



HAL
open science

Relations entre structure des exploitations et gestion des effluents d'élevage sur les Hautes Terres de Madagascar

Noelly Ramarovahoaka, Mathieu Vigne, Marie Lucia Fanjaniaina, Anjaniaina Valérie Randrianarisoa, Nora Amédia Nivonirina, Andry Andriamananjara, Paulo Salgado, Fabien Stark, Tovonarivo Rafolisy, Thierry Becquer

► To cite this version:

Noelly Ramarovahoaka, Mathieu Vigne, Marie Lucia Fanjaniaina, Anjaniaina Valérie Randrianarisoa, Nora Amédia Nivonirina, et al.. Relations entre structure des exploitations et gestion des effluents d'élevage sur les Hautes Terres de Madagascar. Cahiers Agricultures, 2023, 32, pp.20. 10.1051/cagri/2023014 . hal-04171698

HAL Id: hal-04171698

<https://hal.inrae.fr/hal-04171698v1>

Submitted on 26 Jul 2023







HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial 4.0 International License

Relations entre structure des exploitations et gestion des effluents d'élevage sur les Hautes Terres de Madagascar

Noelly Ramarovahoaka¹, Mathieu Vigne^{2,3,*} , Marie Lucia Fanjaniaina⁴ ,
Anjaniaina Valérie Randrianarisoa¹, Nora Amédia Nivonirina¹, Andry Andriamananjara¹ ,
Paulo Salgado^{2,3} , Fabien Stark² , Tovonarivo Rafolisy¹  et Thierry Becquer⁵

¹ Laboratoire des Radio Isotopes, Université d'Antananarivo, BP 3383, Antananarivo, Madagascar

² Selmet, Univ Montpellier, Inrae, Cirad, L'Institut Agro Montpellier, Montpellier, France

³ Cirad, UMR Selmet, Inrae, L'Institut Agro Montpellier, Antsirabe, Madagascar et Dakar, Sénégal

⁴ FIFAMANOR, Antsirabe, Madagascar

⁵ Eco&Sols, Univ Montpellier, Ird, Inrae, Cirad, L'Institut Agro Montpellier, Montpellier, France

Résumé – La dégradation de la fertilité des sols est un problème majeur en Afrique subsaharienne. La forte croissance démographique, la demande locale de nourriture et la réduction des terres arables disponibles risquent d'accroître ce phénomène. Alors que les engrais minéraux sont peu utilisés, notamment à Madagascar, la gestion de la fertilité des sols est largement dépendante des matières organiques produites à la ferme. Afin d'augmenter l'efficacité du recyclage des nutriments à l'échelle de la ferme, il est nécessaire de comprendre les facteurs favorables à l'amélioration des pratiques de gestion des effluents d'élevage. Cette étude propose d'analyser les relations entre la structure d'exploitations agricoles intégrant agriculture et élevage dans la région de Vakinankaratra (Hautes Terres de Madagascar) et leurs pratiques de gestion des effluents. Des entretiens semi-directifs ont été réalisés auprès de 300 exploitations. Une typologie a été réalisée à l'aide d'une analyse en composantes principales (ACP). Sept types d'exploitation ont été retenus, permettant de distinguer des exploitations laitières d'autres exploitations d'agro-élevage (bovins de trait, porcs). Un test de Khi^2 indique un effet significatif de la structure des exploitations sur le mode de gestion des effluents. En particulier, la présence d'un élevage laitier et de porcins semble favoriser des modes de gestion améliorés. L'analyse typologique contribue à la compréhension de l'adoption de pratiques améliorées de gestion des biomasses par les agro-éleveurs. L'adoption de telles pratiques est un prérequis pour améliorer le recyclage des nutriments vers les parcelles agricoles, et donc améliorer la durabilité des exploitations agricoles des Hautes Terres du Vakinankaratra.

Mots clés : intégration agriculture-élevage / gestion des effluents / typologie / exploitation agricole familiale / Madagascar

Abstract – **Relationships between farm structure and livestock manure management in Madagascar Highlands.** Soil fertility degradation is a major stake in sub-Saharan Africa. Strong population growth, local demand for food and land scarcity are likely to increase this phenomenon. While mineral fertilizers are little used, particularly in Madagascar, soil fertility management is therefore largely dependent on organic fertilizers produced on the farm. In order to increase the efficiency of nutrient recycling at farm level, it is necessary to understand the factors that contribute to improved manure management practices. This study proposes to analyze the relationships between the structure of farms integrating crop and livestock in the Vakinankaratra region (Highlands of Madagascar) and their manure management practices. Semi-structured interviews were carried out on 300 farms. Then, a farm typology was built through a Principal Component Analysis (PCA). Seven farm types were identified, distinguishing dairy farms from other agri-livestock farms (zebus, pigs). A Chi^2 test indicates a significant effect of farm structure on effluent management methods. In particular, the presence of dairy and pig farming within farms seems to favor improved manure management. The cluster analysis contributes to understanding the adoption of improved biomass management practices by crop-livestock farming systems. The adoption of such practices is a prerequisite

*Auteur de correspondance : mathieu.vigne@cirad.fr

for improving nutrients recycling from animals to agricultural plots, and thus improving the sustainability of farms in the Vakinankaratra Highlands.

Keywords: integrated crop-livestock systems / manure management / typology / family farming / Madagascar

1 Introduction

La dégradation de la fertilité de nombreux sols, en raison de bilans de nutriments souvent déséquilibrés, est un problème majeur en Afrique subsaharienne (Tittonell et Giller, 2013). Les sols dégradés, liés principalement aux activités agricoles, y sont très nombreux ; ils représenteraient environ 350 millions d'hectares selon Zingore *et al.* (2015), soit 20 à 25 % des surfaces agricoles.

La forte croissance démographique, qui avoisine 2,7 % entre 2000 et 2020 en Afrique subsaharienne (Tabutin et Schoumaker, 2020) comme à Madagascar (Subtil, 2021), tend à augmenter la demande locale de nourriture. Alors que les zones arables sont déjà saturées et que peu de nouveaux fronts sont ouverts (Bélières *et al.*, 2016), cela conduit à une pression forte sur le foncier et à une diminution des terres arables disponibles par habitant (de 0,142 à 0,114 ha par habitant entre 2010 et 2018 selon la Banque mondiale (World Bank, 2018), sans toutefois réduire la prévalence de la malnutrition chronique, qui était estimée à 47,3 % de la population en 2018 (ONN, 2018).

