



## Bilan de l'azote et du phosphore dans les exploitations agricoles de la région de Thiès au Sénégal

Saliou NGOM<sup>1\*</sup>, Mamadou BOCAR THIAM<sup>1</sup>, Traoré El HADJI<sup>1</sup>, El hadj TOURE<sup>2</sup>, Ibrahim CISSE<sup>1</sup> et Diop MOUSSOUKHOYE<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Institut Sénégalais de Recherches Agricoles, BP 2057, Dakar, Sénégal.

<sup>2</sup>Ecole Inter-Etats de Science et de Médecine Vétérinaires (EISMV), Université Cheikh Anta Diop, BP 5077, Dakar, Sénégal.

<sup>3</sup>Laboratoire des Produits Naturels (LPN), Département de Chimie, Faculté des Sciences et Techniques, Université Cheikh Anta Diop de Dakar, B.P. 5005 – Fann, Sénégal.

\* Auteur correspondant, E-Mail : [ngomsaliou@gmail.com](mailto:ngomsaliou@gmail.com) ; Tel : 00221 77 651 93 04, Fax : 00221 33 832 36 79

---

### RESUME

Dans la zone des Niayes de Thiès au Sénégal, un système d'exploitation agricole intégrant l'agriculture et l'élevage est largement adopté. L'aviculture est généralement associée au maraîchage avec une utilisation simultanée des engrais chimiques et des déchets organiques issus des élevages. Le bilan des minéraux essentiels (azote et phosphore) à l'échelle de l'exploitation agricole et de ses indicateurs de fonctionnement ont été estimés à l'aide d'enquêtes et d'analyses de laboratoire. Les bilans positifs obtenus au niveau de toutes les exploitations prospectées ont montré des excédents d'azote (N) et de phosphore (P) élevés avec des valeurs moyennes de 1455,38 et 76,59 kg/ha/an, respectivement. Les pertes de N et de P sont importantes et restent indépendants de l'effectif des sujets. Les indicateurs de fonctionnement calculés pour l'azote et le phosphore traduisent leur mauvaise gestion dans les exploitations avec des indices de gaspillage respectifs de 12,74 et de 1,90 kg.

© 2013 International Formulae Group. All rights reserved.

**Mot clés :** Minéraux, indicateurs de fonctionnement, exploitations agricoles, Sénégal.

---

### INTRODUCTION

Dans la zone des Niayes au Sénégal, la croissance démographique élevée (2,7%) et l'urbanisation accélérée sur l'axe Dakar-Thiès ont engendré une réduction considérable des espaces agricoles. Parallèlement, en milieu rural, les productions agricoles sont très faibles et ne parviennent plus à ravitailler les centres urbains en denrées alimentaires. Dans un tel contexte, les producteurs ont été amenés à développer en milieu urbain un modèle

d'exploitation agricole intégré pour répondre à la forte demande des populations en produits agricoles périssables.

Les systèmes agricoles mixtes avec les interactions entre les cultures et l'élevage, en particulier l'aviculture, ne cessent de gagner du terrain grâce à l'utilisation active des déjections avicoles dans la fertilisation et l'amendement des surfaces agricoles. La litière de volaille est considérée comme un engrais de premier choix pour les cultures

horticoles. Du fait de ses valeurs agronomiques appréciées par les producteurs, elle est devenue une ressource économique importante et occupe de plus en plus une grande partie dans la filière de commercialisation des engrais organiques. Cependant, la mauvaise gestion de la matière organique produite en grande quantité dans ces élevages peut entraîner des nuisances graves pour l'environnement, notamment la pollution de l'eau et du sol par le phosphore et les nitrates (Berdai et al., 2004 ; Chambaut, 2006). Par ailleurs, la volatilisation de l'ammoniac, engendrée par les déjections animales, peut entraîner des dommages considérables chez les animaux, l'éleveur, et l'environnement (Portejoie et al., 2002 ; Corpen, 2006). Selon Chabalier et al. (2006), seuls 50% de l'azote du fumier appliqué au sol sont disponibles pour les plantes. De plus, près de 30% du phosphore alimentaire et du phosphore des engrais utilisés dans les fermes sont exportés sous forme de produits végétaux et animaux.

L'épandage excessif du fumier, surtout combiné avec les engrais chimiques, conduit à l'accumulation du phosphore (P) et de l'azote (N) dans le sol entraînant une incidence négative sur l'équilibre écologique et la santé publique qui n'est plus à démontrer. Une relation entre les excédents d'azote et les teneurs en nitrates de l'eau a été mise en évidence à l'échelle des grandes régions d'élevage (Chambaut et al., 2003). Les ions nitrates concentrés dans les eaux naturelles exploitées par les populations peuvent être à l'origine de pathologies graves chez l'homme et l'animal (Freishtat et al., 2005).

