



## Gestion et quantification des apports de fertilisants dans les Hautes Terres de l'Itasy : pratiques habituelles et innovantes



**Nasandratra Ravonjarison<sup>1</sup>, Manoa Raminoarison<sup>1</sup>, Damase Razafimahafaly<sup>1</sup>, Malalotiana Razafindrakoto<sup>1</sup>, Onja Ratsiatosika<sup>1</sup>, Lanto Randrianantenaina<sup>4</sup>, Hobiarivelo Rakotomalala<sup>4</sup>, Laetitia Bernard<sup>3</sup>, Patrice Autfray<sup>2</sup>, Tantely Razafimbelo<sup>1</sup>, Eric Blanchart<sup>3</sup>**

[nasandratra.ravonjarison@gmail.com](mailto:nasandratra.ravonjarison@gmail.com); [ramimanoa@gmail.com](mailto:ramimanoa@gmail.com)

<sup>1</sup> Laboratoire des Radioisotopes (LRI), Route d'Andraisoro, Antananarivo, Madagascar

<sup>2</sup> AIDA, CIRAD, Montpellier, France

<sup>3</sup> Eco&Sols, IRD, Univ. Montpellier, CIRAD, INRAE, Institut Agro, Montpellier, France

<sup>4</sup> AMADESE, (Association MALagasy pour le Développement Economique, Social et Environnemental (AMADESE), Itasy, Madagascar

### Résumé

La gestion de la fertilité des Ferralsols des Hautes Terres de Madagascar constitue un défi majeur pour soutenir la productivité agricole en raison de la faible fertilité de ces sols. Si les différentes pratiques de fertilisation conduites par les agriculteurs sont inventoriées, on manque de données sur la gestion à la parcelle concernant les quantités et les qualités des matières fertilisantes apportées. Dans le cadre du projet Innov'Earth, cette étude avait deux objectifs principaux. Tout d'abord, elle visait à documenter la diversité des pratiques de fertilisation dans les Hautes Terres de Madagascar en fournissant des données précises sur les quantités et la qualité des matières fertilisantes, mesurées en termes de carbone (C), azote (N) et phosphore (P), apportées par les agriculteurs. Deuxièmement, elle cherchait à mettre en évidence l'importance de l'implication des agriculteurs dans la co-conception de solutions innovantes pour améliorer la fertilité

des sols. Ces innovations concernaient l'utilisation du lombricompost et/ou des vers de terre dans les pratiques de fertilisation. L'étude s'est déroulée dans la Région Itasy, Commune Imerintsiatosika, en collaboration avec 42 agriculteurs, des chercheurs et des techniciens agricoles. Un atelier participatif a été organisé pour impliquer les agriculteurs dans la définition des matières fertilisantes habituelles (MFH) et des matières fertilisantes innovantes (MFI) incluant l'utilisation du lombricompost et/ou des vers de terre. Les MFI ont été co-conçues avec la contribution des chercheurs et des techniciens agricoles. Par la suite, onze parcelles d'essai ont été établies dans six *Fokontany*, chacune mesurant 100 m<sup>2</sup>. Chaque parcelle a été divisée en deux moitiés, l'une recevant les MFH et l'autre les MFI co-conçues. Les résultats de l'atelier ont mis en évidence une grande diversité de pratiques paysannes en matière de fertilisation, avec l'utilisation



fréquente de cendres de balles de riz, même lorsque le lombricompost et/ou les vers de terre étaient choisis. Les quantités réellement apportées sur le terrain présentaient des écarts significatifs par rapport aux estimations initiales. Les agriculteurs ont justifié leurs choix de pratiques en fonction de la disponibilité des matières, de leur performance supposée, et de leurs ressources financières. Ils ont également démontré leur capacité à combiner des matières plus

performantes avec d'autres moins performantes, en se basant sur l'impact de ces mélanges sur la qualité et la croissance des plantes. De plus, l'étude a montré comment les pratiques innovantes, impliquant le lombricompost et/ou les vers de terre, peuvent influencer les quantités de nutriments ajoutés aux sols, offrant ainsi des perspectives pour une gestion plus efficace de la fertilité des sols dans cette région.

**Mots clés :** Matières recyclées, fertilisation au poquet, recherche participative, essai agronomique, riz pluvial

## 1. Introduction

La faible fertilité des sols des Hautes Terres de Madagascar exige une gestion méticuleuse des engrais qu'ils soient d'origine organique ou minérale. Ces Ferralsols sont en effet caractérisés par une carence en plusieurs éléments nutritifs essentiels, notamment le phosphore, l'azote, le calcium et le magnésium (Raminoarison *et al.*, 2020). De plus, ils présentent de faibles teneurs en carbone labile et une activité biologique limitée. Ces sols sont extrêmement vulnérables aux effets du changement climatique et une gestion inadéquate pourrait rapidement les rendre impropres à la culture. Des recherches antérieures, notamment le projet SECuRE financé par la Fondation Agropolis entre 2017 et 2021, se sont concentrées sur l'amélioration des pratiques de fertilisation.