À Madagascar, comme ailleurs en Afrique, la réduction de la disponibilité des terres oblige certains agriculteurs à pratiquer la culture permanente, avec un abandon de la jachère qui permet pourtant de restaurer la santé des sols (Tian *et al.*, 2005). Or, cet abandon de la jachère contribue à réduire les rendements agricoles en Afrique, qui n'atteindraient environ qu'un sixième de ceux des agricultures plus avancées (AfDB, 2006), et qui continuent de diminuer pour de nombreuses cultures de base (Tittonell et Giller, 2013). Afin d'augmenter les rendements, et donc assurer la sécurité alimentaire des populations, l'utilisation d'engrais minéraux a été largement promue dans les pays en développement. Néanmoins, en raison de divers facteurs (coût élevé, faible disponibilité ou faible qualité), ceux-ci restent assez peu utilisés en Afrique subsaharienne (Chianu *et al.*, 2012). Par ailleurs, ils ne répondent que partiellement aux problématiques de la baisse de fertilité des sols. En effet, les gains de productivité des cultures les plus élevés et les plus durables sont obtenus à partir de mélanges d'engrais minéraux et d'intrants organiques (Giller *et al.*, 1998). La gestion de la fertilité des sols reste donc largement dépendante des apports d'engrais organiques produits à la ferme.

Les systèmes de production intégrant l'agriculture et l'élevage, largement pratiqués en Afrique subsaharienne, représentent un intérêt majeur. Ils reposent sur la complémentarité entre les systèmes de culture et les systèmes d'élevage *via* la valorisation des effluents d'élevage et autres ressources organiques disponibles sur les systèmes de cultures (González-García *et al.*, 2012). Bien que les engrais organiques produits à la ferme aient généralement de faibles teneurs en éléments nutritifs (Fanjaniaina *et al.*, 2021), leur qualité dépend largement des modes de gestion de l'étable ou des modes de stockage des produits organiques (Tittonell et Giller, 2013 ; Fanjaniaina *et al.*, 2022). D'importantes pertes de

carbone (C) organique et de nutriments se produisent ainsi lors de la manipulation au sein de l'étable et lors du stockage du fumier (Rufino *et al.*, 2006 ; Bernal *et al.*, 2009 ; Tittonell *et al.*, 2010). Pour l'azote (N) par exemple, Rufino *et al.* (2006) ont estimé que l'efficacité du recyclage à la ferme en Afrique subsaharienne était variable selon les pratiques et les situations, de l'ordre de 6 à 99 % pour la manipulation du fumier dans l'étable et de 30 à 87 % pour le stockage du fumier.

D'une manière générale, la gestion des effluents d'élevage est un enjeu majeur pour la conservation et le bouclage des cycles de nutriments dans les systèmes de production, en particulier des exploitations agricoles familiales ayant un accès limité aux intrants. Pourtant, Teenstra *et al.* (2014) notent une prise de conscience trop limitée de l'importance de la gestion du fumier, la variabilité de sa valeur fertilisante étant souvent mal connue des agriculteurs ou des techniciens du développement. Toutefois, dans les Hautes Terres de Madagascar, l'utilisation de fumure organique occupe une place importante dans la majorité des exploitations agricoles familiales et ceux qui achètent le plus d'engrais sont souvent ceux qui produisent le plus de fumier (Razafimahatratra *et al.*, 2020).

À Madagascar, cinq types d'exploitations agricoles familiales ont été distingués par Bélières *et al.* (2017a) à partir de caractéristiques structurelles majeures comme la superficie agricole utile (SAU), le nombre d'animaux d'élevage ou le nombre de personnes vivant sur l'exploitation : les petites exploitations agricoles (43 %), les exploitations moyennes avec de grandes familles (19 %), les exploitations moyennes rizicoles (31 %), les grandes exploitations agricoles diversifiées (2 %) et les grandes exploitations d'agro-éleveurs (4 %). Alors que d'importantes différences ont été observées dans les modes de gestion des effluents d'élevage utilisés pour la fertilisation organique, avec des pratiques traditionnelles ou améliorées (Alvarez *et al.*, 2014 ; Salgado *et al.*, 2014 ; Fanjaniaina *et al.*, 2022), les éventuels liens entre les caractéristiques des exploitations et les modes de gestion des effluents d'élevage sont mal connus. Replacer la gestion des effluents dans la diversité des exploitations à Madagascar semble un prérequis pour faciliter l'adoption de pratiques améliorées.

Cette étude propose donc de mettre en relation une typologie des exploitations agricoles d'une zone de référence de la région de Vakinankaratra (Hautes Terres de Madagascar), basée sur leurs caractéristiques structurelles, et les modes de gestion des effluents d'élevage de celles-ci.

2 Matériel et méthodes

2.1 Zone d'étude et choix des exploitations

La zone d'étude est située dans la région du Vakinankaratra, sur les Hautes Terres de Madagascar (Fig. 1), dans la zone dite du « triangle laitier », une zone produisant plus de 80 % de la production laitière de Madagascar (Rabemanambola, 2007).

Deux cent quatre-vingt-dix-neuf exploitations ont été sélectionnées dans onze communes situées dans cinq districts.

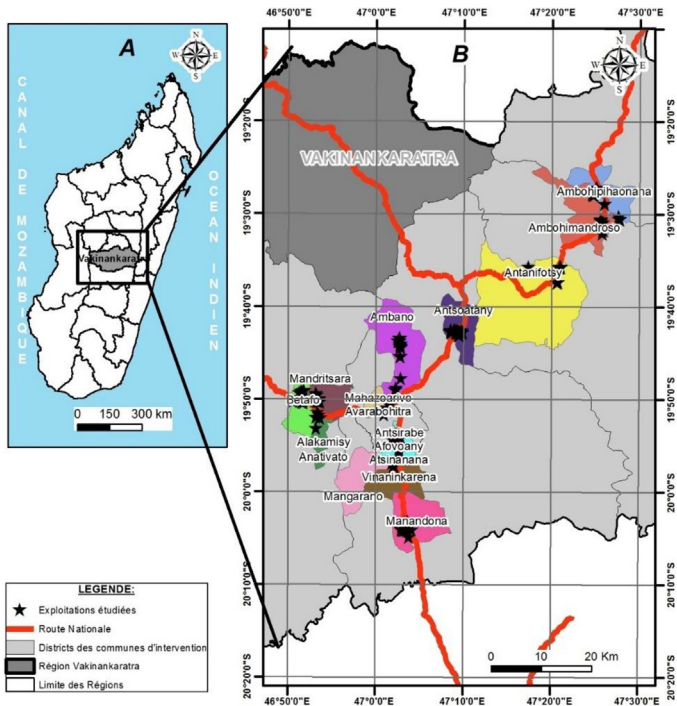


Fig. 1. Région de Vakinankaratra à Madagascar (en gris) (A) et localisation des districts où se situent les fermes étudiées (B).
Fig. 1. Vakinankaratra region in Madagascar (in gray) (A) and location of the districts where the farms studied are located (B).