Face à cette problématique, la connaissance de la teneur en minéraux essentiels constitue un outil d'aide à la gestion des matières organiques dans les exploitations agricoles. Cette étude s'inscrit dans cette dynamique et a aussi pour objectif d'établir le bilan de l'azote et du phosphore dans les exploitations agricoles de la région de Thiès en vue d'apporter une contribution à l'amélioration des pratiques agricoles.

## **MATERIEL ET METHODES**

### **Les sites d'étude**

Une grande partie de la région de Thiès se situe dans l'emprise de la zone des Niayes

où se concentre l'essentiel des exploitations agricoles intensives. La zone est caractérisée par des conditions agro-climatiques favorables à l'aviculture et au maraîchage. Cet avantage a permis aux producteurs de développer un modèle d'exploitation agricole mixte aux alentours des principaux centres urbains (Thiès, Tivaouane, Mboro, Pout, Kayar et Mbayakh). Toutes ces villes ont été retenues comme sites de l'étude pour couvrir une bonne représentation géographique des Niayes de Thiès (Figure 1). Le bilan des nutriments a été réalisé sur un échantillon de 21 fermes mixtes (aviculture et horticulture) choisies au hasard dans la zone d'étude.

### **La méthode du bilan apparent des nutriments**

La méthode rapportée par Simon et al. (2000) a été utilisée pour déterminer le bilan apparent des nutriments (N ou P) à l'échelle de l'exploitation agricole. Elle consiste à calculer la différence entre les entrées et les sorties annuelles maîtrisable des nutriments, rapportée à l'unité de surface agricole utilisée. Dans le cadre de notre étude, les calculs ont été effectués à partir des données collectées des enquêtes menées auprès des producteurs et des référentiels bibliographiques disponibles (Espagnol et al., 2005 ; Levasseur et al., 2007 ; Van der Werf et al., 2007 ; Zahm et al., 2008 ; Bockstaller et al., 2012). Le questionnaire a été élaboré sur la base des caractéristiques de l'exploitation (effectif des sujets, utilisation du fumier, surface agricole utilisée, type de productions, etc.). Les résultats obtenus des enquêtes sont complétés par ceux des analyses chimiques des échantillons de matières organiques (aliments de volailles, déjections animales, résidus de cultures maraîchères) collectés au niveau des exploitations visitées.

### **Les indicateurs de fonctionnement**

#### ***L'Indice d'efficacité de l'azote (EFF)***

Selon Simon et al. (2000), l'indice d'efficacité de l'azote (EFF) est le rapport entre les sorties et les entrées du nutriment au niveau du système de production. Dans les systèmes de production avicoles, ce coefficient est très dépendant de la quantité de fiente produite par la volaille. Le fumier de

volaille est un engrais organique riche en N, P et K dont la gestion influence fortement le bilan des nutriments dans l'exploitation agricole.

**L'Indice de conversion de l'azote en protéine alimentaire (CVE)**

C'est le rapport entre les sorties que l'on peut qualifier d'utiles (cultures, viande, œufs) et les entrées mises en œuvre pour produire. Ce coefficient diffère du précédent par la non prise en compte des déjections dans les sorties, considérées comme des déchets qui n'ont aucune finalité agro-économique. Ce concept a été révisé dans le cas de notre étude car la litière de volaille occupe une place non négligeable dans l'exploitation agro-économique des sous produits de la ferme. Quantitativement, la litière représente le sous-produit le plus important des fermes visitées

avec une valeur économique de l'ordre de 1.000 francs CFA le sac de 50 kilogrammes.

**L'indice de gaspillage de l'azote (GAS)**

Il correspond au rapport entre l'excédent engendré par l'activité de l'exploitation et les sorties utiles correspondantes. Ce coefficient traduit en fait la quantité d'azote excédentaire par kilogramme d'azote transformé.

**Analyse statistique**

Les logiciels R et Excel ont été utilisés pour exploiter les données obtenues sur le bilan des nutriments et les indicateurs de fonctionnement déterminés. Les différents coefficients de corrélation entre ces variables ont été déterminés pour apprécier les degrés de relation qui existent entre ces facteurs.

