

# Effet de l'intensification de l'élevage et d'une gestion améliorée de la fumure animale sur l'efficacité d'utilisation de l'azote en systèmes mixtes agriculture-élevage au centre du Sénégal

WADE C.(1,3,4), VAYSSIÈRES J.(1), THIAM M.B.(2), DIAW M.T.(3), FAYE A.(4), DIENG A.(3), LECOMTE P.(1)

(1) CIRAD, Umr SELMET, Dp PPZS, ISRA Hann, BP 2057, Dakar - Sénégal

(2) ISRA, LNERV, BP 2057, Dakar - Sénégal

(3) Université de Thiès, ENSA, BP A296, Thiès - Sénégal

(4) ISRA, CNRA, BP 51, Bambey - Sénégal

## RESUMÉ

L'efficacité d'utilisation des nutriments est l'un des défis majeurs d'une production agricole durable. Les systèmes polyculture-élevage dominant en Afrique subsaharienne ; ils sont essentiellement à bas niveau d'intrants. L'azote dans ces systèmes est recyclé en plusieurs étapes pouvant occasionner des pertes importantes. Cette étude analyse les flux d'azote dans trois systèmes mixtes « ruminants-céréales sèches » du bassin arachidier du Sénégal. Les flux apparents d'azote ont été quantifiés dans 5 fermes pour une année complète en vue de comparer i) un système extensif basé sur l'élevage mobile de zébus et le pâturage des résidus de culture et de la végétation spontanée (système 1), ii) à un système intensif basé sur l'embouche traditionnelle de zébus à l'étable (système 2) et iii) à un système intensif amélioré, proche du système 2, incluant des pratiques améliorées de gestion du fumier telles que la couverture du tas de fumier et son enfouissement à l'épandage (système 3). Trois types d'efficacité ont été calculés : l'efficacité alimentaire (NPE), l'efficacité de recyclage (NRE), et l'efficacité globale (NFE). A l'échelle de l'exploitation, la NFE augmente du système 1 au système 3 (de 38% à 89%, respectivement). La NPE est plus élevée que la NRE en système 1 (26% contre 12%) et en système 2 (40% contre 18%). Pour le système 3, la NRE est augmentée de façon importante grâce aux pratiques améliorées de gestion du fumier. Par conséquent, la transition d'un système d'élevage extensif vers un système d'élevage plus intensif a un impact positif sur la productivité des ruminants et des cultures, surtout si cette intensification est associée à des pratiques améliorées de gestion du fumier. La distinction de trois types d'efficacité met en question la vision classique de la faible efficacité des systèmes agricoles tropicaux car elle souligne leur capacité élevée à recycler les éléments nutritifs.

## Effect of livestock intensification and improved manure management on nitrogen use efficiency in mixed crop-livestock systems in central Senegal

WADE C.(1,3,4), VAYSSIERES J.(1), THIAM M.B.(2), FAYE A.(3), DIAW M.T.(4), DIENG A.(4), LECOMTE P.(1)

(1) CIRAD, Umr SELMET, Dp PPZS, ISRA Hann, BP 2057, Dakar - Senegal

## SUMMARY

Efficient use of nutrients is one of the major challenges of sustainable agricultural production. Mixed crop-livestock systems dominate in sub-Saharan Africa; they are essentially low-input systems. Nitrogen in these systems is recycled in several stages, losses at each stage may be important. This study analyses nitrogen cycle in three different mixed "ruminant-dry cereal" systems in the former groundnut basin of Senegal. Apparent nitrogen flows were quantified in 5 farms for a full year to compare i) a free-grazing extensive system (system1), with ii) a traditional fattening intensive system (system2) and iii) an improved intensive system, close to the system 2, including improved manure management practices such as the coverage of manure heaps and the underground manure incorporation on crop fields (system3). Three types of efficiency have been calculated: the Nitrogen food Production Efficiency (NPE), the Nitrogen Recycling Efficiency (NRE) and the Nitrogen Full Efficiency (NFE). At the farm level, the NFE increased from system1 to system3 (from 38% to 89%, respectively). NPE was higher than the NRE in system1 (26% against 12%) and system2 (40% against 18%). In system3, NRE has been significantly increased by improved manure management. Consequently, livestock intensification has significant positive effects on both livestock and crop productivities, especially if livestock intensification is coupled with improved manure management. Distinguishing the three different efficiencies put into question the classical vision of the low efficiency of tropical farming systems by underlying their high ability to recycle nutrients.