Ces exploitations ont été sélectionnées avec les techniciens du FIFAMANOR (Centre de recherche et de développement rural en agriculture et en élevage), un institut de recherche-développement qui dispose d'un important réseau de vulgarisateurs dans la région de Vakinankaratra, pour représenter la diversité des exploitations familiales de la région. Contrairement à l'étude de [Bélières *et al.* \(2017a\)](#), nous avons sélectionné uniquement des exploitations intégrant agriculture et élevage (la pisciculture n'ayant pas été prise en compte). Cette sélection, faite à dire d'expert, donc non randomisée, intègre des fermes (53 % des exploitations) qui bénéficient de suivis techniques réguliers de la part du FIFAMANOR pour la conduite du troupeau ou pour les activités agricoles, alors que les autres fermes (47 %) n'ont pas de liens particuliers avec le FIFAMANOR. En outre, comme les petites exploitations d'agro-éleveurs sont très largement dominantes ([Bélières et Lançon, 2020](#)), nous avons fait le choix d'intégrer suffisamment d'exploitations de taille moyenne ou grande.

2.2 Collecte des données

Pour chaque ferme, une enquête à partir d'entretiens semi-directifs a été réalisée avec chacun des chefs d'exploitation. Ces enquêtes portaient sur : (i) la structure des exploitations (situation familiale de l'exploitant, nombre de personnes à charge, etc.); (ii) les caractéristiques du cheptel (nombre et espèces d'animaux, pratiques de stockage des effluents

d'élevage, etc.); (iii) les caractéristiques des activités d'agriculture (superficie et type de cultures, informations sur les productions végétales, etc.). Les informations sur les modes de gestion des effluents d'élevage ont fait l'objet d'une attention particulière.

2.3 Traitement des données

2.3.1 Typologie des exploitations

À l'issue de l'enquête, les données ont été traitées avec le logiciel statistique R. Une analyse en composantes principales (ACP) a été réalisée en utilisant les packages « FactoMineR » et « Factoextra ». Neuf variables principales ont été retenues pour l'ACP :

- cinq variables pour quantifier le cheptel (exprimées en unité de bétail tropical, UBT) : nombre de bovins laitiers, nombre de bovins de trait, nombre de volailles, nombre de porcins, nombre total d'animaux (chaque sous-groupe intègre les jeunes animaux pour le renouvellement du cheptel et les animaux reproducteurs) ;
- quatre variables pour quantifier la superficie des cultures (ha) : superficie en cultures vivrières (riz, pomme de terre et maïs), en cultures maraîchères et de rente (tabac, orge, soja et plantes légumineuses), en cultures fourragères, surface agricole cultivée (SAC), définie comme la superficie cultivée annuellement en tenant compte des doubles cultures réalisées successivement sur certaines parcelles.

Les équivalences utilisées pour calculer le nombre d'UBT se basent sur l'hypothèse largement admise qu'un UBT correspond à 250 kg de poids vif ([Boudet et Rivière, 1968](#)). Ainsi, elles s'élèvent par exemple à 1,4 UBT pour une vache laitière de race exotique améliorée (400 kg), à 0,5 UBT pour une truie (125 kg) ou encore à 0,014 UBT pour une poule pondeuse (3,5 kg). L'enquête réalisée auprès des agriculteurs n'ayant pris en compte que le nombre total de bovins (trait ou lait) sans tenir compte de l'âge des animaux, nous avons considéré que chaque bovin correspondait à 0,85 UBT, considérant une vache et sa suite (génisse + veau). Les coordonnées des observations sur les axes de l'ACP ont été utilisées pour faire un graphique des individus (individuals-PCA) avec le package « Factoextra » et ainsi déterminer une typologie des exploitations des Hautes Terres du Vakinankaratra basée sur les indicateurs de structure d'exploitation (surfaces des diverses cultures et effectifs des divers types d'animaux).

2.3.2 Relations entre la typologie des exploitations, l'encadrement technique et le mode de gestion des effluents d'élevage

La typologie d'exploitations ou le type d'encadrement des exploitants ont été comparés avec le mode de gestion des effluents d'élevage, qui résulte du croisement des deux variables de stockage : (i) le stockage en tas ou en fosse et (ii) le stockage avec ou sans couvert. Ce croisement a fait apparaître trois types de gestion : tas non couvert, fosse non couverte et fosse sous couvert, le type tas sous couvert n'ayant pas été relevé parmi les exploitations étudiées.

Tableau 1. Statistique descriptive de la structure des exploitations de la région du Vakinankaratra.
Table 1. Descriptive statistics of farm structure in the Vakinankaratra region.

		Moyenne	Écart-type	Minimum	Maximum	Médiane
Nombre d'animaux (UBT)	Bovins de trait	1,07	1,52	0	11,05	0,03
	Bovins laitiers	2,31	3,87	0	23,80	0,04
	Porcins	0,23	0,57	0	6,0	0,01
	Volailles	0,14	0,19	0	1,30	0,07
	UBT total	3,75	3,89	0	24,50	2,35
Surface cultivée (ha)	Vivrières	0,25	0,27	0	1,70	0,15
	Maraîchères et de rente	0,18	0,26	0	2,0	0,09
	Fourragères	0,05	0,19	0	1,82	0,02
	SAC totale	0,49	0,56	0	4,20	0,30

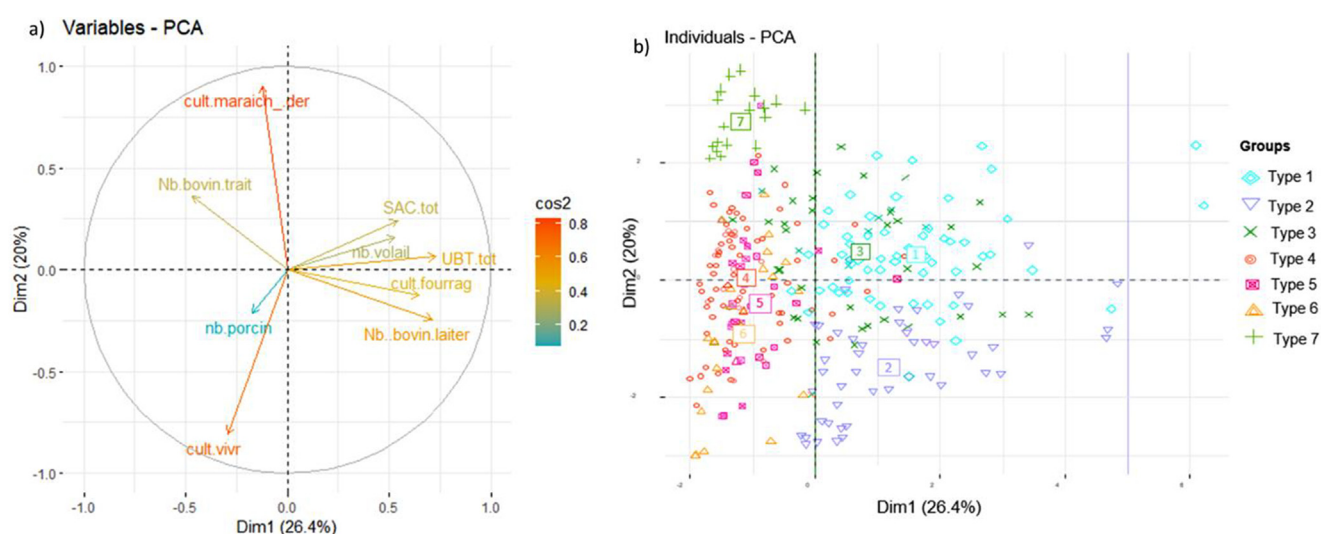


Fig. 2. Analyse en composantes principales des exploitations de la région de Vakinankaratra. (a) Cercle de corrélation des différentes variables (Nb.Bovain.trait : nombre de bovins de trait ; nb.Porcain : nombre de porcins ; nb.Volail : nombre de volailles ; Nb.Bovain.laitier : nombre de bovins laitiers ; cult.maraich_der : surface de cultures maraîchères et de rente ; cult.fourrag : surface de cultures fourragères ; SAC.tot : surface agricole cultivée totale ; UBT.tot : unité bovin tropicale totale). (b) Carte factorielle individuelle des exploitations et position des barycentres des 7 types d'exploitation.