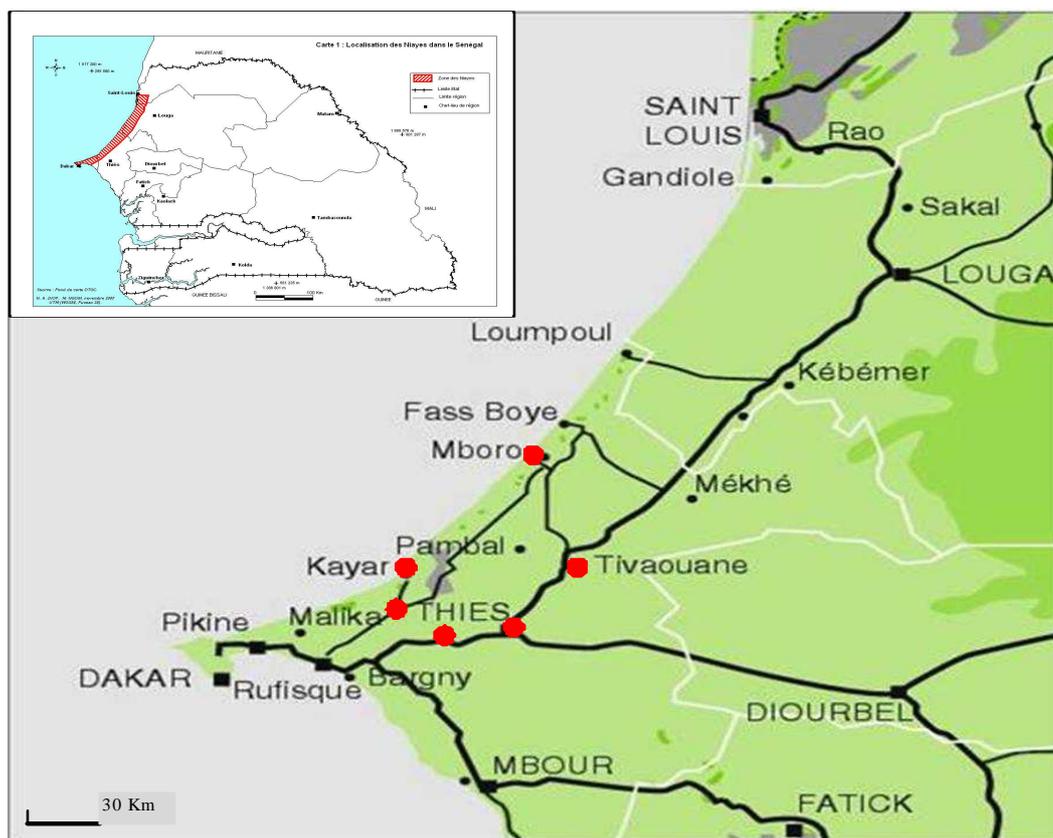


Figure 1 : Localisation des sites (Dia, 2008).

## RESULTATS

### Bilans bruts des Nutriments (N et P)

Les résultats obtenus sur le bilan des nutriments sont reportés dans le Tableau 1. Une grande variabilité du bilan brut des nutriments a été notée avec des valeurs comprises entre 46 et 5930 kg/an et entre 0,51 et 2470 kg/an pour l'azote et le phosphore, respectivement. L'écart type obtenu pour le bilan brut en kg/an est de 1337 et 542 respectivement pour l'azote et le phosphore. Cependant, toutes les valeurs calculées sont positives pour l'ensemble des 21 exploitations prospectées. Ceci traduit un excédent d'azote et de phosphore important dans toute la zone des Niayes de Thiès avec des valeurs moyennes respectives de 836 et 542 kg/an. Néanmoins, l'effectif, étant très lié à la variation des bilans, présente une corrélation positive (0,67) avec la quantité de fumier produite au sein de l'exploitation. Cependant, il apparaît clair que le bilan des nutriments ne suit pas toujours l'évolution croissante de l'effectif.

La Figure 2 traduit la relation entre la quantité de fumier produite et le bilan brut de N et P. En générale, aussi bien pour l'azote que le phosphore, les bilans les plus faibles sont rencontrés dans les exploitations qui présentent les plus faibles effectifs. La preuve est donnée par les forts coefficients de corrélation qui existent entre la quantité de fumier produite et les bilans bruts de l'azote et du phosphore à l'échelle de l'exploitation. La production et la gestion du fumier de volaille sont très étroitement liées aux bilans des minéraux (N et P). Pour le phosphore, le coefficient de corrélation entre la quantité de fumier produite et le bilan de cet élément à l'échelle de l'exploitation est de 0,92. La relation est plus étroite entre la quantité de fumier produite dans l'exploitation et son bilan d'azote avec un coefficient de corrélation de 0,95.

