids vif) et contrastées suivant les saisons des teneurs en fibres (ligno-celluloses et lignines), en particulier en lignine des fourrages ligneux pour les caprins qui en consomment beaucoup. Les teneurs en fibres et leur lignification déterminent leur digestibilité et celle de l'azote partiellement « bloqué » dans la ligno-cellulose – Guerin et al 1988 et 1990). Ces caractéristiques des fibres contenues dans la matière organique rapportée au sol sont aussi parfois considérées comme facteur des dynamiques de leur humification. (Feller, 1979 et Sven et al., 2013)

La caractérisation des régimes moyens saisonniers et annuels d'un ruminant permet donc de prévoir ses restitutions, à l'échelle du terroir agropastoral qui correspond aux différents types de parcours fréquentés successivement au fil des saisons.

Ces évaluations correspondent ici aux composants de la matière organique, fibres et azote, candidats à la fumure animale dans les régions d'Afrique soudano-sahélienne. En particulier, le rapport C/N des fèces (tableau 1), un des critères de la qualité humifère de la matière organique revenant directement au sol ou contribuant à la fabrication des fumiers et composts (Ganry et Thuries, chap., 2.9) varie en fonction de l'espèce et de la saison, donc des régimes alimentaires, de 12 à 21 (16 en moyenne sur l'année), pour les petits ruminants, et de 13 à 23 (22 en moyenne) pour les bovins. Ces variations sont conformes à celles rapportées par Lecomte et al., 2004.

Il est plus délicat d'effectuer des estimations homologues pour les minéraux car le métabolisme minéral avec des périodes de stockage et déstockage suivant le stade physiologique des animaux, leur état nutritionnel et les productions est très variable et a peu été étudié en régions subsahariennes. Une estimation des bilans annuels globaux est cependant tentée en s'appuyant sur la composition moyenne des régimes, le stockage dans les animaux et la composition des produits animaux exportés (tableau 2 et figure 1 ci-dessous).

4. Mobilités des troupeaux, parcours, parcage et transferts de fertilité.

En milieu agropastoral, les bovins sont souvent conduits au pâturage entre les deux traites du matin et du soir, durant 7 à 10 heures par jour. Durant ce temps, ils se déplacent, consomment des fourrages, ruminent, s'abreuvent et se reposent. Les déplacements sont de l'ordre de 10 km par jour avec une forte variabilité suivant l'organisation du terroir, la distribution spatiale des champs cultivés, des ressources pâturables et la conduite des troupeaux par les bergers.

En saison des pluies, ils ingèrent 100 % de leur ration sur parcours naturels (ou jachères) ; en début de saison sèche post-récolte, jusqu'à 100 % sur les zones cultivées. En pleine saison sèche, les parcours des troupeaux recouvrent l'ensemble du terroir suivant la distribution des disponibilités en fourrages, la période et les pratiques de gestion des résidus de culture : ils peuvent être abandonnés à la vaine pâture collective, ou cédés à des éleveurs transhumants suivant les pratiques anciennes de contrats de vaine pâture, de fumure et de confiage.

De plus en plus, les pailles relèvent d'une gestion privée, soit pour la vaine pâture des troupeaux d'agro-éleveurs eux-mêmes, soit pour la récolte, le stockage, l'affouragement en stabulation ou encore la commercialisation (Dongmo et al., 2012).

Cette tendance à la privatisation progressive des surfaces et des ressources justifie une évaluation plus précise des restitutions par la fumure animale aux

échelles des exploitations et des parcelles. De tels bilans peuvent ainsi être effectués pour apprécier des techniques de fumure et les comparer entre elles.

Toutefois, nous traitons ici de bilans plus globaux basés sur les pratiques traditionnelles de gestion des troupeaux laissant une large place à la mobilité entre les différentes composantes des terroirs, cultivées ou non, et libres d'accès pour les résidents ou accessibles par contrat à des transhumants.

Les différences de fréquentation entre parcelles cultivées en début de saison sèche dépendent aussi de l'attractivité relative pour les animaux des résidus de culture et même de la végétation adventice, des rejets de ligneux et de la qualité des fourrages disponibles. En fin de saison sèche, lorsque les ressources sont plus rares et quand les arbres et arbustes repartent en végétation, les animaux réinvestissent l'ensemble du terroir. Le choix par les agro-éleveurs des lieux de parcage nocturne relève de la priorité qu'ils donnent à la restauration de la fertilité de telle ou telle parcelle pour telle culture (Landais, Lhoste, Guérin, 1991).