Fig. 2. Principal component analysis of farms in the Vakinankaratra region. (a) Correlation circle of the different variables (Nb.Bovain.trait: number of draught zebus; nb.Porcain: number of pigs; nb.Volail: number of chickens; Nb.Bovain.laitier: number of dairy cows; cult.maraich_der: area of market gardening and cash crops; cult.fourrag: area of forage crops; SAC.tot: total useful agricultural area; UBT.tot: total tropical cattle unit). (b) Individual factorial map of farms and position of the barycentres of the 7 farm types.

Les variables qualitatives et quantitatives ont été corrélées par analyse de variance. Un test de Khi^2 a été utilisé afin de déterminer la significativité de ces relations.

3 Résultats

3.1 Statistiques descriptives

Les résultats de notre échantillon font apparaître une grande diversité de cheptel et de surfaces (Tab. 1). Pour l'élevage, une grande variabilité d'effectif a été observée chez les bovins, avec 0 à 24 UBT par exploitation pour les bovins laitiers, et 0 à 11 UBT pour les bovins de traits. Les médianes de moins de 0,1 UBT montrent cependant que plus de la moitié

des fermes n'ont pas ou peu de bovins. Les petits animaux d'élevage (porcins et volailles) représentent une proportion mineure du cheptel (en moyenne 8 % lorsque quantifié en UBT), avec des moyennes de 0,1 UBT pour les volailles et 0,2 UBT pour les porcins. Seuls 13 % des exploitations ont un cheptel composé majoritairement de ces animaux (> 50 % des UBT totaux). Le nombre total d'animaux pour chaque ferme est en moyenne de $3,8 \pm 3,9$ UBT.

Pour l'agriculture, les surfaces moyennes sont de $0,3 \pm 0,3$ ha pour les cultures vivrières, $0,2 \pm 0,3$ ha pour les cultures maraîchères et de rente et $0,1 \pm 0,2$ ha pour les cultures fourragères. La surface cultivée des exploitations est très faible, avec une moyenne de $0,5 \pm 0,6$ ha et une médiane de

Tableau 2. Principales caractéristiques structurelles des exploitations des différents groupes typologiques.**Table 2.** Main structural characteristics of farms in the different typological groups.

	Type 1 (n=57)	Type 2 (n=44)	Type 3 (n=42)	Type 4 (n=81)	Type 5 (n=30)	Type 6 (n=25)	Type 7 (n=18)
Nombre de bovins de trait (UBT)	0,06±0,27	0,0±0,0	2,35±1,70	2,30±1,51	0,00±0	0,03±0,17	1,51±0,85
Nombre de bovins laitiers (UBT)	6,35±4,7	5,56±4,31	1,78±1,91	0,00±0,0	0,06±0,31	0,14±0,47	0,00±0,0
Nombre de porcins (UBT)	0,30±0,86	0,25±0,54	0,20±0,55	0,18±0,42	0,057±0,31	0,64±0,64	0,07±0,4
Nombre de volailles (UBT)	0,24±0,20	0,06±0,08	0,37±0,28	0,04±0,06	0,087±0,12	0,06±0,07	0,03±0,53
UBT total	6,96±4,98	5,88±4,59	4,7±2,71	2,53±1,72	0,20±0,52	0,86±0,93	1,6±0,87
Cultures vivrières (ha)	0,27±0,3	0,22±0,3	0,43±0,39	0,23±0,21	0,20±0,24	0,19±0,22	0,09±0,11
Cultures maraîchères et de rente (ha)	0,34±0,37	0,06±0,1	0,25±0,30	0,12±0,14	0,09±0,11	0,13±0,20	0,37±0,32
Cultures fourragères (ha)	0,09±0,25	0,14±0,33	0,07±0,19	0,01±0,03	0,008±0,4	0,0±0	0,002±0,01
SAC totale (ha)	0,72±0,77	0,42±0,58	0,75±0,66	0,36±0,32	0,29±0,34	0,33±0,40	0,46±0,42

0,3 ha. Celle-ci atteint 4,2 ha au maximum dans l'exploitation ayant le plus de surface cultivée.

3.2 Typologie des exploitations dans la région de Vakinankaratra

La carte factorielle de l'ACP réalisée avec les neuf variables quantitatives utilisées montre que les axes 1 et 2 expliquent 46,4 % de la variance totale dans la mesure de corrélation (Fig. 2a). Les variables « superficie en cultures vivrières », « cultures maraîchères et de rente », « nombre total d'animaux » et « nombre de bovins laitiers » sont fortement liées à ces deux premiers axes. D'autres variables telles que le nombre de volailles et le nombre de porcs y contribuent faiblement. Il existe une covariation entre la surface fourragère et le nombre de bovins laitiers, associés aux scores positifs du premier axe, et le nombre de bovins de trait, associé aux scores négatifs du premier axe. Il apparaît également qu'une surface importante de cultures vivrières est associée avec une faible surface de cultures maraîchères et de rente selon le deuxième axe. La projection des exploitations sur le plan de l'ACP (Fig. 2b) fait apparaître 7 clusters correspondant à 7 types d'exploitations. La typologie des exploitations obtenue, à partir de l'interprétation des clusters de l'ACP, montre que les divers groupes se distinguent en premier lieu en fonction des activités d'élevage (bovins laitiers, bovins de trait, porcins) et dans une moindre mesure en fonction des activités culturales. Les principales caractéristiques des sept groupes typologiques sont présentées dans le tableau 2 et décrites ci-dessous :

- **type 1 : Grandes fermes d'élevage laitier.** Plus de 90 % du bétail de ces fermes sont des bovins laitiers, avec une moyenne de 6,4 UBT. La densité de bovins laitiers est élevée, avec 8,8 UBT de bovins laitiers/ha de SAC. Ces fermes ont une SAC moyenne de 72 ares, mais seulement 13 % sont utilisés pour les cultures fourragères. Elles représentent 19 % des exploitations étudiées ;
- **type 2 : Petites fermes d'élevage laitier.** 95 % du bétail de ces fermes sont des bovins laitiers, avec une moyenne de 5,6 UBT. La densité de bovins laitiers est très élevée, avec 13,2 UBT de bovins laitiers/ha de SAC. Ces fermes ont une SAC moyenne de 42 ares, dont 33 % utilisés pour les

cultures fourragères. Elles représentent 15 % des exploitations étudiées ;