### Bilans des nutriments par surface agricole utilisée

Ces bilans exprimés en kg d'azote ou de phosphore par hectare de surface agricole et par an (Tableau 1) contribuent à déterminer les indicateurs de fonctionnement des exploitations. La Figure 3 représente la variation des bilans de N et P suivant les différentes exploitations étudiées. Les résultats obtenus ont montrés des excédents de minéraux largement supérieurs à la valeur limite de 170 kg N ha<sup>-1</sup> telle que fixée par la directive européenne sur les nitrates. En moyenne, les bilans de l'azote et du phosphore sont respectivement de 1455 kg/ha/an et 76 kg/ha/an.

### Les indicateurs de fonctionnement

Les indicateurs de fonctionnement (Tableau 2) ont montré que des marges de progrès existent au sein des exploitations pour mieux gérer les nutriments. Dans l'ensemble, les moyennes calculées signalent que le phosphore est mieux rentabilisé que l'azote au niveau des exploitations. Ainsi, l'indice d'efficacité de l'azote oscille autour de 47,76 % contre 68,76 % pour le phosphore. En ce qui concerne l'indice de conversion en produit alimentaire, les CEV de l'azote et du phosphore avoisinent les 34 % avec 32,9 % pour l'azote et 36,3 % pour le phosphore. L'indice de gaspillage qui traduit la quantité de nutriment perdu pour obtenir un kilogramme de produit alimentaire est caractérisé par un gaspillage élevé de l'azote (12,74 kg) contrairement à celui du phosphore (1,90 kg).

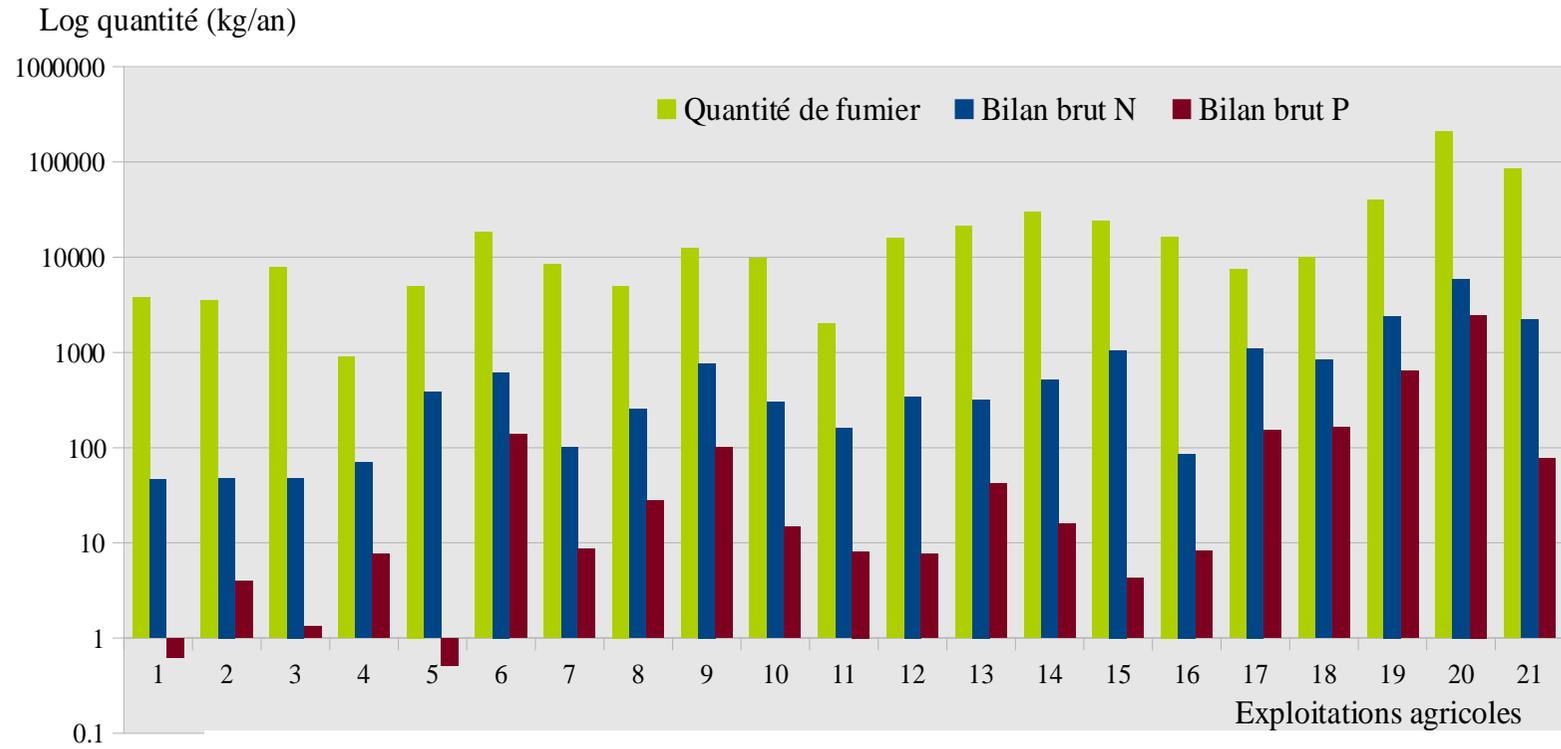
Malgré le fort taux de gaspillage de l'azote dans les exploitations avicoles, l'indice de gaspillage varie inversement avec l'effectif des sujets de l'exploitation d'où le coefficient de corrélation de -0,45 entre les effectifs des exploitations et l'indice de gaspillage. Cette relation est moins accentuée avec l'indice de gaspillage du phosphore. Avec un coefficient de corrélation de l'ordre de moins 0,30, l'effectif de l'exploitation est négativement corrélée à l'indice de gaspillage du phosphore.