L'émission des fèces et des urines étant régulièrement répartie au fil des heures, les excréta sont donc proportionnellement dispersés sur les différents faciès des parcours en fonction du temps que les animaux y passent, le reste étant concentré sur les aires de repos, parcs de nuit et lieux d'abreuvement. Suivant la diversité des systèmes fourragers et de conduite des animaux, ***c'est donc en moyenne la moitié des excréta qui peuvent être récupérés sur les parcs de nuit*** et aux environs des puits pour faire l'objet d'une gestion par les agro-éleveurs (Manlay et al., 2003). Quand le gardiennage collectif limite le temps de pâture à une demi-journée (cas des petits ruminants gardés par des bergers communautaires), c'est alors les trois quarts des fèces et des urines qui peuvent être récupérés. Pour des animaux d'embouche ou laitiers maintenus ***en stabulation la totalité des fèces et des urines peut être incorporée au fumier***. Cette pratique se développe dans les zones agricoles densément mises en culture.

5. Bilans globaux de restitutions d'éléments fertilisants par le bétail.

Le bilan des flux de matière organique, d'azote et de minéraux est donc fonction du régime et des quantités ingérées et des excréta. Le tableau 2 correspond à un animal moyen des systèmes traditionnels d'élevage avec un accès libre ou négocié aux différents types de ressources disponibles à l'échelle du terroir. Il résume les différents paramètres présentés ci-dessus. Il est important de pouvoir faire ces bilans dans les terroirs ou les exploitations en fonction des surfaces fourragères, des effectifs animaux, et de leur production (lait, viande, travail et leurs quantités). Il est ici donné des ordres de grandeur pour chacun des paramètres très variables. Ils peuvent être utilisés pour esquisser des évaluations théoriques de pertes de nutriments à l'échelle des terroirs. Toutefois, ils doivent être adaptés et précisés en fonction des effectifs par unité de surface, des modes de conduite (impact sur transfert et concentration), des niveaux d'intensification (exportation par les produits animaux), et des couverts végétaux liés à l'élevage (leur production de matière organique, fixation biologique d'azote dans le sol, etc.). Enfin, ces bilans doivent être mis en perspective avec les stocks dans le sol et les exportations par les productions végétales, bien supérieures.

Tableau 2 : Quantité de matière organique (MO, carbone (C), en azote (N) et en minéraux des compartiments « sol », « fourrage », « bétail », des restitutions par les « fèces » et les « urines » et des exportations par les « produits animaux » -

Les pertes en MO liées à la production de gaz de fermentation –CH₄- et respiration métabolique - CO₂ sont estimées équivalentes à –kg de MO /UBT /an

Les pertes en MO liées à la fermentation et à la minéralisation dans le sol sont estimées équivalentes à > 1000 kg de MO /ha /an

	COMPARTIMENTS				FLUX ANIMAL-TERROIR			EXPORTATIONS	
	Sol horizon 20cm	Fourrage (par tonne MS)		Animal UBT	Ingéré 2T MS /UBT/an	Restitution par excréta (animaux à l'entretien)		Produits animaux	
	kg/ha	Herbes annuelles des parcours naturels - paille céréale	Fane légumineuse	250 kg Poids vif		Fèces	Urines	100 kg poids vif	1000 l de lait vif
					Kg /UBT /an				
MO	22000	900	900	70	1800	800	+		
N	1000	6	17	8	20-40	15**	15**	3	7
P assimilable	13	1	2	2.2*	3-4	2-3**	0.5*	1	1
K	100	15	11	0.6*	20-25	3**	22**	0.25	1.3
Ca	700	2.7	10	5*	12	11**	1**	2	12
Mg	200	2.2	6.4	0.1*	10	9**	1**	0.05	0.1
Na		0.6	0.6	0.4*	1.2	1.2		0.15	0.43

*La matière organique du sol contient environ 50 % de carbone (Roose, 1981)

** Les pertes en MO liées à la production de gaz sont estimées équivalentes à 800 à 1200 de MO par UBT/an, donc 200 à 300 kg/ha pour une charge de 4 ha/UBT. Il s'agit d'une part de méthane (CH₄-moins de 10% du total) issu des fermentations dans le rumen et, d'autre part, de gaz carbonique (CO₂-plus de 90% du total) issu du rumen et surtout du métabolisme respiratoire. A noter que le CO₂ est recyclé dans les végétaux par la photosynthèse et ne fait pas partie des gaz à effets de serre. Par comparaison, les pertes en MO liées à la fermentation et à la minéralisation dans le sol sont estimées équivalentes à plus de 1000 kg de MO /ha/an.