- **type 3 : Grandes fermes d'élevage diversifiées.** Le cheptel bovin est dominant (90 % du bétail), avec à la fois des bovins de trait (2,4 UBT) et laitiers (1,8 UBT). La densité de bovins laitiers est donc nettement plus faible, avec 2,4 UBT de bovins laitiers/ha de SAC. Ces fermes ont une SAC moyenne de 75 ares, avec peu de cultures fourragères (9 %). Elles représentent 14 % des exploitations étudiées ;
- **type 4 : Fermes traditionnelles avec bovins de trait.** Plus de 90 % du cheptel de ces fermes est composé de bovins de trait, avec une moyenne de 2,3 UBT. La SAC moyenne est de 36 ares avec une dominance de cultures vivrières (55 %). Ces fermes représentent 27 % des exploitations étudiées ;
- **type 5 : Petites fermes traditionnelles sans bovins.** Le cheptel est réduit (0,2 UBT), avec plus de 70 % de petits animaux (porcs, volailles). La SAC moyenne est très faible (20 ares) avec une dominance de cultures vivrières (70 %). Ces fermes représentent 10 % des exploitations étudiées ;
- **type 6 : Fermes avec élevage de porcs.** Ces fermes ne possèdent pratiquement pas de bovins et 75 % du cheptel sont composés de porcs, avec en moyenne 0,6 UBT (trois porcs). La SAC moyenne est de 33 ares avec une dominance de cultures vivrières (60 %). Ces fermes représentent 8 % des enquêtés ;
- **type 7 : Fermes avec bovins de traits, cultivant des cultures maraîchères et de rente.** Les bovins de trait sont les principaux animaux (1,5 UBT, 78 % du cheptel). La SAC moyenne est de 46 ares avec, contrairement aux trois types précédents, une dominance de cultures maraîchères et de rente (80 %). Ces fermes représentent 6 % des exploitations étudiées.

3.3 Relation entre la typologie et le mode de gestion des effluents d'élevage

Nous observons une répartition homogène dans les modes de gestion des effluents des fermes étudiées dans la région de Vakinankaratra : 36 % stockent leurs effluents d'élevage en tas non couvert, 32 % en fosse sous couvert et 32 % en fosse non couverte.

Tableau 3. Mode de stockage des effluents d'élevage selon le type d'exploitation.**Table 3.** Livestock manure storage method by farm type.

	Type 1 (%)	Type 2 (%)	Type 3 (%)	Type 4 (%)	Type 5 (%)	Type 6 (%)	Type 7 (%)
Fosse non couverte	36,8	34,1	23,8	25,9	66,7	32,0	5,6
Fosse sous couvert	28,1	45,5	35,7	28,4	20,0	44,0	22,2
Tas non couvert	35,1	20,5	40,5	45,7	13,3	24,0	72,2

Tableau 4. Mode de stockage des effluents d'élevage selon l'encadrement des agriculteurs par le FIFAMANOR.**Table 4.** Livestock manure storage method according to FIFAMANOR's support for farmers.

	Exploitations contrôlées (%)	Exploitations encadrées (%)	Exploitations non encadrées (%)
Fosse non couverte	37	38	26
Fosse sous couvert	38	37	24
Tas non couvert	25	25	50

La relation entre le type d'exploitation et les modes de gestion des effluents d'élevage est présentée dans le [tableau 3](#). Le test du Khi^2 montre un effet hautement significatif (p -value = 0,016) de la structure des exploitations sur le mode de gestion des effluents. Les exploitations traditionnelles avec des bovins de trait (types 4 et 7) stockent majoritairement les effluents d'élevage de manière traditionnelle dans des tas non couverts (50,5%). Les exploitations avec des bovins laitiers (types 1 et 2) et les exploitations avec des élevages de petits animaux (types 5 et 6) utilisent le stockage en tas non couvert de façon minoritaire, avec respectivement 28,7 et 18,2% des exploitations pratiquant ce mode de stockage. Inversement, les exploitations de types 4 et 7 stockent peu les effluents d'élevage dans des fosses couvertes, alors que ce mode de stockage atteint 35,7% pour les exploitations laitières (types 1 et 2) et 60% pour les élevages de petits animaux.

3.4 Relation entre l'encadrement et le mode de gestion des effluents d'élevage

La relation entre l'encadrement des agriculteurs par le FIFAMANOR et le mode de gestion des effluents d'élevage est présentée dans le [tableau 4](#). Le test du Khi^2 indique aussi un effet significatif (p -value = 0,019) de l'encadrement sur la gestion des effluents. Les fermes contrôlées, qui sont principalement des exploitations laitières et bénéficient régulièrement de suivis techniques par le FIFAMANOR pour améliorer la conduite du troupeau, stockent principalement leurs effluents d'élevage en fosse sous couvert (38%). Les fermes encadrées, qui sont suivies par FIFAMANOR uniquement sur l'agriculture, stockent également majoritairement leurs effluents d'élevage en fosse non couverte (38%). Les fermes non encadrées, qui n'ont aucun lien avec FIFAMANOR, stockent majoritairement leurs effluents d'élevage en tas non couvert (50%).

4 Discussion

4.1 La diversité des exploitations agricoles familiales est liée à la place de l'élevage

La typologie d'exploitations est un outil pour analyser et comprendre leur grande diversité, afin de déterminer les leviers, en matière de gestion de l'exploitation ou d'accompagnement technique, susceptibles de contribuer à améliorer la gestion de ces exploitations. La typologie proposée dans notre étude est basée uniquement sur la structure des exploitations intégrant agriculture et élevage, avec des variables portant sur l'importance des divers types d'élevage (bovins de trait et laitiers, porcins, volailles) et des divers types de cultures (vivrières, maraichères et de rente, fourragères). Ces variables présentent l'avantage d'être assez simples à collecter lors des entretiens avec les exploitants agricoles. Cela est en accord avec [Bélières *et al.* \(2017a\)](#), qui mettent en lumière l'importance de la taille des exploitations agricoles familiales parmi l'ensemble des facteurs de production.

La typologie proposée ne tient compte que de critères techniques liés à la taille de l'exploitation et du cheptel. Elle ne prend pas en compte des critères socio-économiques tels que la taille du ménage ou le nombre d'actifs travaillant sur l'exploitation, ou des critères économiques tels que les marges ou les revenus des diverses composantes du système de production, alors que [Bélières *et al.* \(2017b\)](#) ont montré le poids du revenu et du recours au travail salarié dans la discrimination des types. Cependant, eux-mêmes notent que le recours au travail extérieur salarié va dans le même sens que la taille de l'exploitation (superficie et bovins). Nous faisons donc l'hypothèse que la taille de l'exploitation et du cheptel sont des déterminants clés de la richesse des agriculteurs et de la productivité agricole ([Chikowo *et al.*, 2014](#)), qui peuvent suffire pour distinguer les principaux types d'exploitations, en l'absence de données socio-économiques.