## INTRODUCTION

La grande majorité des systèmes agricoles d'Afrique sub-Saharienne sont mixtes (Herrero *et al.*, 2010). Ils se basent sur la complémentarité entre l'élevage, les cultures et les parcours naturels (Jouve, 2001 ; Bénagabou *et al.*, 2017). Du fait d'un accès difficile aux engrais minéraux, l'entretien des rendements culturels dépend en grande partie des apports de matière organique d'origine animale via le parcage nocturne des animaux conduits en libre pâturage (Landais et

Lhoste, 1993). En réponse à des besoins vivriers croissants, les populations rurales tentent d'augmenter leur production par une extension des surfaces cultivées. Ce qui se traduit alors par une réduction de la jachère, des parcours, des pâturages et donc par un risque de diminution des effectifs de troupeaux conduits en libre pâture (Vayssières *et al.*, 2015). Ces dynamiques questionnent l'entretien de la fertilité des sols et le maintien des rendements culturels, car les exportations de nutriments ne sont plus nécessairement compensées par un apport équivalent sous forme de fumure organique (Dugué, 1985). La réduction des effectifs des

troupeaux extensifs est souvent accompagnée de nouveaux systèmes d'élevage plus intensifs, dit « d'embouche », moins mobiles, ayant d'avantage recours aux ressources alimentaires extérieures du type aliments concentrés. Ces nouveaux systèmes s'accompagnent d'une production de fumure organique plus importante (Wade *et al.*, 2016) et pourraient donc avoir des effets bénéfiques sur l'intensification des productions végétales si cette fumure organique est convenablement gérée (Vayssières *et al.*, 2016). Les travaux de recherches conduits en Afrique de l'Ouest durant ces 30 dernières années ont démontré que les nutriments, l'azote (N) en particulier, constituent un facteur limitant majeur de la productivité des sols et des cultures (Schlecht *et al.*, 2006; Rufino *et al.*, 2009). Des pertes se produisent au cours des différentes étapes du recyclage de l'azote, ce qui peut conduire à une réduction de l'efficacité d'utilisation des nutriments (Rufino *et al.*, 2007). Alors que les systèmes mixtes polycultures-élevage en Afrique subsaharienne ont peu accès aux engrais minéraux, l'intensification de l'élevage grâce à de meilleures pratiques d'alimentation peut permettre d'améliorer les apports d'azote via l'épandage de fumier sur les parcelles cultivées. Cette étude vise à évaluer comment l'intensification des systèmes d'élevage associée à une meilleure gestion du fumier peut conduire à une amélioration de l'efficacité des systèmes mixtes agriculture-élevage.

## 1. CONTEXTE DE L'ÉTUDE

### 1.1. LE CAS D'ÉTUDE

L'étude de cas s'intéresse aux systèmes agricoles *Sereers* au cœur du bassin arachidier situé dans la partie soudano-sahélienne du Sénégal. C'est une zone agricole particulièrement dynamique, avec une pression démographique élevée et croissante, illustrative des dynamiques qui pourraient être observées dans les prochaines décennies, plus généralement en Afrique de l'Ouest. Pour maintenir des animaux dans les terroirs villageois, les stratégies d'adaptation ont été différentes selon les villages (Dugué, 1985). Certaines communautés villageoises ont conservé la jachère commune, tandis que d'autres ont développé des systèmes agricoles intensifs autour de la pratique de l'embouche et valables pour des densités humaines plus importantes (Audouin *et al.*, 2015). Cette étude s'intéresse à deux villages voisins du bassin arachidier sénégalais: Diohine et Bary Sine. Les expérimentations ont été réalisées sur un échantillon de 5 fermes, dont 2 à Diohine et 3 à Bary Sine. Les 2 fermes de Diohine correspondent au système 1, les 3 fermes de Bary Sine correspondent aux systèmes 2. Le système 3 a été co-construit et expérimenté chez les 3 agriculteurs du système 2 (cf. définitions ci-dessous).