Ces études ont examiné, via des enquêtes, la gestion de la fertilité au sein des exploitations agricoles familiales des Hautes-Terres de la région Itasy à Madagascar (Ben Naamane *et al.*, 2020a ; Raharimalala, 2018 ; Razafimahatratra *et al.*, 2019 ; Razafimahatratra *et al.*, 2020 ; Razanakoto *et al.*, 2021). Ces travaux ont décrit les différentes pratiques de fertilisation des agriculteurs ainsi que les différents types des matières fertilisantes (MF). Si les différentes pratiques des MF conduites par les agriculteurs sont inventoriées, on manque de données sur la gestion à la parcelle concernant les quantités des MF apportées. Toutefois, ces données sont nécessaires pour co-concevoir des innovations basées sur les apports en carbone et en

nutriments, afin d'optimiser les MF en fonction des besoins spécifiques des cultures.

La présente étude propose, dans cette optique, de documenter la diversité des pratiques de fertilisation, en fournissant des données précises sur les quantités (exprimées en kilogrammes) et la qualité (mesurée en termes de carbone C, azote N et phosphore P) des MF apportées sur les parcelles paysannes. L'approche participative a été menée en partenariat avec les agriculteurs et les scientifiques pour permettre la co-construction des pratiques de fertilisation reposant sur l'utilisation de lombricomposts et/ou de vers de terre, comme solution innovante basée sur la nature.

Cette étude a été effectuée dans le cadre du projet Innov'Earth (**Innovative agricultural nature-based solutions to reduce climate change, land degradation and food insecurity: the potential of earthworms and vermicompost in small tropical farms**). Il s'agit d'un projet de deux années, porté par l'IRD<sup>11</sup> et le LRI<sup>12</sup> financé par Agropolis Fondation, visant des solutions agricoles durables innovantes fondées sur la nature dont le potentiel de diversification des pratiques de fertilisation avec l'inoculation des vers de terre et le développement du lombricompostage dans les petites exploitations tropicales (Blouin *et al.*, 2019 ; Mahanayak *et al.*, 2017 ; Ratsiatosika & Blanchart, 2021). La culture servant de référence a été le riz pluvial.

<sup>11</sup> Institut de Recherche pour le Développement

<sup>12</sup> Laboratoire des Radioisotopes



## 2. Matériels et méthodes

L'étude a eu lieu à Imerintsiatosika dans la Région Itasy, Madagascar dans le cadre du projet Innov'Earth<sup>13</sup>. Elle a débuté par un atelier participatif en salle qui a rassemblé quarante-deux agriculteurs venant de six *Fokontany*, huit chercheurs, deux techniciens agricoles et deux représentants d'ONG pour des diagnostics relatifs aux connaissances et expériences pratiques de chacun concernant les MF. L'objectif de l'atelier était de co-construire des pratiques innovantes utilisant les lombricomposts et/ou les vers de terre. Les pratiques innovantes ont été ensuite comparées, en termes de croissance et de rendement en riz pluvial, aux pratiques de fertilisation habituelles sur des parcelles d'essai gérées par les agriculteurs.

Durant l'atelier, les agriculteurs ont été invités à estimer, en se basant sur leurs connaissances et leurs expériences, la quantité totale de MF à appliquer sur la parcelle d'essai ainsi que les doses à apporter par poquet. Les échanges entre agriculteurs et avec les scientifiques ont abouti à des propositions concrètes en termes de fertilisation.

A la suite de l'atelier, onze parcelles d'essai réparties dans les six *Fokontany* et mesurant chacune 100 m<sup>2</sup> ont été mises en place. Chaque parcelle d'essai a été divisée en deux parties. Dans la première moitié (50 m<sup>2</sup>), les matières fertilisantes habituelles (MFH) ont été apportées telles que proposées par les agriculteurs lors de l'atelier. Dans la seconde moitié, les matières fertilisantes innovantes (MFI) ont été apportées comme décidé par collaboration entre agriculteurs et équipes scientifiques et techniques du projet. Ces MFI impliquaient soit l'utilisation des lombricomposts, soit l'inoculation des vers de terre, soit les deux, associés ou non à d'autres MF. Les quantités proposées par les agriculteurs et les quantités réelles apportées ont été converties en tonnes/ha (t/ha). La correspondance des unités de mesure locale (charrette, *sobika*, ...) a été calculée sur la base des résultats de Ravonjariison *et al.* (en préparation : l'article en soumission parallèle).

Nous avons collecté des échantillons des MF utilisées pour des analyses en termes de teneurs en carbone (C), en azote (N) et en phosphore (P) et pour mesurer leur humidité.

Pour déterminer les quantités réelles appliquées, nous avons effectué aléatoirement des pesées de la masse de MF apportées par poquet lors de la mise en place des parcelles. Le nombre d'échantillons pesés variait entre 10 à 20 prises, pour chaque parcelle, afin d'avoir une idée de la moyenne et de la variabilité des quantités. Enfin, les données collectées ont été soumises à une analyse statistique descriptive à l'aide du logiciel XLstat.



**Photo 1 : Travail en atelier pour décrire les pratiques habituelles et proposer les pratiques innovantes.**



**Photo 2 : Délimitation d'une parcelle d'essai, Antamboho I, Imerintsiatosika**

<sup>13</sup> Innovative agricultural nature-based solutions to reduce climate change, land degradation and food insecurity: the potential of earthworms and vermicompost in small tropical farms).