*** Par différence entre les minéraux phosphore « ingéré – exporté » dans les produits animaux » (Meschy et al 1995) et aussi par l'application de leur ratio dans les excréta, urines et fèces (Lançon 1978)

6. Quelles innovations durables en fumure animale ?

Des pratiques traditionnelles et des techniques fumières innovantes (Chapitre 2.16. –Ganry) ont été largement partagées par des générations d'agro-éleveurs et de techniciens avec les mêmes objectifs : transfert, concentration, conservation et distribution du pouvoir fertilisant des excréta. Le parage des petits ruminants en dehors des périodes de pâturage, la stabulation des bovins affouragés à l'auge, les rotations des zones de parage dans les parcelles relèvent de ces stratégies traditionnelles de gestion qui incluent l'arbitrage de la fumure animale entre les cultures (Blanchard et al., 2013).

L'emploi des matières fécales des différentes espèces animales est aussi souvent différencié dans les exploitations agricoles en fonction de leur assolement, de leur organisation et des contraintes de transport ; par exemple, les excréments de petits ruminants gardés près des maisons sont souvent employés pour le maraîchage tandis que les poudrettes de parcs de bovins sont épandues sur les champs de céréales (Landais, Lhoste, Guerin, 1991).

Des innovations peuvent donc s'appuyer sur des pratiques ancestrales et empiriques de fumure animale progressivement enrichies de référentiels techniques accumulés au fil des dernières décennies.

Pourtant, force est de constater que, malgré les investissements de recherche et d'encadrement agricole, ces pratiques évoluent lentement chez de nombreux agriculteurs africains. Tant qu'elles étaient possibles, des solutions alternatives telles que la mobilité et la rotation des parcelles cultivées restaient prioritaires dans les stratégies des producteurs (Landais et al., 1991). La pression sur l'espace a donc stimulé l'adoption d'innovations que l'encadrement agricole a souvent peiné à promouvoir du fait de la charge de travail qu'elles occasionnaient sans en contrepartie assurer toujours un profit immédiat à court terme (Schleich, 1986). Quand de nouveaux systèmes de fumure sont adoptés, c'est principalement sous les effets des changements contextuels, notamment de réduction des réserves foncières et de suppression des jachères, de difficulté d'accès aux intrants qui, ensemble, menacent la fertilité du sol. Depuis l'avènement des approches systémiques, plus récemment des démarches d'innovation participatives (Blanchard et al, 2011), la question de la fumure animale est intégrée à des approches globales du fonctionnement des exploitations ; c'est le cas en particulier quand elle s'inscrit dans une trajectoire globale d'intensification avec notamment des ateliers d'embouche ou laitiers et qu'elle inclue des aménagements de terroirs par exemple avec des cultures en courbes de niveau et des plantations agroforestières. De même, avec l'intensification des productions végétales et animales sur de petites exploitations ayant des ateliers d'élevage laitier intensif l'amélioration des techniques pour agir sur la qualité des fumiers, limiter les pertes, d'azote en particulier, reste un objectif prioritaire (Salgado et al.2012).