### 1.2. LES SYSTÈMES ÉTUDIÉS

Trois systèmes mixtes céréales sèches – zébus avec des

pratiques d'alimentation et de gestion de la fumure animale différentes ont été comparés (Figure 1).

- le **système « extensif » (système 1)**, pratiqué à Diohine, est caractérisé par des pratiques agricoles à tendance traditionnelle basées sur une jachère commune, le pâturage des troupeaux sur la végétation herbacée spontanée et les résidus de récolte, et le parcage nocturne des ruminants sur les futures parcelles de cultures ;

- le **système « intensif » (système 2)**, pratiqué à Bary Sine, est caractérisé par la pratique de l'embouche traditionnelle de ruminants nourris à l'étable avec des aliments concentrés et des résidus de céréales, et la production de fumier destiné à fertiliser les parcelles de cultures ;

- et le **système « intensif amélioré » (système 3)** qui n'est pas encore pratiqué, en routine, mais co-conçu et expérimenté chez les agriculteurs du système 2 à Bary-Sine en vue de limiter les risques de perte d'azote intervenant durant le stockage et l'épandage du fumier. Il est proche du système 2 avec des techniques améliorées de gestion et d'utilisation du fumier produit. Il s'agit de la couverture du tas de fumier au cours du stockage et l'enfouissement du fumier dans les lignes de semis du mil durant l'épandage.

En pratique, dans chaque exploitation de Bary Sine, le fumier produit par les animaux à l'étable a été quotidiennement réparti en 2 tas : un tas laissé à ciel ouvert (système 2) et un tas couvert par une bâche (système 3). Au moment de l'épandage, le fumier non couvert est apporté en surface (système 2) et le fumier couvert est enfoui dans le sol (système 3). Dans les deux cas, les apports se font dans deux parcelles proches et de mêmes caractéristiques (type de sol, précédent cultural, etc.) afin de permettre la comparaison des systèmes 2 et 3.

Etant donné le haut niveau de compétition autour des biomasses disponibles au niveau des terroirs villageois, l'excédent de pailles produit au champ est exporté de l'exploitation vers d'autres exploitations du terroir quel que soit le système considéré. Il est soit consommé par vaine pâture par d'autres troupeaux (système 1), soit échangé ou vendu (systèmes 2 et 3).

### 1.3. ÉVALUATION DES EFFICIENCES AZOTEES

Trois types d'efficacités azotées ont été calculés aux échelles des sous-systèmes animal, fumier, sol- plante et à l'échelle globale de l'exploitation. L'évaluation de ces efficacités a été faite suivant deux étapes: i) la quantification des flux de biomasses traversant chaque étape dans les 5 fermes suivies et ii) leur convention en flux d'azote selon les teneurs en azote des biomasses.

Pour le sous-système animal, la mesure des flux de biomasse entrant a été effectuée par « collecte du berger » (Système 1) ou par pesée directe des rations à l'auge (systèmes 2 et 3). Les bouses excrétées ont été quantifiées grâce à des culotes de collecte sur animaux mobiles (système 1) ou directement prélevées au sol dans le cas d'animaux à l'étable (systèmes 2 et 3).