Nos résultats montrent que l'élevage tient une place majeure dans la typologie obtenue. En effet, l'axe 1 de l'ACP (Fig. 2a) est largement expliqué par l'importance et la composition du cheptel animal, mettant en évidence l'importance des deux types d'orientation de l'élevage bovin : l'élevage bovin laitier intensif et l'élevage bovin de trait semi-extensif (Marquant et Salgado, 2016). L'axe 2 de l'ACP met en évidence des variations entre l'importance des cultures vivrières (largement autoconsommées par le ménage) et les cultures maraîchères et de rente (généralement vendues). Néanmoins, la sélection à dire d'expert (non randomisée) effectuée pour cette étude, constituée pour une part importante par des exploitations suivies par le FIFAMANOR pour la production laitière, est susceptible d'introduire un biais dans notre étude.

L'élevage bovin semi-extensif (types 4 et 7, et en partie type 3) concerne des bovins utilisés pour le travail du sol et le transport. Dans ces systèmes, le nombre d'UBT bovins par hectare de SAU est plus faible (2,4 à 6,4 UBT/ha SAC) que dans les systèmes intensifs (8,8 à 13,2 UBT/ha SAC). Les animaux sont nourris principalement avec des fourrages d'origine naturelle, collectés dans des zones de parcours, ou avec des résidus de culture (Fanjaniaina *et al.*, 2022). Le cheptel correspond aussi à une forme d'épargne familiale.

L'élevage bovin laitier (types 1 et 2, et en partie type 3) est basé sur un cheptel de vaches laitières de race améliorée, pures ou croisées avec des races locales rustiques. Ce type de production est caractéristique du « triangle laitier » de Madagascar, qui est la principale région de production laitière (Penot *et al.*, 2016). La production laitière assure des revenus réguliers à la famille, ce qui explique l'importance croissante de ce type de production. Les bovins laitiers sont souvent nourris de façon similaire aux bovins de trait, avec des fourrages d'origine naturelle et des résidus de culture (types 1 et 3). Néanmoins, dans les systèmes les plus intensifs, des cultures fourragères ont été implantées pour nourrir les animaux (type 2). Ces fourrages ont des valeurs nutritives supérieures à celle de la végétation spontanée, ce qui permet de mieux valoriser le potentiel génétique des vaches (Marquant et Salgado, 2016).

La typologie proposée par Alvarez (2012) donne des résultats assez similaires aux nôtres. Cette typologie, basée sur les pratiques culturales et la gestion des ressources et des effluents d'élevage, a été réalisée dans la même zone d'étude, uniquement sur les élevages laitiers (correspondant à nos groupes 1, 2 et 3), mais sur un effectif de fermes nettement moindre (50 fermes). Elle met en évidence des types d'exploitations similaires aux nôtres, notamment : (i) de grandes exploitations d'élevage (> 8 animaux) avec des races bovines européennes et une diversification significative vers des activités avicoles et porcines, proches de notre groupe 5 ; (ii) des exploitations avec moins de bovins laitiers (deux environ) et une diversification importante dans l'activité porcine, proches de nos groupes 5 et 6 ; (iii) des exploitations ayant de petites surfaces et des animaux laitiers nourris avec des fourrages à volonté, proches de notre groupe 2.

4.2 La structure de l'exploitation explique partiellement les modes de gestion des effluents

Les systèmes mixtes agriculture-élevage jouent un rôle majeur dans le transfert de fertilité et la redistribution des

éléments nutritifs au sein des exploitations agricoles. Celle-ci s'effectue par la récolte de fourrage et de résidus de culture pour nourrir les animaux, puis par l'utilisation des effluents d'élevage pour maintenir la fertilité des sols (Powell *et al.*, 2004 ; Marquant et Salgado, 2016).

Bien que les intrants organiques soient des amendements essentiels pour maintenir la fertilité des sols, leur faible qualité et leur disponibilité limitée ne leur permettent généralement pas de maintenir seuls la production agricole (Vanlauwe et Giller, 2006 ; Fanjaniaina *et al.*, 2021). En effet, la faible rétention des éléments nutritifs pendant la manipulation et le stockage du fumier entraîne d'importantes pertes d'éléments nutritifs (Rufino *et al.*, 2006). Les pratiques de gestion du fumier sont d'une importance primordiale pour limiter les pertes d'éléments nutritifs et accroître l'efficacité du recyclage et donc le retour au sol des nutriments (Snijders *et al.*, 2009). D'autres travaux que nous avons menés à Madagascar montrent que les pertes peuvent atteindre les trois quarts des éléments nutritifs entrant dans les systèmes d'élevage traditionnels (Fanjaniaina *et al.*, 2022).

Un premier moyen d'action pour réduire les pertes consiste à améliorer la collecte des déjections à l'étable ; le paillage, le revêtement de la surface de l'étable ou la collecte des effluents liquides étant des améliorations efficaces (Marquant et Salgado, 2016 ; Fanjaniaina *et al.*, 2022). Les modalités utilisées par les agriculteurs sont assez variables, ce qui ne nous a pas permis d'obtenir de réponses précises à partir des enquêtes réalisées.

Le second moyen d'action porte sur les modalités de stockage des déjections, avec trois principaux modes de stockage mis en évidence par les enquêtes : en tas non couvert, en fosse non couverte ou en fosse sous couvert (Tab. 3).

Le stockage du fumier en fosse représente une première amélioration dans la gestion des effluents et conduit généralement à une amélioration de la qualité du fumier (Blanchard *et al.*, 2013 ; Salgado *et al.*, 2014 ; Marquant et Salgado, 2016). Une étude sur l'intégration agriculture-élevage pour valoriser les ressources et accroître les revenus, menée sur les exploitations laitières des Hautes Terres, a montré que les plus fortes teneurs en azote des fumiers analysés (2,0–2,6% MS) provenaient des exploitations qui pratiquaient le stockage du fumier dans des fosses (Salgado *et al.*, 2014).

La mise sous-couvert des installations de stockage du fumier représente une amélioration supplémentaire. Elle permet, par exemple, de réduire l'exposition aux températures élevées et les pertes d'azote qui en découlent, ainsi que de limiter l'exposition aux précipitations, et donc de minimiser les pertes de nutriments dues à la lixiviation. Rufino *et al.* (2007) ont ainsi observé que le fumier recouvert d'un film plastique et stocké sous un toit perdait seulement 20% de sa teneur en azote, alors que les pertes atteignaient 55% pour le fumier stocké en tas non couvert au Kenya. Tittonell *et al.* (2010) ont également montré que le fumier stocké dans des fosses ouvertes présentait des fractions massiques d'azote et de phosphore inférieures à celles du fumier stocké en tas, non couvert ou sous couvert.