Photo 3 : Mélange des matières fertilisantes avant analyse et pesée



Photo 4 : Mise en place d'un essai et pesée des matières apportées par poquet

### 3. Résultats

#### 3.1 Matières fertilisantes proposées pour les parcelles d'essais

Les résultats issus de l'atelier d'échange entre agriculteurs et scientifiques, révèlent une grande diversité de pratiques paysannes en termes de MF. D'abord, tous les agriculteurs (100%) ont l'habitude

de combiner au moins deux matières fertilisantes pour la culture du riz pluvial (Tableau 1 et Tableau 2). Les assemblages sont à base de cendres organiques et principalement de balles de riz.

Tableau 1: Liste des matières fertilisantes habituelles utilisées par les agriculteurs d'Imerintsiatosika, quantités proposées lors de l'atelier, et quantités réellement apportées aux champs (t/ha) et par poquet (g) (en poids secs)

Parcelles d'essais	Noms des matières	Quantité proposée		Quantité totale proposée T/ha	Quantité apportée T/ha	Quantité totale apportée T/ha	Delta T/ha	Quantité par poquet		
		Unités de mesure locale	T/ha					moyenne	minimum	maximum
PE 1	GB	1/4 charrette	15,7	34,7	4,9	4,1	29,4	24,1	17,7	29,7
	FMB	1/4 charrette	18,7		3,2					
PE 2	GB	1/4 charrette	15,7	18,7	1,9	2,3	16,4	8,1	7,2	14,5
	CaB	15 kg	3		0,4					
PE 3	GB	15 sablier	18,4	34,2	5,6	7,9	23,3	39,2	33,8	44,2
	HBP	10 sablier	17,6		2,1					
PE 4	CC	15 sablier	21,2	36,0	0	2,7	36,0	33,9	14,8	47,7
	Rie	10 sablier	11,4		1,7					
PE 5	GB	1/2 sablier	0,64	1,7	2,4	9,4	7,6	32,1	14,4	47,6
	Rie	1 sablier	1,14		6,9					
PE 6	GB	1/2 sac de stock	2,8	11,8	0,8	5,4	6,4	11,4	10,7	14,8
	FMB	1 sac de stock	5,3		2					



Parcelles d'essais	Nom des matières	Quantité proposée		Quantité totale proposée	Quantité apportée	Quantité totale apportée	Delta	Quantité par paquet		
		Unités de mesure locale	T/ha	T/ha	T/ha	T/ha		T/ha	moyenne	minimum
	FuP	1 sac de stock	4,4		2,5					
PE 7	CB	2 sacs	2,4	7,8	2,3	4,8	2,0	24,7	10,9	12,7
	FuB	1 sac de stock	4,4		3,8					
PE 8	CB	1/4 charrette	15,7	34,5	5,1	13,3	21,2	83,8	77,4	117,6
	FuB	1/4 charrette	18,7		8,2					
PE 9	CB	1/4 charrette	15,7	29,7	7,7	13,1	16,6	77,6	64,6	88,7
	FuP	1/4 charrette	14		5,3					
PE 10	CC	1/4 sac à bordure rouge	2,0	6,78	2,1	3,7	1,07	15,0	8,1	21,4
	FuB	1/16 charrette	4,6		1,4					
PE 11	CC	1 sac à bordure rouge	8,4	27,1	4,8	8,2	18,0	32,3	21,3	48,8
	FuB	1/4 charrette	18,7		1,7					

CB : Cendres de balles de riz ; CC : Cendres de cuisine ; CoB : Poudre de corne de bovins ; Fie : Fiente de volailles ; FuB : Fumier de bovins ; FuP : Fumier de porcins

Même dans le cadre de l'innovation utilisant du lombricompost et/ou des vers de terre, tous les agriculteurs, à l'exception d'un seul, continuent de mélanger les matières innovantes avec d'autres MF habituelles (Tableau 2).

Concernant les types d'assemblage, sept (7) ont été proposés par les agriculteurs en tant que pratiques habituelles (MFH) (Tableau 1). Neuf groupes d'agriculteurs sur 11 (soit 82%) utilisent les cendres de balles de riz et les combinent avec des fumiers d'animaux<sup>14</sup>. Le fumier de bovins est l'une des matières qui accompagnent le plus souvent les cendres de balles de riz. Dans le cas où le fumier de bovins n'est pas disponible, l'agriculture utilise soit de la fiente de volailles, soit du fumier de porcins. Deux groupes d'agriculteurs sur 11 (soit 18%) ont choisi les cendres de cuisine (reste des bois de chauffe) à la place des cendres de balles de riz, mais elles sont toujours assemblées avec des fumiers d'animaux. Par ailleurs, il existe des agriculteurs qui utilisent des cendres de bouse de bovins. Cette ressource est le plus souvent

utilisée pour la fertilisation des légumes, et le groupe d'agriculteurs a proposé de la tester sur la riziculture pluviale pour cette étude. La poudre de corne de bovins apparaît également parmi les matières fertilisantes utilisées, mais elle est rare et se trouve seulement chez les agriculteurs qui confectionnent des produits artisanaux à base de cornes.