**Tableau 1** : Bilans de l'azote (N) et du phosphore et (P).

Exploitation	Effectif	Quantité de Fumier	Bilan annuel en kg		Bilan annuel en kg/ha/an	
			N	P	N	P
1	200	3750	46	0,63	61	0,84
2	200	3500	48	4,02	684	57,48
3	400	7800	48	1,34	1198	33,6
4	600	900	70	7,72	1749	193,06
5	650	5000	379	0,51	9478	12,85
6	770	18150	616	137,99	154	34,49
7	1000	8500	101	8,57	634	53,58
8	1500	5000	256	27,61	2559	6,9
9	1500	12500	767	100,52	256	33,5
10	1500	9750	298	14,86	5518	275,32
11	1600	2000	159	8,11	2551	129,83
12	2200	16000	343	7,59	458	10,12
13	2400	21250	321	41,75	214	27,83
14	3000	30000	516	15,75	258	7,87
15	3000	24000	1052	4,26	526	2,13
16	3200	16500	86	8,22	29	2,74
17	4000	7500	1102	153,3	735	102,2
18	4000	10000	828	164,91	828	164,91
19	6000	40000	2404	640,27	601	160,06
20	6000	210000	5914	2470,55	591	247,05
21	6000	84000	2222	78,04	1481	52,02
<b>Moyenne</b>			<b>836,95</b>	<b>185,55</b>	<b>1455,38</b>	<b>76,59</b>
<b>Ecart type</b>			<b>1337,82</b>	<b>542,21</b>	<b>2225,34</b>	<b>85,01</b>

**Tableau 2** : Les indicateurs de fonctionnement (EFF, CEV et GAS).

Indicateurs	EFF (%)		CEV (%)		GAS (/kg)	
	N	P	N	P	N	P
Moyenne	47,76	68,76	32,91	36,30	12,74	1,90



**Figure 2 :** Relation entre quantité de fumier et bilan brut des nutriments (N et P).

Log bilan N et P (kg/ha/an)