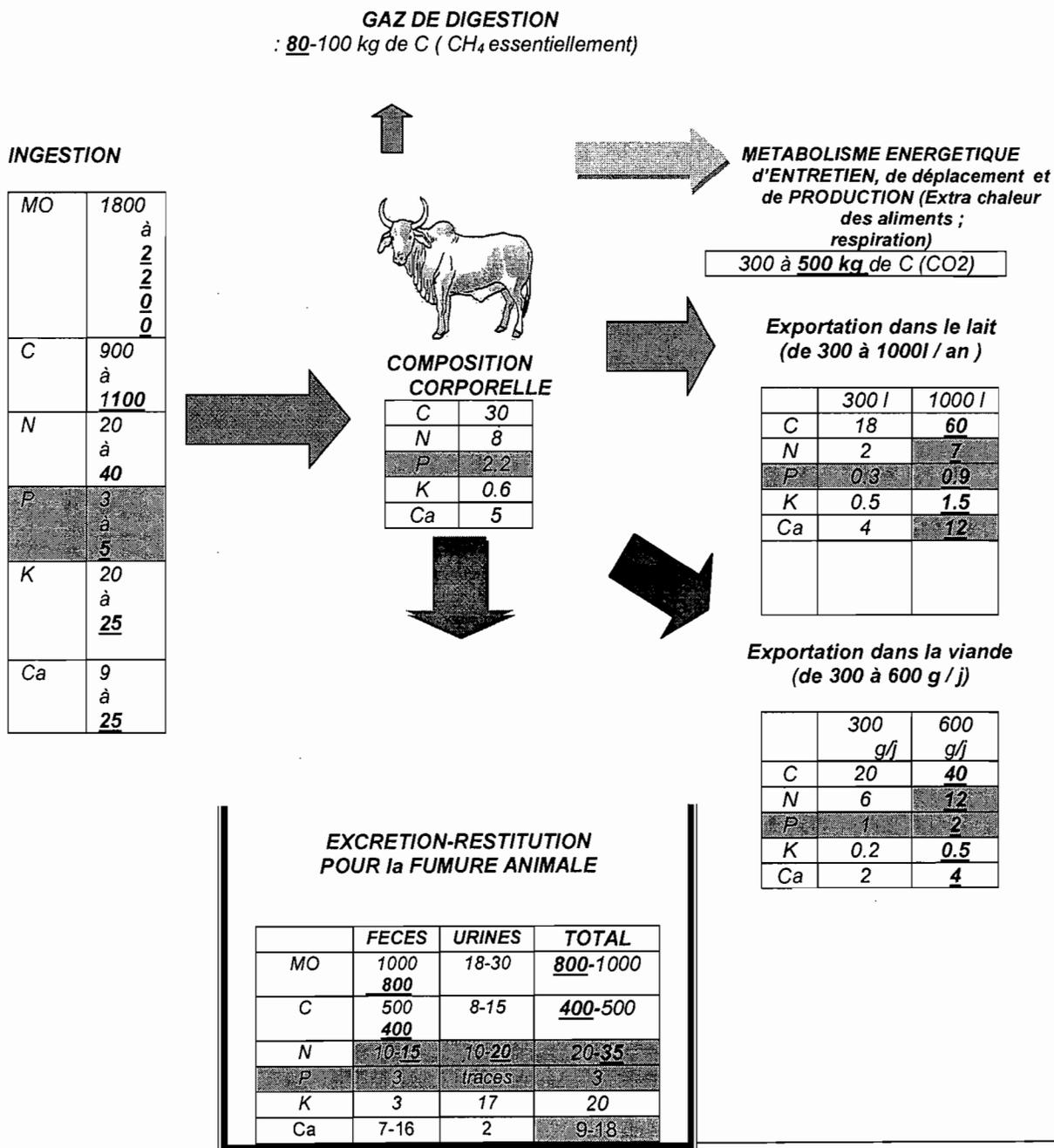
Les recommandations génériques doivent donc être spécifiées dans leurs contextes agricoles, en fonction des équipements nécessaires, des moyens de transport et de main-d'œuvre, du coût des matériaux. Schleich en 1986 a ainsi évalué les charges de travail et de transport de la fumure animale en fonction de la distance entre le fumier et le champ. Il a aussi évalué les gains de productivité nécessaires pour justifier ces charges supplémentaires pour les exploitants : de 15 à 100 % suivant le moyen de transport, la distance entre le stock de fumier et le champ et suivant la réserve foncière.