Pour les pratiques innovantes, 10 groupes d'agriculteurs sur 11 optaient pour la combinaison des matières avec huit (8) types d'assemblages de MFI identifiés. Un seul groupe a suggéré de faire un essai exclusivement avec du lombricompost.

Comme pour les pratiques habituelles, les assemblages se basent sur l'utilisation des cendres de balles de riz (Tableau 2). Ensuite, le potentiel d'utilisation du lombricompost chez les agriculteurs d'Imerintsiatosika varie entre eux. Certains :

- Remplacent les fumiers d'animaux par du lombricompost ;

<sup>14</sup> Les fumiers d'animaux englobent les matières produites à base de déjections d'animaux d'élevage telles que les bovins, les porcins et les volailles. Bien que les fientes de volailles ne sont pas considérées comme des fumiers, dans cet article, les fientes seront englobées dans la nomination des fumiers pour faciliter la lecture.



- Remplacent les matières qui sont difficilement accessibles comme la poudre de corne de bovins par du lombricompost ;
- Utilisent les mêmes assemblages habituels mais rajoutent du lombricompost et/ou des vers de terre ;
- Remplacent les assemblages habituels (cendres de balles de riz + fumier de bovins) par de nouveaux assemblages, mais toujours à base de cendres. Ainsi, les cendres de balles de riz ont été remplacées par des cendres de bouse de bovins et le fumier de bovins par du lombricompost ;
- Substituent complètement les MFH par du lombricompost.

**Tableau 2: Liste des matières fertilisantes Innovantes proposées par les agriculteurs d’Imerintsiatosika, quantités proposées lors de l’atelier, quantités réellement apportées aux champs (t/ha) et par poquet (g) (en poids secs)**

Parcelles d'essai	Noms des matières *	Quantité proposée		Quantité totale proposée	Quantité apportée	Quantité totale apportée	Déficit	Quantité par poquet			
		Unités de mesure locale	t/ha	t/ha	t/ha	t/ha		t/ha	g	g	g
PE 1	CB	1/4 charrette	15,7	21,5	4,1	5,5	16,0	16,3	12,1	20,6	
	LC	1/2 sac à lardure rouge	5,8		1,4						
PE 2	CB	1/8 charrette	11,7	20,2	2,8		21,7	2,6	3,56	12,8	
	LC	2 grandes sabots	13,5		0,7	3,5					
PE 3	VDT	2500 ind	0					21,7	20,6	26,4	
	CB	15 sabots	18,4	24,8	7,9						
	FuP	10 petites corvées	5,6		1,9	30,4					
	LC	3 kg	0,6		0,6						
PE 4	LC	24 kg	4,8	4,8	3	3	1,8	2,5	4,6	11,8	
PE 5	CB	1 grande sabots	1,2	10,0	4		0,9	1,1	15,9	11,4	41,1
	LC	1 grande sabots	0,75		1,8						
PE 6	CB	5 petites sabots	2,0	13,0	0,9		6,3	11,0	10,2	44,3	
	FuB	1/16 charrette	4,6		2,2	0,7					
	FuP	1 sac de ciment	2,9		2,7						
	LC	1 sabots	2,1		0,9						
PE 7	CB	2 sabots	2,4	7,5	2,9		0,0	30,4	32,0	32,2	
	FuB	2 sabots	1,0		1,9	7,1					
	LC	10 kg	2		0,7						
	VDT	2500 ind	0								
PE 8	CB	2 sacs à lardure rouge	16,7	26,7	6,1		17,5	44,8	27,5	65,9	
	LC	30 kg	30		1,1	9,2					
PE 9	CB	1/8 charrette	11,7	20,2	1,7		21,4	20,8	61,0	80,6	
	FuP	1/4 charrette	14		5,3	1,3					
	VDT	2500 ind	0								
PE 10	CB	1/4 sac à lardure rouge	2,0	6,7	2,2		2,1	21,4	9,1	31,1	
	FuB	1/16 charrette	4,08		1,9	6,2					
	VDT	2500 ind	0								
PE 11	CB	1 sac à lardure rouge	11,3	63,8	5,6		26,0	27,2	21,3	36,7	
	LC	3 sacs à lardure rouge	55,5		1,1	7,8					

CB : Cendres de balles de riz ; CC : Cendres de cuisine ; CBB : Cendres de bouse de bovins ; CoB : Poudre de corne de bovins ;  
 Fie : Fiente de volailles ; FuB : Fumier de bovins ; FuP : Fumier de porcins ; LC : lombricompost.



### 3.2. Quantité d'apport des matières fertilisantes

Les assemblages proposés par les agriculteurs lors de l'atelier ont été confirmés sur le terrain en termes de qualité et de composition. En revanche, les quantités totales de MF réellement apportées étaient très différentes de celles imaginées initialement (Tableau 1 et Tableau 2). Que ce soit avec les MFH ou avec les MFI, les groupes d'agriculteurs ont largement surestimé leurs quantités d'apport proposées. Les écarts peuvent aller de 2,01 à 26,4 t/ha pour les MFH, et de 0,02 à 56,05 t/ha pour les MFI. Lors de l'atelier, les groupes d'agriculteurs se réfèrent également à des unités de mesure locales qui pourraient expliquer l'écart entre ce qui était prévu et ce qui a été réellement apporté (détails présentés dans l'étude de Ravonjariason *et al.*, en préparation).