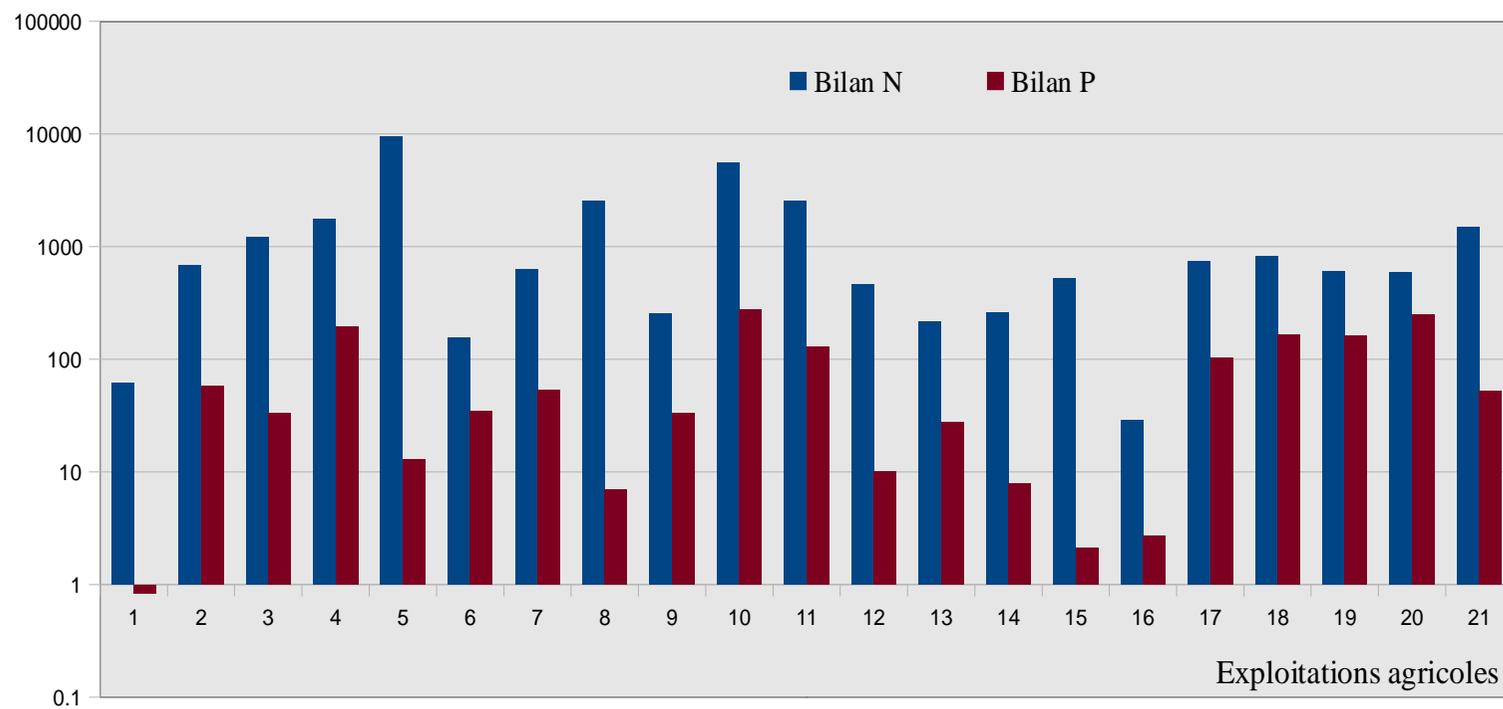


Figure 3 : Variation des bilans de N et P par surface agricole.

## DISCUSSION

L'excédent de nutriments est essentiellement lié aux entrées de minéraux par les engrais et les aliments quelque soient les types d'exploitations agricoles (Simon *et al.*, 2000 ; Vérité et Delaby 2000 ; Raison, 2008). Pour les exploitations avicoles, l'alimentation représente le facteur déterminant du bilan des nutriments en considérant que 50% à 70% de l'azote ingéré et 60 à 80% du phosphore ingéré se retrouvent dans les déjections (Centner, 2003 ; Corpen, 2006). Dans la zone des Niayes, les techniques permettant d'améliorer la digestibilité de la matière organique et de conduire par conséquent à la réduction des rejets azotés et phosphorés dans les fumiers et les fientes ne sont pas maîtrisées par les producteurs (Ngom, 2004). Les résultats confirment ceux de la littérature montrant que les apports de nutriments dans les élevages de volailles sont largement supérieurs aux besoins nutritionnels des animaux (Ngom, 2004). En moyenne, la réduction du taux protéique de l'aliment de 10% permet de réduire de quasiment 20 % les rejets d'azote et d'ammoniac chez le poulet de chair (Van Cauwenberghe et Burnham, 2001). En outre, la variabilité du bilan de nutriment observée selon le type d'élevage est similaire aux résultats rapportés dans la littérature (Fall *et al.*, 2003 ; Levasseur, 2007). En effet, la disparité des élevages se traduit par des écarts type très élevés aussi bien pour l'azote que pour le phosphore (1337,82 kg/an et 542,21 kg/an, respectivement pour l'azote et le phosphore). L'excédent de nutriments observé constitue une source de pollution de la nappe phréatique, peu profonde dans la zone des Niayes. En effet, les quantités importantes de l'azote dans le fumier produit peuvent rester dans le sol sous forme minérale ou associée avec la matière organique ou encore être transféré sous forme de nitrates vers les eaux souterraines (Derdai *et al.*, 2004 ; Chambaut *et al.*, 2006 ; Vertès *et al.*, 2007). Le risque d'exposition aux nitrates est élevé car les eaux souterraines sont utilisées pour l'arrosage,

l'abreuvement des animaux et aussi à des fins de ménage par les riverains.

Par ailleurs, une mauvaise gestion de ces quantités de fumier riche en azote peut engendrer des dégâts au niveau des fermes. L'azote étant volatile, le mauvais stockage du fumier peut conduire à la production d'ammoniac et d'autres gaz à effets de serre. Selon les résultats de plusieurs auteurs, rapportés par Corpen (2006), le fumier stocké à l'abri perd 15 à 20% de son azote sous forme ammoniacale. Dans la zone des Niayes de Thiès, ce phénomène de volatilisation peut se produire car le fumier produit est généralement stocké à la ferme pendant une longue période avant son recyclage dans le maraîchage.