- **Figure 1: Bilan annuel (en kg par an) de l'utilisation de la matière organique, du carbone, de l'azote et des principaux minéraux pour un ruminant sahélo- soudanien. Cas d'un zébu à l'entretien, en production modérée de système extensif (300 l de lait par an ou 300 g de gain de poids vif journalier) ou semi intensifié (1000 l de lait par an ou 600 g de gain de poids vif).**

(En kg par an par UBT -250 kg de poids vif- et par an)



Elément critique limitant les performances ou pouvant donner lieu à carence nutritionnelle



7. Place de la fumure animale au cœur des perspectives agro-écologiques : ses limites au plan de la fertilité minérale

D'une façon générale, les techniques de gestion de la fumure animale ont évolué depuis longtemps dans des contextes de réserves foncières importantes au niveau des parcours naturels et des jachères.

Le transfert et la concentration, de la matière organique et des minéraux étaient alors la clé principale de l'efficacité de la fumure animale. Ceci pour les sols tropicaux, où, quels que soient les systèmes de production et leurs contraintes, il a été maintes fois montré que le phosphore est le principal facteur minéral limitant des cultures et des systèmes symbiotiques de fixation de l'azote. Il est aussi avec l'azote la principale cause de carences nutritionnelles du bétail. (figure 1)

Avec la densification agricole des terroirs et l'accroissement des cheptels, les espaces non cultivés contribuent de moins en moins aux systèmes fourragers. Dans ces conditions, le recyclage et la concentration à l'intérieur des espaces cultivés, y compris éventuellement dans le fumier, prennent le pas sur les transferts exogènes. La plus grande part des résidus de culture est donc mobilisée pour l'élevage ; c'est souvent aussi le cas pour les biomasses supplémentaires produites par les systèmes de semis direct sous couverture végétale (Dugué et al., Chap 3.4)

La recherche de systèmes de culture permettant une gestion plus économe de la matière organique et de l'azote, notamment par sa fixation symbiotique, contribue aussi à une augmentation des ressources fourragères de qualité et à l'intensification animale conjointement avec celle des productions végétales.

En revanche, au plan minéral les exportations de produits agricoles ne peuvent être compensées par les transferts spatiaux (cf. ci-dessus), ni même par la solubilisation accrue du phosphore total du sol par l'incorporation de fumier ou de compost.

En effet, l'accroissement de la commercialisation des productions végétales et animales, accentue encore l'exportation des minéraux en particulier du phosphore : les quantités en jeu dans le bétail vif, le croît du bétail embouché et la production laitière, (2 à 7 kilos par animal et par an) sont significatives comparativement aux stocks de phosphore disponible dans le sol (13 kg de phosphore par hectare – tableau 2) - et même comparativement au phosphore total candidat à la solubilisation (30 kilos par hectare – Roose 1981) (tableau 2 et figure 1)

Les bilans « phosphore » à l'échelle des terroirs, des parcelles et aussi des cheptels sont en conséquence de plus en plus critiques. L'intensification des systèmes mixtes agriculture élevage par l'amplification de processus écologiques exige donc de réexaminer en priorité les bilans minéraux en particulier aux échelles des parcelles. L'enrichissement du fumier en phosphore pour améliorer son pouvoir fertilisant et des apports ciblés de phosphore sur les cultures ou les arbustes ayant un potentiel symbiotique sont aussi souhaitables. Pour cela, les objectifs d'intensification écologique des systèmes agro-sylvo-pastoraux des régions sahélo soudaniennes devraient donc être soutenues par une révision des politiques en matière d'engrais.

Des apports d'azote et de potassium en fonction des systèmes de culture sont aussi à envisager. Il faut enfin gérer les propriétés physiques (la structure, notamment) et chimiques (pH notamment) par des amendements organiques (fumier notamment) et calcique si nécessaires (chaux, calcaire ou dolomie broyés). Les aménagements agroforestiers producteurs de matières organiques, fixateur d'azote symbiotique et mobilisateurs des minéraux des horizons profonds du sol sont à privilégier (Harmand et al., chap 2.4. et Peltier et al., chap 2.5)

De même, les objectifs d'accroissement des productions animales tant au plan démographique que des performances individuelles conduisent aussi à réévaluer les bilans nutritionnels minéraux. Même si les cultures fertilisées produisent déjà des pailles résidus enrichies en phosphore (Richard et al., 1989), l'amélioration significative des performances de croissance -engraissement, de reproduction et de

lactation nécessite aussi de relancer ou d'amplifier la complémentation minérale nutritionnelle.