Les proportions des matières utilisées dans un mélange ont également changé entre celles qui ont été proposées lors de l'atelier et celles qui ont été appliquées au champ. Pour les MFH, bien que les agriculteurs aient proposé des mélanges avec moins de cendres ou une composition plus équilibrée moitié cendres et moitié fumier animal, on observe que dans la réalité, les cendres de balles de riz sont souvent apportées en plus grande quantité (64% des cas). La même tendance est observée pour les matières fertilisantes innovantes (MFI) où ces cendres restent majoritaires.

En ce qui concerne les quantités de lombricompost utilisées dans les pratiques innovantes :

- Dans les assemblages où le lombricompost a remplacé les fumiers d'animaux, la quantité de lombricompost a été réduite de plus de la moitié par rapport à celle du fumier (Cas des PE 1, PE 5 et PE 8) ;
- Lors de la substitution de la poudre de corne de bovins, presque les mêmes quantités ont été appliquées (cas de la PE 2) ;
- Dans les parcelles où les MFH ont été maintenues, mais avec rajout de lombricompost, certains groupes d'agriculteurs ont dû augmenter les quantités totales d'apport grâce à l'ajout du lombricompost, tandis que d'autres ont maintenu à peu près les mêmes quantités totales en réduisant la part des fumiers d'animaux au profit du lombricompost. La quantité de lombricompost ajoutée n'a pas dépassé une tonne par hectare ;
- Chez le groupe d'agriculteurs utilisant les assemblages innovants à base de cendres de bouse de bovins, la dose du lombricompost a été augmentée de 29% par rapport au fumier de bovins ;
- Dans la parcelle où les MFH ont été remplacées entièrement par du lombricompost, la quantité totale apportée avec le lombricompost est nettement inférieure à celle des MFH.

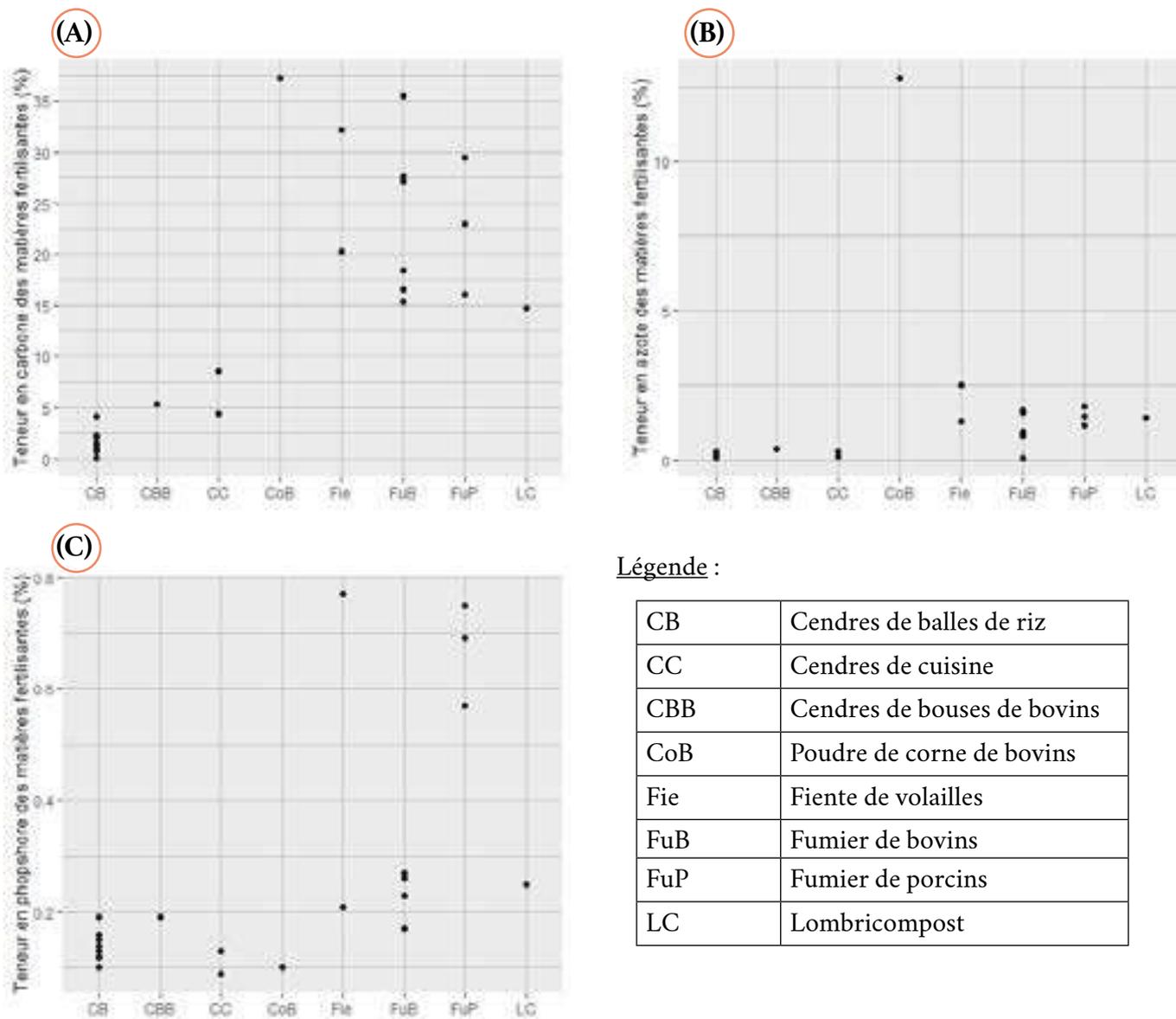
### 3.3. Quantité en nutriments apportés