Toutefois, l'analyse comparative des résultats obtenus sur le bilan des nutriments au niveau des exploitations agricoles des Niayes de Dakar dans le cadre du même projet (Fall *et al.*, 2003) et de celles de la région de Thiès a révélé une différence significative. L'excédent de l'azote est plus important dans les exploitations avicoles des Niayes de Thiès que dans celles de la région de Dakar avec des valeurs moyennes respectives de 836,95 kg/an et 670,38 kg/an. Par contre, l'inverse a été observé pour le phosphore avec un excédent de 185 kg/an dans les exploitations avicoles de Thiès contre 846,24 kg/an pour celles de Dakar. Ce résultat laisse penser à une volatilisation plus importante de l'azote dans la région de Dakar. Cependant, les résultats des enquêtes ont montré que dans la zone des Niayes de Dakar, le temps de stockage du fumier est très faible pour favoriser la volatilisation de l'ammoniac. Le recyclage du fumier dans le maraîchage est rapide et l'azote est résorbé et exploité directement par les cultures horticoles.

En comparant le bilan azoté des exploitations avicoles de Thiès à celui de Simon *et al.* (2000) (250 à 500 kg/ha/an) et le résultat de 840,84 kg/ha/an obtenu à Dakar en 2003, le constat est fait qu'avec des surfaces agricoles très faibles et le plus souvent inférieures à un hectare, ce facteur devient un amplificateur des pertes d'azote. Les parcelles

cultivées au niveau de ces fermes sont très réduites et ne représentent que de petits lopins de terres où sont associés plusieurs types de cultures.

Par contre, pour le phosphore l'utilisation irrationnelle des engrais ternaires et de la potasse font que l'excédent obtenu dans la région de Dakar (1347 kg P/ha/an) est nettement supérieur à celui des exploitations agricoles des Niayes de Thiès. Dans les exploitations agricoles de la région de Thiès, plusieurs facteurs semblent limiter les pertes de phosphore : la faible volatilisation du phosphore, l'inexistence des pertes par infiltration ou percolation avec l'utilisation des poulaillers au sol cimenté et le recyclage et la commercialisation de la litière.

Les excédents les plus élevés correspondent notamment à 5518 kg/ha/an pour l'azote et à 275,32 kg/ha/an pour le phosphore. Les minima observés sont de l'ordre de 29 kg/ha/an pour l'azote et de 0,84 kg/ha/an pour le phosphore. Avec des écarts type de 2225,45 kg/ha/an et 85 kg/ha/an respectivement pour l'azote et le phosphore, les bilans rapportés à la surface agricole utilisée de l'exploitation, démontrent une grande variabilité et restent indépendants de l'effectif des sujets de l'exploitation. La forte fluctuation liée à la grande variabilité de la surface agricole de l'exploitation est soutenue par le faible coefficient de corrélation (0,17) qui existe entre le bilan de l'azote et celui du phosphore.

### Conclusion

Pour évaluer l'implication des exploitations agricoles sur la pollution environnementale au niveau de la zone des Niayes au Sénégal, un outil de diagnostic a été réalisé. Il consiste à établir un bilan apparent de l'azote et du phosphore au niveau des exploitations par une quantification annuelle des flux de nutriments et de déterminer par la suite leurs indicateurs de fonctionnement. Les bilans (en kg/ha de surface agricole utilisée) calculés sont tous positifs pour l'ensemble des 21 exploitations prospectés avec des moyennes de 1455 kg N/ha/an et 76 kg

P/ha/an. L'étude a montré des pertes d'azote et de phosphore importantes au niveau des exploitations agricole avec des indices de gaspillage respectifs de 12,74 kg et de 1,90 kg. En perspectives de réduction de l'excédent du bilan des nutriments dans les exploitations avicoles, une amélioration des performances zootechniques associée à une bonne gestion de la litière par le contrôle des facteurs d'ambiance s'avèrent nécessaires pour réguler les pertes d'azote et de phosphore.