Conclusion

L'utilisation de la fumure animale pour la fertilisation des champs est pratiquée par les paysans depuis fort longtemps. Divers itinéraires techniques de fabrication de poudrette améliorée ou de fumier ont été proposés par les structures de développement avec des succès limités. C'est surtout dans le cadre d'opportunités économiques pour l'élevage (l'embouche bovine ou ovine ou la production laitière), couplées avec des stratégies de gestion et d'intensification des ressources fourragères ou pour des cultures d'exportation (coton, arachide) que l'utilisation de la fumure animale s'est développée.

Les systèmes de production comprenant des activités agricoles et d'élevage sont très variés tout comme les produits de fumure sont divers en qualité, quantité et disponibilité. Cette diversité est liée à l'espèce animale et à son mode de conduite. Elle est prise en compte pour les choix des produits de fumure dont la qualité peut être améliorée (Ganry et al., Chap 2.9. et Salgado et al, 2012, Blanchard et al, 2013). Vu l'importance du travail pour transporter les biomasses exigées, la production de fumier doit s'inscrire dans des projets globaux d'exploitation.

Les contraintes sur l'espace et le prix des engrais minéraux s'accroissant, les nouvelles pratiques de gestion de la fumure animale gagnent cependant en pertinence aux yeux des agriculteurs éleveurs. Mais, sous l'effet de l'emprise agricole, les parcours naturels et jachères contribuent de moins en moins aux systèmes fourragers. La biomasse végétale manque tant pour les sols cultivés que pour les animaux. De plus, l'accroissement des productions végétales et animales, par de très fortes dynamiques démographiques des cheptels destinés à la commercialisation, accroît les exportations en éléments fertilisants et le risque de dégradation de la fertilité dans ses composantes physiques et chimiques. L'optimisation de la gestion des matières organiques résiduelles des cultures et de la fumure animale ne peut plus suffire à entretenir la fertilité des sols aux plans minéral et organique.

Il faut donc réévaluer ces bilans minéraux négatifs, pour les corriger par des apports raisonnés de minéraux, particulièrement en phosphore, principal facteur de carence en agriculture et en élevage. Des apports d'azote et de potassium en fonction des systèmes de culture sont aussi à envisager. Il faut enfin gérer les propriétés physiques (structure notamment) et chimiques du sol (pH notamment) par les amendements organiques (fumier, etc.) et calciques si nécessaire (chaux, calcaire, dolomie broyés).

Les aménagements agroforestiers producteurs de matière organique et d'azote symbiotique, mobilisateurs des minéraux des sols profonds sont à privilégier. C'est donc dans des contextes de densification agricole et de productions accrues qu'il faut reconsidérer les politiques d'emploi des engrais minéraux au cœur de stratégies d'intensification écologique.

Références

- Blanchard M., Vayssières J. Dugué P., Vall E., 2013. Local technical knowledge and efficiency of organic fertilizer production in South Mali : diversity of practices. *Agroecology and sustainable Food Systems*, 37, : 672-699.
- Dongmo A., Vall E., Dugué P., Njoya A., Lossouarn J., 2012. Designing a process of co-management of crop residues for forage and soil conservation in Sudano-Sahel. *Journal of Sustainable Agriculture* 36, 1 : 106-126.
- Feller C., 1979. Une méthode de fractionnement granulométrique de la matière organique des sols : application aux sols tropicaux, à textures grossières, très pauvres en humus *Cah. ORSTOM, sér. Pédol., vol. XVII, no 4, : 339-346*
- Ganry F., Thuriès L., 2014. Intérêt du fumier pour restaurer la fertilité des sols en zone semi-aride d'Afrique. In : « *La restauration des sols tropicaux et méditerranéens* » E. Roose eds, Editions IRD Marseille, sous presse.