#### 3.3.1. Teneur en nutriments des matières fertilisantes

Les huit types de matières fertilisantes utilisées par les agriculteurs ont été analysées du point de vue de leurs teneurs en carbone, azote et phosphore : cendres de balles de riz (CB), cendres de cuisine (CC), cendres de bouse de bovins (CFB), poudre de corne de bovins (CZ), fumier de bovins (FuB), fientes de volailles (Fie), lombricompost (LC) et Fumier de porcins (FuP).

La teneur en C de ces matières varie de 0,08 à 37,08 %, la teneur en N de 0,07 à 12,78% et la teneur en P de 0,1 à 0,77% (Figure 1), Au sein d'une matière de même type, les teneurs en nutriments varient selon son origine, c'est-à-dire selon l'agriculteur.

- Les cendres de balles de riz possèdent des teneurs en C allant de 0,08 à 4,09 % et représentent la matière possédant la plus faible teneur en C (Figure 1A). Leur teneur en N varie de 0,07 à 0,26 %, avoisinant celles des autres types cendres (Figure 1B). Quant à la teneur en P, les valeurs sont faibles, entre 0,10 et 0,19 % (Figure 1C) ;
- Les cendres de cuisine (CC) ont des teneurs en C légèrement plus élevées que celles retrouvées dans les cendres de balles de riz, entre 4,4 et 8,52 % ;
- Aussi, les cendres de bouse de bovins (CFB) contiennent plus de C que les cendres de balles de riz.



Légende :

CB	Cendres de balles de riz
CC	Cendres de cuisine
CBB	Cendres de bouses de bovins
CoB	Poudre de corne de bovins
Fie	Fiente de volailles
FuB	Fumier de bovins
FuP	Fumier de porcins
LC	Lombricompost

Figure 1: Variation des teneurs en nutriments des types de matière fertilisantes, (A) Teneur en carbone, (B) Teneur en azote, (C) Teneur en phosphore

- La poudre de corne de bovins (CZ) est connue pour sa forte teneur en carbone et en azote, ceci est vérifié ici avec respectivement des valeurs très élevées de 37,28% en C et 12,78% en N. En revanche, cette matière n'apporte que très peu de phosphore (teneur à 0,1%) ;
- Les fumiers de bovins sont des matières extrêmement variables en termes de qualités ;
- Les teneurs en C sont assez élevées, variant de 15,29 à 35,56% tandis que les teneurs en azote sont faibles, de 0,08 à 1,66%. Quant aux teneurs en P du fumier, elles sont comparables à celles contenues dans les fientes de volailles et le lombricompost (de 0,17 à 0,27%) ;
- Les deux échantillons de fientes de volailles analysés sont extrêmement différents l'un de l'autre : 20,21 et 32,23% pour C, 1,28 et 2,40% pour N, 0,21 et 0,77% pour P ;
- Le lombricompost utilisé dans l'étude provient d'une seule source (Association Amadese). L'espèce utilisée est *Eisenia foetida*. Le taux d'humidité de la matière varie de 60 à 80%. Le lombricomposteur est fabriqué en béton de longueur intérieure de 7,2m, de largeur intérieure de 1,35m et de hauteur de 43cm. Les principales matières pour l'alimentation des vers de terres sont les fumiers de bovins frais, déchets de cuisine, paille de riz, cheveux, feuilles de Tithonia, de bananier, de glyricidia, etc ;



La pureté du produit final est assurée par un tamisage à la fin du processus de décomposition par les vers. A la vente, le prix du lombricompost se situe entre 1 200 ar à 3 000 ar le Kg. Suite aux analyses, les teneurs en C, N et P du lombricompost sont comparables à celles contenues dans les fumiers de bovins, avec des valeurs de 14,72 ; 1,42 et 0,25% respectivement. Il est à noter qu'il s'agit des teneurs totales, la qualité biochimique qui informe avec précision la

capacité des matières à libérer les nutriments diffère probablement entre le lombricompost et le fumier ;

- Les teneurs en C des fumiers de porcins sont également très variées, de 16,14 à 29,55%, tout comme celles en P, assez élevées, de 0,57 à 0,75%. En revanche, les teneurs en N sont assez faibles, autour de 1,5%.