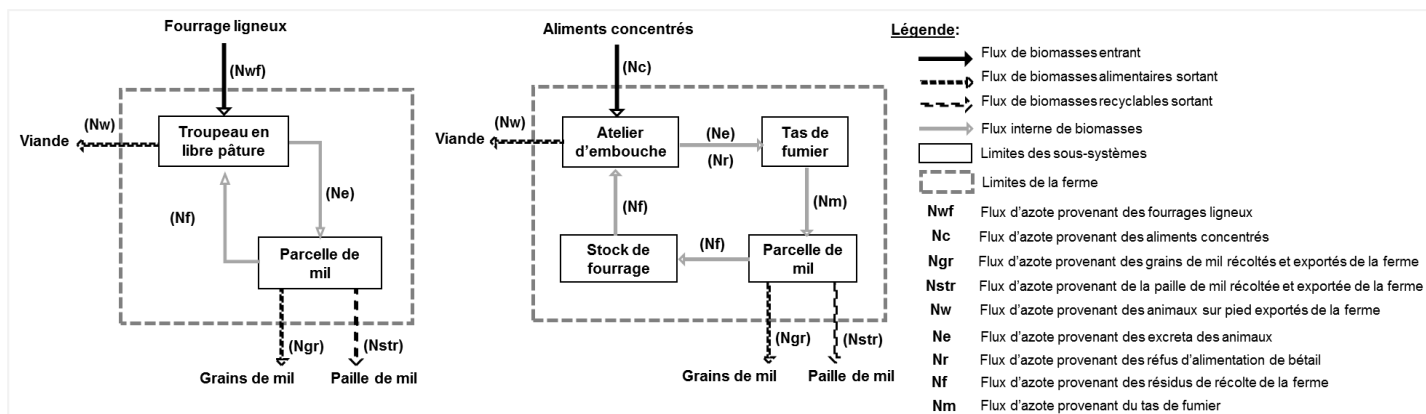


Figure 1 : Modèle conceptuel des flux de biomasse au niveau de la ferme (système 1 à gauche et systèmes 2 et 3 à droite)

S'agissant du fumier et des produits de cultures, des pesées au niveau du tas de fumier et au champ ont été effectuées.

Les teneurs azotées des biomasses reposent sur des analyses chimiques des biomasses prélevées dans les fermes suivies, à l'exception des urines et des animaux sur pieds, dont les teneurs azotées ont été reprises de références bibliographiques. Les flux d'azote non apparents (lessivage, volatilisation, lixiviation, fixation racinaire, déposition atmosphérique, etc.) n'ont pas été mesurés et ont été estimés par défaut de bilan.

Les biomasses sortant à chaque étape sont soit utilisées pour l'alimentation humaine soit recyclées vers l'étape suivante. Ainsi on a distingué l'efficacité alimentaire de l'azote (NPE), l'efficacité de recyclage de l'azote (NRE) et l'efficacité globale de l'azote (NFE). Pour chaque étape, la NPE correspond au ratio entre les sorties d'azote alimentaires et les entrées d'azote. La NRE est le ratio entre les sorties azotées recyclables et les entrées d'azote. La NFE, quant à elle, est le ratio entre les sorties d'azote recyclables et alimentaires et les entrées d'azote.

- Au **sous-système animal** : les entrées d'azote (Ni) correspondent aux fourrages (Nf) (dont les fourrages ligneux Nwf) et aux aliments concentrés (Nc) ingérés ; les sorties d'azote sont sous forme de viande (Nw) et d'excréta (Ne) (l'urine (Nu) et la bouse (Nd)) (Equations 1 et 2).

$$(1) NPE_{animal} = \frac{Nw}{Nf + Nc} \quad (2) NRE_{animal} = \frac{Nu + Nd}{Nf + Nc}$$

- Au **sous-système fumier** : l'azote apporté quotidiennement au tas de fumier provient des excréta (Ne) et des refus d'aliments (Nr) qui constituent le fumier « immature ». L'azote total provenant du tas de fumier après stockage (Nm) est la seule sortie « utile ». Le fumier n'est pas comestible, la NPE est donc nulle (Equation 3).

$$(3) NRE_{fumier} = \frac{Nm}{Ne + Nr}$$

- Au **sous-système sol-plante** : les entrées d'azote sont le fumier mûre (Nm) épandu pour les systèmes 2 et 3 et les excréta (Ne) pour le système 1. Les sorties sont réparties entre l'azote contenu dans les grains (Ngr) et la paille de mil récoltée (Nstr) (Equations 4 et 5).

$$(4) NPE_{sol\_plante} = \frac{Ngr}{Nm \text{ ou } Ne} \quad (5) NRE_{sol\_plante} = \frac{Nstr}{Nm \text{ ou } Ne}$$