- Guerin H., Heinis V., Richard D. 1991.** Composition minérale des fourrages sahéliens : conséquences pour la nutrition des ruminants domestiques In : *Elevage et potentialités pastorales sahéliennes : synthèse thématique.* s/CIRAD-IEMVT; CTA. - Maisons-Alfort : CIRAD : 5-6
- Guerin H., Richard D., Friot D., Mbaye N., Koné A.R. 1988.** Intérêt du dosage de la lignocellulose (ADF) et de différentes fractions azotées pour prévoir la valeur nutritive des fourrages naturels sahéliens. *Reproduction, Nutrition, Développement*, 28 (1, su) (suppl.) : 111-112
- Guerin H., Richard D., Duché A., Lefèvre P., 1990.** Composition chimique des fèces de bovins, d'ovins et de caprins exploitant des parcours naturels ou agro-pastoraux sahélo-soudaniens : utilisation pour estimer la valeur nutritive de leur régime. *Reproduction, Nutrition, Développement*, n. suppl. 2, p. 1675-1685. .
- Guerin H., Sall C., Friot, D. Ahokpé B., Ndoye A., 1986.** Ebauche d'une méthodologie de diagnostic de l'alimentation des ruminant domestiques dans un système agropastoral : l'exemple de Thyssé - Kaymor - Sonkorong au Sénégal In : Cahiers de la recherche développement = ISSN 0760-579X. - n°9-10 : 60-69
- Lançon J., 1978.** Les restitutions du bétail au pâturage et leurs effets. *Fourrages*, 75 : 55-88 et 76 :91-122.
- Landais E., Lhoste P., Guerin H., 1991.** Systèmes d'élevage et transferts de fertilité.
In : Piéri C. (ed.), *Savanes d'Afrique, terres fertiles?*. Paris, France, Min. de la Coopération et du Développement :. 219-270
- Lecomte P., Boval M., Guerin H., Ickowicz A., Huguenin J., Limbourg P., 2004.** Carbone et élevage de ruminants. In : Roose E., De Noni G., Prat Ch., Ganry F., Bourgeon G.. *Gestion de la biomasse, érosion et séquestration du carbone.* Bull. Réseau Erosion: IRD, : 220-235
- Manlay R., Ickowicz A., Masse D., Floret Ch., Richard D., Feller Ch., 2003.** Spatial carbon, nitrogen and phosphorus budget of a village in the West African savanna : I. Element pools and structure of a mixed-farming system. II. Element flows and functioning of a mixed-farming system. *Agricultural systems* 79, 1, 55-81 et 83-107...
- Meschy F., Gueguen L., 1995.** Ingestion et absorption des éléments minéraux majeurs. Chapitre 20 p : 720-758 _ in : *Nutrition des ruminants domestiques : ingestion et digestion.* Jarrige R.,Rückebusch Y., Demarquilly, Farce M., Journet M.,edits. INRA Editions Paris : 921 p.
- Richard D., Guerin H., Fall S.T., 1989.** Feeds of the dry tropics (Sénégal) - In : Jarrige Robert (ed.). *Ruminant nutrition. Recommended allowances and feed tables.* Paris : INRA, 325-346 et 370
- Roose E., 1981.** Dynamique actuelle de sols ferrallitiques et ferrugineux tropicaux d'Afrique occidentale. Travaux et documents ORSTOM n° 130, 640p.
- Roose E., Sabir M., Laouina A., 2010.** Gestion durable de l'eau et des sols du Maroc. Valorisation des techniques traditionnelles méditerranéennes. IRD Editions, Marseille, 343 p.
- Salgado P., Rarivoarimanana B., Andriarimalala J., Nabeneza S., Tillard E., Decruyenaere V., Lecomte Ph., 2012.** Pratiques paysannes et qualité fertilisante du fumier dans la région du Vakinankaratra et d'Amoron'i Mania Madagascar. Programme CIEEL, 2 p
- Schleich K. 1986.** Le fumier peut-il remplacer la jachère ? Possibilité d'utilisation du fumier : exemple de la savane d'Afrique occidentale. *Revue d'élevage et de médecine vétérinaire des pays tropicaux*, 39, 1 : 97-102.
- Sven G. S. , Morten L. C, Thomas S, Lars S. J., 2013.** Animal Manure Recycling: Treatment and Management. John Wiley & Sons, ed. ,. 384 pages



Troupeau de bovins au piquet sur litière de mil : poudrette de parc imprégnée d'urines
(Photo Guérin, IEMVT)

**Restauration de la productivité
des sols tropicaux et méditerranéens**

Contribution à l'agroécologie

Version préliminaire



Eric ROOSE
Editeur scientifique

IRD Editions
INSTITUT DE RECHERCHE POUR LE DEVELOPPEMENT
MONTPELLIER, JUILLET 2015