### 3.3.2. Variation des quantités de nutriments apportés par les pratiques habituelles et innovantes

Les résultats précédents ont souligné la grande variabilité dans les quantités de MF apportées au poquet par les agriculteurs de la région. Il en est de même pour les apports en carbone et en nutriments. Ainsi, pour ce qui concerne les MFH, les quantités de C apportées par les agriculteurs varient de 195 à 1515 kg/ha, les quantités de N varient de 3 à 96 kg/ha et les quantités de P de 3 à 47 kg/ha. Pour les MFI, les quantités de C apportés varient de 157 à 1345 kg/ha, les quantités de N de 3 à 88 kg/ha et les quantités de P de 6 à 47 kg/ha. En se référant aux valeurs moyennes, le carbone, l'azote et le phosphore apportés par les pratiques habituelles ( $918 \pm 410$  kg de C/ha,  $54 \pm 26$  kg de N/ha et  $18 \pm 11$  kg de P/ha) sont un peu plus élevés que ceux apportés par les pratiques innovantes ( $705 \pm 385$  kg de C/ha,  $47 \pm 26$  kg de N/ha et  $17 \pm 11$  kg de P/ha).

En changeant les pratiques de fertilisation habituelles en pratiques innovantes intégrant l'utilisation du

lombricompost, les quantités totales en nutriments ajoutés varient : soit elles diminuent, soit elles augmentent (Tableau 3). En innovant, les parcelles d'essai où les MF issues des fumiers d'animaux ont été remplacées par du lombricompost et les parcelles où toutes les MFH ont été remplacées avec uniquement du lombricompost, les quantités en nutriments (C, N, P) ajoutés ont diminué. Ce sont les cas des parcelles d'essais PE 1, 4, 5 et 8. De ce fait, la quantité de nutriments introduits par le lombricompost ne compense pas les apports nutritifs des MF provenant des fumiers d'animaux. Ceci est dû à la forte réduction de la dose de lombricompost apportée et sa composition chimique moins favorable que celle des fumiers de porcins ou des fientes. Pour la PE 2, la quantité de poudre de corne de bovins a été compensée par le lombricompost, en revanche, les quantités en C et N ont diminué du fait des moindres teneurs du lombricompost en ces éléments, tandis que la quantité en P ajoutée se trouve améliorée.

Tableau 3: Quantité totale en nutriments (carbone, azote, phosphore) apportés par pratique

Code	Matières apportées	Matières fertilisantes habituelles				Matières fertilisantes innovantes				
		Quantité apportée	C total apporté	N total apporté	P total apporté	Matières apportées	Quantité apportée	C total apporté	N total apporté	P total apporté
		t/ha	Kg/ha				t/ha	Kg/ha		
PE1	Cendre de balles de riz	4,9	661	58	16	Cendres de balles de riz	4,1	299	25	9
	Fumier de bovins	3,2				Lombricompost	1,4			
PE2	Cendres de balles de riz	1,9	195	55	3	Cendres de balles de riz	2,8	157	12	6
	Poudre de corne de bovin	0,4				Lombricompost	0,7			
	Cendres de balles de riz	5,6				Cendres de balles de riz	7,9			
PE3	Fumier de porcins	2,3	747	46	23	Fumier de porcins	0,6	741	49	24
						Lombricompost	1,9			



		Matières fertilisantes habituelles				Matières fertilisantes innovantes					
Code	Matières apportées	Quantité apportée	C total apporté	N total apporté	P total apporté	Matières apportées	Quantité apportée	C total apporté	N total apporté	P total apporté	
		t/ha	Kg/ha				t/ha	Kg/ha			
PE4	Cendres de cuisine	6,0	812	48	18	Lombricompost	3	449	43	7	
	Fiente de volailles de volailles	1,7									
PE5	Cendres de balles de riz	2,4	1512	96	17	Cendres de balles de riz	4	583	50	11	
	Fiente de volailles	6,9									
	Cendres de balles de riz	0,8									
PE6	Fumier de bovins	2,0	971	63	20	Fumier de bovins	2,2	1163	80	24	
	Fumier de porcins	2,5									
PE7	Cendres de balles de riz	2,3	980	57	12	Cendres de balles de riz	2,9	1202	74	14	
	Fumier de bovins	3,4									
PE8	Cendres de balles de riz	5,1	1515	73	22	Cendres de balles de riz	6,1	451	48	17	
	Fumier de bovins	2,2									
PE9	Cendres de balles de riz	7,7	1345	88	47	Cendres de balles de riz	7,7	1345	88	47	
	Fumier de porcins	5,3									
PE10	Cendres de balles de riz	2,3	538	3	8	Cendres de balles de riz	2,2	738	3	9	
	Fumier de bovins	1,4									
PE11	Cendres de cuisine	6,4	822	31	13	Cendres de bouses de bovins	5,6	624	50	16	
	Fumier de bovins	1,7									

Dans les cas où, en tant qu'innovation, les MFH ont été gardées aux mêmes quantités mais avec ajout du lombricompost, de fait les quantités en C, N et P ajoutées ont augmenté. Cette situation s'observe dans les PE 3, 6 et 7.