### REFERENCES

- Berdai H, Soudi B, Bellouti A. 2004. Contribution à l'étude de la pollution nitrique des eaux souterraines en zones irriguées : Cas du Tadla. *H.T.E*, **128**: 65-87.
- Bockstaller C, Vertès F, Aarts F, Fiorelli JL, Peyraud JL, Rochette P. 2012. Outils d'évaluation et de régulation des flux d'azote liés aux élevages. In *Les Flux d'Azote liés aux Elevages, Réduire les Pertes, Rétablir les Equilibres*. Rapport d'expertise collective, Inra (ed): Paris ; 335-412.
- Centner TJ. 2003. Regulating concentrated animal feeding operations to enhance the environment. *Environ. Sci. Policy*, **6**: 433-440.
- Chabalier PF, Kerchove V, Macary HS. 2006. Guide de la fertilisation organique à la réunion. CIRAD, Chambre d'Agriculture de La Réunion. <http://www.cirad.fr/reunion>
- Chambaut H, Bras A, Laurent F, Quentric O, Vertès F, Le Gall A. 2006. Maîtrise des flux d'azote et de phosphore à l'échelle de l'exploitation et incidence sur la qualité de l'eau à l'échelle du bassin versant dans les régions d'élevage intensif de l'Ouest de la France. In *Qualité de l'Eau dans les Bassins Versants : Savoirs et Pratiques dans les Bassins Versants*. INRA Ed : Renne ; 91-121.
- Chambaut H, Le Gall A, Pflimlin A, Ménard JL. 2003. Maîtrise des pollutions azotées en élevage bovin. *Renc. Rech. Ruminants*, **10**: 403-410.

- Corpen. 2003. *Estimation des Rejets d'Azote - Phosphore - Potassium - Cuivre et Zinc des Porcs. Influence de la Conduite Alimentaire et du Mode de Logement des Animaux sur la Nature et la Gestion des Déjections Produites*. Collection CORPEN: Paris.
- Corpen. 2006. *Estimation des Rejets d'Azote, Phosphore, Potassium, Calcium, Cuivre et Zinc par les Elevages Avicoles*. Collection CORPEN : Paris.
- Diao MB. 2004. Situation et contraintes des systèmes urbains et périurbains de production horticole et animale dans la région de Dakar. *Cah. Agric.*, **13**(1): 39-49.
- Espagnol S, Ilari E. 2005. Un outil d'évaluation du rapport entre rejets azote-phosphore et disponibilité de terres épanchables pour les exploitations porcines françaises. *Acte Journées Recherche Porcine*, **37**: 317-324.
- Fall F, Cissé I, Thiam MT, Touré E. 2003. Enjeux environnementaux des espaces agricoles et naturels urbains et périurbains. Rapport annuel, ISRA, Dakar.
- Freishtat RJ, Chamberlain JM, Johns CMS, Teach SJ, Ronzio C, Murphy-Smith MM. 2005. A cross-sectional ED survey of infantile subclinicalmethemoglobinemia. *Am. J. Emerg. Med.*, **23**: 574 -576.
- Levasseur P, Charles M, Le Bris B, Boulestreau AL, Landrain P, Athanase N. 2007. Comparaison de méthodes d'estimation des rejets d'azote, de phosphore et de potassium en élevage de porc. *Acte Journées Recherche Porcine*, **39**: 1-6.
- Ngom S. 2004. Ebauche d'un référentiel sur la composition chimique et valeur nutritive des matières premières utilisées en alimentation des volailles au Sénégal. Thèse doctorat, Université Cheikh Anta Diop, Dakar, p. 135.
- Portejoie S, Martinez J, Landinon G. 2002. L'ammoniac d'origine agricole. Impact sur la santé humaine et animale et sur le milieu naturel. *Inra. Prod. Anim.*, **15**(3): 15-16.
- Raison C, Chambaut H, Le Gall A, Pflimlin A. 2008. Impact du système fourrager sur la qualité de l'eau. Enseignements issus du projet Green Dairy. *Fourrages*, **193**: 3-18.
- Simon JC, Grignani C, Jacquet A, Le Corre L, Pagès J. 2000. Typologie des bilans d'azote de divers types d'exploitation agricole: recherche d'indicateurs de fonctionnement. *Agron. J.*, **20**: 175-195.
- Van Cauwenberghes S, Burnham D. 2001. New developments in amino acid and protein nutrition of poultry as related to optimal performance and reduced nitrogen excretion. 13th European Symposium of Poultry Nutrition, 1-12.
- Van der Werf HMG, Tzilivakis J, Lewis K, Basset-Mens C. 2007. Environmental impacts of farm scenarios according to five assessment methods. *Agriculture, Ecosyst. Environ.*, **118**(1-4): 327-338.
- Vérité R, Delaby L. 2000. Relation between nutrition, performances and nitrogen excretion in dairy cows. *Ann. Zootech.*, **49**: 217-230.
- Vertès F, Simon JC, Laurent F, Besnard A. 2007. Prairies et qualité de l'eau. Evaluation des risques de lixiviation d'azote et optimisation des pratiques. *Fourrages*, **192**: 423-440.
- Zahm F, Viaux P, Vilain L, Girardin P, Mouchet C. 2008. Assessing Farm Sustainability with the IDEA Method - from the Concept of Agriculture Sustainability to Case Studies on Farms. *J. S. D.*, **16**: 271-281.