L'amélioration de la qualité des fumiers se traduit par des augmentations de rendement. À Madagascar, Rasolofo (2017) a montré que l'utilisation de fumiers améliorés a permis d'augmenter les rendements en grain et paille de riz de 26% et

34 %, respectivement, par rapport à l'utilisation de fumier conventionnel. Au Zimbabwe, Mutiro et Murwira (2003) ont augmenté le rendement du maïs de 104 % avec l'application de fumier stocké en fosse couverte, par rapport à du fumier stocké en tas non couvert.

Nos résultats mettent en évidence des relations significatives entre les modes de gestion des déjections et la typologie des exploitations (Tab. 3). Ainsi, les fermes traditionnelles, qui pratiquent l'élevage des bovins de trait (types 4 et 7), stockent principalement leurs fumiers en tas non couvert, soit la modalité la plus susceptible d'induire des pertes importantes de nutriments. Les autres exploitations stockent majoritairement les déjections dans des fosses, non couvertes ou sous couvert, ce qui est susceptible de réduire les pertes de nutriments lors du stockage. Le stockage est plus souvent effectué dans des fosses couvertes dans les types 2 et 6. Ces exploitations correspondent aux exploitations laitières les plus intensives, grâce à l'utilisation de fourrages cultivés, et aux exploitations élevant des porcs. L'intensification des systèmes d'élevage, et en particulier la stabulation des animaux qui l'accompagne, est un élément déclencheur de meilleures pratiques de gestion des effluents d'élevage. En effet, l'activité laitière dégage une valeur ajoutée élevée (Bélières et Lançon, 2020), notamment dans les fermes les plus intensives, ce qui permet de financer plus facilement des infrastructures de stockage des déjections de meilleure qualité.

L'encadrement technique est toutefois un autre levier d'amélioration des modes de gestion des effluents d'élevage. Nos résultats (Tab. 4) montrent un effet significatif de l'encadrement technique des fermes par le FIFAMANOR. La gestion des fumiers et des déjections animales est souvent trop peu abordée par le conseil agricole. Son amélioration passe par une meilleure prise en compte des engrais organiques comme source de fertilisants pour l'agriculture.

5 Conclusion

Malgré une variabilité forte, nos résultats permettent de dégager certains facteurs explicatifs des différents modes de gestion des effluents dans les exploitations agricoles du Vakinankaratra. La présence de l'élevage laitier semble favoriser des modes de gestion améliorés, tout comme la présence de l'élevage porcin.

Compte tenu des dynamiques en cours sur les Hautes Terres de Madagascar, en particulier la saturation foncière liée à la croissance démographique qui nécessite de réfléchir à une intensification écologique dans les exploitations agricoles de la zone, il est nécessaire de continuer à rechercher les facteurs favorables à l'adoption de pratiques améliorées de gestion des effluents d'élevage. En particulier, il s'agirait de mieux comprendre comment la présence de bovins laitiers ou de porcins favorise ces pratiques améliorées, mais également quels sont les facteurs favorisant la mise en place de ces ateliers au sein des exploitations agricoles.

Outre les modes de stockage, les pratiques améliorées liées à la gestion des effluents à l'étable (paillage de l'étable, collecte des urines, etc.), qui n'ont pas été prises en compte dans l'étude, doivent être considérées dans une vision plus globale de la gestion de la matière organique. Ces réflexions devraient pouvoir nourrir le conseil technique pour

l'amélioration des pratiques de gestion des effluents d'élevage, notamment en tenant compte de la diversité structurelle et socio-économique des exploitations sur les Hautes Terres de Madagascar.

Références

- African Development Bank (AfDB). 2006. African development report 2006: Aid, debt relief and development in Africa. New York (United States): Oxford University Press, 326 p.
- Alvarez S. 2012. Pratiques de gestion de la biomasse au sein des exploitations familiales d'agriculture-élevage des hauts plateaux de Madagascar : conséquences sur la durabilité des systèmes. Thèse de doctorat, Montpellier-SupAgro, Montpellier, 224 p.
- Alvarez S, Rufino MC, Vayssières J, Salgado P, Titonell P, Tillard E, *et al.* 2014. Whole-farm nitrogen cycling and intensification of crop-livestock systems in the highlands of Madagascar: an application of network analysis. *Agricultural Systems* 126: 25–37. <https://doi.org/10.1016/j.agry.2013.03.005>.
- Bélières JF, Lançon F. 2020. Étude diagnostic relative au potentiel de croissance de la chaîne de valeur lait et produits dérivés. <https://hal.umontpellier.fr/hal-02963568>.
- Bélières JF, Burnod P, Rasolofo P, Sourisseau JM. 2016. In: Pesche D, Losch B, Imbernon JS, eds. *Une nouvelle ruralité émergente : Regards croisés sur les transformations rurales africaines*. Montpellier : CIRAD ; NEPAD, pp. 56–57.
- Bélières JF, Rasolofo P, Rivolala B, Ratovoarinony R, Ratsaramiarina O, Rabevohitra BN, *et al.* 2017a. Élaboration de typologies d'exploitations agricoles au niveau infranational à Madagascar : Lac Alaotra et région du Menabe. Antananarivo (Madagascar) : CIRAD-FAO, 57 p.
- Bélières JF, Rasolofo P, Rivolala B, Ratovoarinony R, Ratsaramiarina O, Rabevohitra BN, *et al.* 2017b. Typologies d'exploitations agricoles à Madagascar et contributions méthodologiques : synthèse finale pour le programme WAW, 19 p.
- Bernal MP, Alburquerque JA, Moral R. 2009. Composting of animal manures and chemical criteria for compost maturity assessment. A review. *Bioresource Technology* 100(22): 5444–5453. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2008.11.027>.
- 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(6): 672–699. <https://doi.org/10.1080/21683565.2013.775687>.
- Boudet G, Rivière R. 1968. Emploi pratique des analyses fourragères pour l'appréciation des pâturages tropicaux. *Revue d'Élevage et de Médecine Vétérinaire des Pays Tropicaux* 21(2): 227–266. <https://doi.org/10.19182/remvt.7588>.
- Chianu JN, Chianu JN, Mairura F. 2012. Mineral fertilizers in the farming systems of sub-Saharan Africa. A review. *Agronomy for Sustainable Development* 32(2): 545–566. <https://doi.org/10.1007/s13593-011-0050-0>.
- Chikowo R, Zingore S, Snapp S, Johnston A. 2014. Farm typologies, soil fertility variability and nutrient management in smallholder farming in Sub-Saharan Africa. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 100(1): 1–18. <https://doi.org/10.1007/s10705-014-9632-y>.
- Fanjaniaina ML, Delarivière JL, Salgado P, Tillard E, Rabeharisoa L, Becquer T. 2021. Biomass harvesting leads to soil acidification: A study of mixed crop-livestock farming systems in Madagascar. *Crop and Pasture Science* 72(3): 236–244. <https://doi.org/10.1071/cp20499>.
- Fanjaniaina ML, Stark F, Ramarovaoka NP, Rakotoharinaivo JF, Rafolisy T, Salgado P, *et al.* 2022. Nutrient flows and balances in