- Au **niveau de la ferme** : seuls les flux d'azote entrant et sortant de la ferme sont considérés (Equations 6 et 7). Les flux de résidus de culture excédentaires (Nstr) à destination d'autres troupeaux sont recyclés dans d'autres exploitations

du terroir villageois, ils interviennent donc dans le calcul de NRE.

$$(6) NPE_{ferme} = \frac{Ngr + Nw}{Nwf + Nc} \quad (7) NRE_{ferme} = \frac{Nstr}{Nwf + Nc}$$

## 2. RÉSULTATS

Le **tableau 1** résume les principaux résultats de cette étude. A l'échelle de la ferme, la NFE augmente du système 1 au système 3 (soit 38%, 58% et 89% pour les systèmes 1, 2 et 3 respectivement). La NPE est plus élevée que la NRE en système 1 (26% contre 12%) et en système 2 (40% contre 18%). Cependant, en système 3, la NPE est plus faible que la NRE (42% contre 47%), la NRE a été significativement améliorée par les nouvelles techniques de gestion du fumier. La NPE est nulle au sous-système fumier et faible aux sous-systèmes animal et sol-plante (entre 9 et 27%). La NPE au sous-système animal peut être significativement améliorée par le changement des pratiques d'alimentation animale (10% pour le système 1 contre 27% pour les systèmes 2 et 3). En revanche, la NRE est globalement élevée dans tous les 3 systèmes quelque-soit le sous-système considéré (entre 45 et 92%).

Le sous-système animal est marqué par des NRE très élevées. L'essentiel de l'azote ingéré par les animaux suivis a été restitué dans les fèces et les urines (90% chez les animaux divagants et 73% pour les animaux en stabulation).

Le stockage et l'épandage du fumier sont des étapes critiques quant aux risques de perte d'azote. Elles offrent une large marge de progrès. La NRE a été améliorée de +24,6% et +104% respectivement par la couverture du tas de fumier et par l'enfouissement du fumier dans la parcelle.

Au sous-système sol-plante, du fait des pertes d'azote au cours de l'épandage du fumier et des exportations importantes d'azote via la paille de mil, de faibles NPE ont été observées. Par contre, la NRE a atteint 92% en système 3 contre 46% en système 1 et 45% en système 2.

## 3. DISCUSSION

L'essentiel de la littérature sur l'efficacité azotée s'intéresse à l'efficacité de production (Rufino *et al.*, 2006). La distinction de trois types d'efficacité (NPE, NRE and NFE) remet en question la vision classique indiquant un faible niveau d'efficacité des systèmes agricoles tropicaux. L'efficacité de recyclage, particulièrement élevée au niveau du sous-système animal (entre 73 et 90%), souligne la fonction importante de l'élevage dans le recyclage des nutriments et leur mise à la disposition aux cultures.

**Tableau 1** : Efficacités azotées aux échelles des sous-systèmes animal, fumier et sol-plante, et à l'échelle de la ferme

|                                | Efficacité alimentaire de l'azote (NPE, %) |           |           | Efficacité de recyclage de l'azote (NRE, %) |           |           | Efficacité globale de l'azote (NFE, %) |           |           |
|--------------------------------|--|-----------|-----------|---|-----------|-----------|--|-----------|-----------|
|                                | Système 1                                  | Système 2 | Système 3 | Système 1                                   | Système 2 | Système 3 | Système 1                              | Système 2 | Système 3 |
| Sous-système <b>Animal</b>     | 10   | 27        | 27        | 90  | 73        | 73        | 100                                    | 100       | 100       |
| Sous-système <b>Fumier</b>     | 0  | 0         | 0         | 0   | 60        | 76        | 0                                      | 60        | 76        |
| Sous-système <b>Sol-plante</b> | 15   | 16        | 9         | 46  | 45        | 92        | 61                                     | 61        | 101       |
| <b>Ferme</b>                   | <b>26</b>                                  | <b>40</b> | <b>42</b> | <b>12</b>                                   | <b>18</b> | <b>47</b> | <b>38</b>                              | <b>58</b> | <b>89</b> |

Les urines constituent une ressource clé avec des teneurs en azote élevées. Elles sont généralement exposées à des risques importants de pertes. Néanmoins, elles sont mieux valorisées en système extensif divagant grâce à la pratique du parage nocturne des troupeaux. Dans les systèmes intensifs, des efforts peuvent être envisagés en vue d'améliorer la collecte et l'utilisation de ce produit et augmenter les retours d'N aux parcelles de culture.

La principale limite de cette étude réside dans l'évaluation des différentes pertes potentielles durant le processus de recyclage de l'azote. Ces pertes ont été estimées par défaut de bilan. Au niveau du tas de fumier, elles ont été estimées à 24 et 39% de l'azote stocké, ce qui s'accordent avec les rares données de la littérature disponibles pour les systèmes tropicaux (Tittonell *et al.*, 2010). L'excrétion urinaire a été aussi estimée via l'ingestion d'azote et selon une fonction de régression linéaire basée sur la littérature (Grange *et al.*, 2016).

La principale perspective serait de compléter le dispositif par des mesures des pertes in situ (Rosenstock *et al.*, 2013), en systèmes réels, le long du cycle de l'azote pour évaluer les excréments d'azote urinaire et les pertes d'azote dues aux émissions gazeuses, au lessivage et au ruissellement.

## CONCLUSION

Dans un contexte de forte croissance de la demande en produits céréaliers et animaux en Afrique subsaharienne, ces résultats montrent la pertinence d'une intensification durable des systèmes agro-pastoraux basés sur l'intensification de l'élevage. Les systèmes étudiés et actuellement pratiqués au centre du Sénégal se caractérisent par un niveau élevé de recyclage des biomasses et de l'azote. Cependant, les pratiques actuelles de collecte des urines, de stockage et d'épandage du fumier entraînent des pertes significatives d'azote et réduisent l'efficacité globale de recyclage de l'azote des systèmes intensifs. Cette étude montre que l'amélioration des pratiques de gestion du fumier augmente de manière significative l'efficacité azotée globale. Des travaux supplémentaires sur l'amélioration de la collecte des urines et ses effets sur la productivité et l'efficacité des exploitations sont nécessaires.

Ce travail est réalisé avec le support du Projet WAAPP EFEFAECES financé par la Banque Mondiale.

**Audouin E., Vayssières J. *et al.* 2015.** IRD, Marseille, France, 30 p.  
**Bénagabou O.I., Blanchard M. *et al.* 2017.** Revue Elev. Méd. Vét. Pays Trop., 70 (2), 31-41.  
**Dugue P., 1985.** Cah. Rech.-Dév., 7: 28-37.  
**Grange G., Vayssières J. *et al.* 2016.** SupAgro, Montpellier, 48 p.  
**Herrero, M., Thornton, P.K. *et al.* 2010.** Science 327: 822–825.  
**Jouve P., 2001.** IRD, Paris, France, 1-20.  
**Landais É., Lhoste P., 1993.** Cahiers Agricultures, 2, 9–25pp.  
**Rosenstock T.S., Rufino M.C. 2013.** Env. Res. Let. 8,021003.  
**Rufino M. C., Rowe E. C. *et al.* 2006.** Agr. Ec. Env. 112: 261–282.  
**Rufino M. C., Tittonell P. *et al.* 2007.** Liv. Sci. 112 (3): 273–87.  
**Rufino M. C., Hengsdijk H. *et al.* 2009.** Nutr. Cyc. Agr. 84: 229-247.  
**Schlecht E., Buerkert A. *et al.* 2006.** Nutr. Cyc. Agr. 76: 109-136.  
**Tittonell P., Rufino M. C. *et al.* 2010.** Plant and Soil 328: 253-269.  
**Vayssières J., Blanchard M. *et al.* 2015.** 5th Farming System Design Conference, Montpellier, France, 2 p.  
**Vayssières J., Birnholz C. *et al.* 2016.** GGAA2016, Australia, 1 p.  
**Wade C., Vayssières J. *et al.* 2016.** ENSA, Thiès, Sénégal, 68 p.