- mixed farming systems in Madagascar. *Sustainability* 14(2): 984. <https://doi.org/10.3390/su14020984>.
- Giller KE, Cadisch G, Mugwira LM. 1998. Potential benefits from interactions between mineral and organic nutrient sources. In: Waddington SR, ed. *Soil fertility research for maize-based farming systems in Malawi and Zimbabwe*. Harare (Zimbabwe): Soil Fertility Network and CIMMYT-Zimbabwe pp. 155–158.
- González-García E, Gourdine JL, Alexandre G, Archimède H, Vaarst M. 2012. The complex nature of mixed farming systems requires multidimensional actions supported by integrative research and development efforts. *Animal* 6(5): 763–777. <https://doi.org/10.1017/S1751731111001923>.
- Marquant B, Salgado P. 2016. Les relations agriculture-élevage au sein des exploitations des Hautes Terres. In: Penot E, ed. *Processus d'innovation et résilience des exploitations agricoles à Madagascar*. Paris (France) : L'Harmattan, pp. 251–274.
- Mutiro K, Murwira HK. 2003. The profitability of manure use on maize in the small-holder sector of Zimbabwe. In: Bationo A, ed. *Managing nutrient cycles to sustain soil fertility in sub-Saharan Africa*. Nairobi (Kenya): Academy Science Publishers, pp. 571–582.
- Office National de la Nutrition (ONN). 2018. Enquêtes sur la situation nutritionnelle et la mortalité rétrospective dans 3 districts de Madagascar: Tsihombe et Beloha dans la région d'Androy Ampanihy dans la région d'Atsimo Andrefana. Rapport Nutrition MART 2018, 54 p.
- Penot E, Duba G, Salgado P, Dugué P. 2016. Capacités d'adaptation des exploitations laitières des hautes terres de la province du Vakinankaratra à Madagascar : impacts de la crise de 2009. *Revue d'Elevage et de Médecine Vétérinaire des Pays Tropicaux* 69(1): 19–31. <https://doi.org/10.19182/remvt.31168>.
- Powell JM, Pearson RA, Hiernaux PH. 2004. Crop-livestock interactions in the West African drylands. *Agronomy Journal* 96 (2): 469–483. <https://doi.org/10.2134/agronj2004.4690>.
- Rabemanambola MF. 2007. Le « triangle laitier » malgache. Contribution à l'étude d'une filière alimentaire et de son inscription spatiale dans un pays en voie de développement. Thèse de doctorat en géographie, Université Clermont-Ferrand II et Université d'Antananarivo, Clermont-Ferrand, 375 p.
- Rasolofo L. 2017. Impact des innovations agro-écologies sur les flux de carbone et d'azote des cultures pluviales. Cas des Hautes Terres de Madagascar. Thèse de doctorat, Université d'Antananarivo, Antananarivo, 161 p.
- Razafimahatratra HM, Bélières JF, Raharimalala S, Randriamihary FS, Autfray P, Razanakoto OR, *et al.* 2020. Production et acquisition de fumure organique pour la gestion de la fertilité des sols par les exploitations agricoles du Moyen-Ouest de la région Vakinankaratra et de la zone Est de la région d'Itasy, Madagascar. *Journal de l'Agroécologie* 9: 34. https://agritrop.cirad.fr/595706/1/2020_JAE09_Razafimahatratra%20et%20al%20Fumure%20Organique.pdf.
- Rufino MC, Rowe EC, Delve RJ, Giller KE. 2006. Nitrogen cycling efficiencies through resource-poor African crop-livestock systems. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 112(4): 261–282. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2005.08.028>.
- Rufino MC, Titttonell P, Van Wijk MT, Castellanos-Navarrete A, Delve RJ, De Ridder N, *et al.* 2007. Manure as a key resource within smallholder farming systems: Analysing farm-scale nutrient cycling efficiencies with the NUANCES framework. *Livestock Science* 112(3): 273–287. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2007.09.011>.
- Salgado P, Tillard E, Rarivoarimanana B, Decruyenaere V, Lecomte P. 2014. Management practices to conserve the fertilizer N value of dairy manure in Vakinankaratra region, Madagascar. In: *International Conference Agroecology for Africa, Antananarivo, Madagascar*.
- Snijders PJM, Davies O, Wouters AP, Gachimbi L, Zake J, Ergano K, *et al.* 2009. Cattle manure management in East Africa: Review of manure quality and nutrient losses and scenarios for cattle and manure management. Wageningen (Netherlands): Wageningen UR Livestock Research, Report 258, 25 p.
- Subtil C. 2021. Madagascar: le retour de la stabilité politique permettra-t-il le décollage de l'économie malgache? Paris (France): AFD, MacroDev, 45 p.
- Tabutin D, Schoumaker B. 2020. La démographie de l'Afrique subsaharienne au XXI^e siècle. *Population* 75(2): 169–295. <https://doi.org/10.3917/popu.2002.0169>.
- Teenstra E, Vellinga T, Aektasaeng N, Amatayakul W, Ndambi A, Pelster D, *et al.* 2014. Global assessment of manure management policies and practices. Wageningen (Netherlands): Wageningen UR Livestock Research, Report 844, 33 p.
- Tian G, Kang BT, Kolawole GO, Idinoba P, Salako FK. 2005. Long-term effects of fallow systems and lengths on crop production and soil fertility maintenance in West Africa. *Nutrient cycling in Agroecosystems* 71(2): 139–150. <https://doi.org/10.1007/s10705-004-1927-y>.
- Titttonell P, Giller KE. 2013. When yield gaps are poverty traps: The paradigm of ecological intensification in African smallholder agriculture. *Field Crop Research* 143: 79–90. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2012.10.007>.
- Titttonell P, Rufino MC, Janssen BH, Giller KE. 2010. Carbon and nutrient losses during manure storage under traditional and improved practices in smallholder crop-livestock systems – Evidence from Kenya. *Plant and Soil* 328(1): 253–269. <https://doi.org/10.1007/s11104-009-0107-x>.
- Vanlauwe B, Giller KE. 2006. Popular myths around soil fertility management in sub-Saharan Africa. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 116(1-2): 34–46. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2006.03.016>.
- World Bank. 2018. Data World Bank. <http://data.worldbank.org/indicator>.
- Zingore S, Mutegi J, Agesa B, Tamene L, Kihara J. 2015. Soil degradation in sub-Saharan Africa and crop production options for soil rehabilitation. *Better Crops* 99(1): 24–26.

Citation de l'article : Ramarovoaka N, Vigne M, Fanjaniaina ML, Randrianarisoa AV, Nivonirina NA, Andriamananjara A, Salgado P, Stark F, Rafolisy T, Becquer T. 2023. Relations entre structure des exploitations et gestion des effluents d'élevage sur les Hautes Terres de Madagascar. *Cah. Agric.* 32: 20. <https://doi.org/10.1051/cagri/2023014>