Une situation particulière est remarquée avec la PE 11, où les MFI utilisant les cendres de bouse de bovins et du lombricompost ont permis d'augmenter les quantités en N et P ajoutés mais avec une diminution du C ajouté, même avec un remplacement de 1,7 t/ha

de fumier de bovins par 2,2 t/ha du lombricompost. La teneur en C plus élevée des cendres de cuisine, accompagnant le fumier de bovins, a permis de garder un apport en C plus conséquent dans les MFH.

Dans les parcelles où les MFI consistaient à garder les mêmes types et quantités de MFH mais avec une inoculation de 2500 individus de vers de terre, les quantités en nutriments n'ont pas changé, c'est le cas des PE 9 et 10.



## 4. Discussion

### 4.1. Assemblage des matières fertilisantes : une pratique courante des agriculteurs

Les résultats issus de cette étude montrent l'existence de sept (07) types de MF, qui sont fréquemment utilisées par les agriculteurs de la zone d'Imerintsiatosika, à savoir, par fréquence d'utilisation : les cendres de balles riz, le fumier de bovins, le fumier de porcins, la fiente de volailles, les cendres de cuisine, les cendres de bouse de bovins et la poudre de corne de bovins. La présente étude vient confirmer les études antérieures sur l'identification des principales matières fertilisantes utilisées dans la zone (Ben Naamane & Autfray, 2020a ; Razafimahatratra *et al.*, 2019 ; Razafimahatratra *et al.*, 2020).

L'assemblage de deux ou plusieurs MF est la base des pratiques paysannes d'Imerintsiatosika. Il s'agit d'une pratique très recommandée et pratiquée également dans d'autres zones (Ben Naamane et Autfray, 2020a). La pratique a été construite dans ces zones suite aux expériences vécues des agriculteurs. En effet, due à la faible disponibilité des matières, les agriculteurs ont développé des connaissances empiriques stipulant que les assemblages des matières résoudraient la faible fertilité des sols et amélioreraient la productivité grâce aux apports différenciés des matières. En outre, ils les choisissent selon la perception qu'ils ont des « besoins plantes-sols » et leurs expériences sur les combinaisons perçues efficaces pour leurs propres contextes (Ravonjariason *et al.*, 2018). Les agriculteurs se basent

sur des paramètres qualitatifs en estimant que les légumes feuilles ont besoin de plus de matières plus décomposées et plus fines (telles que les fientes de volailles et les fumiers de porcins), les tubercules ont besoin des matières qui sont capables de restructurer les sols (telles que les balles de riz), les graminées ont besoins des matières plus complexes. Ils ont aussi acquis des expériences sur l'effet individuel des matières en se référant sur la qualité et la vitesse de croissance des plantes. Selon eux, les matières telles que les fientes de volailles, les fumiers de porcins, la poudre de corne de bovins ne s'appliquent jamais seules au risque de brûler les cultures.

Ces matières sont qualifiées comme acidifiantes et sont nécessairement assemblées avec des matières comme les cendres de balle de riz ou du fumier de bovins pour tamponner l'effet acidifiant. De l'autre côté, les fumiers de bovins et les cendres de balle de riz auront des effets peu significatifs sur la culture s'ils sont apportés seuls, d'où la nécessité de les assembler avec d'autres matières plus riches en nutriments. Plusieurs études ont en fait montré la synchronie entre les nutriments libérés des assemblages (Gentile *et al.*, 2009 ; Vanlauwe *et al.*, 2001). Les choix s'orientent aussi par rapport aux possibilités financières et humaines et plus particulièrement à leur disponibilité.

### 4.2. Des assemblages à base de cendres de balles de riz

L'utilisation des cendres des balles de riz au poquet est une pratique typique de Madagascar. Le pays a la particularité d'avoir beaucoup de riz et Imerintsiatosika, de par sa proximité de la ville d'Antananarivo, reste une zone de prédilection des collecteurs et décortiqueurs de riz. Les balles sont en conséquence largement disponibles.

De plus, l'accroissement rapide du taux d'urbanisation de la zone accentuent la construction des habitats qui se conjuguent avec la fabrication en quantité des briques essentiellement cuites avec des balles de riz. Ce phénomène explique la grande disponibilité des

cendres de balles de riz à un coût de 15 000 Ar<sup>15</sup> par charrette.

Les agriculteurs, par expérience, ont remarqué que les cendres de balle de riz présentent des effets positifs sur la fertilité physique du sol, en améliorant sa structure et en évitant les tassements, mais n'affectent pas directement la nutrition des plantes. En effet, des études récentes ont démontré la capacité des cendres de balle de riz à améliorer les propriétés physiques du sol (Singh *et al.*, 2019) grâce à sa faible densité avoisinant les 180-200 Kg/m<sup>3</sup> (Zou & Yang, 2019) et conférant aux sols une structure plus friable.

<sup>14</sup> 1€ ≈ 4 500Ar



De l'autre côté, bien que les effets ne soient pas perçus directement par les agriculteurs, le pH modérément alcalin des cendres (Raminoarison *et al.*, 2022 ; Singh *et al.*, 2019) convient aux sols acides des Hautes Terres (Raminoarison *et al.*, 2020) et améliore en conséquence les propriétés chimiques du sol.

Les cendres sont aussi connues pour leur effet insecticide (en lien avec leur forte teneur en silice ; Mahmad-Toher, 2022). Selon eux, pour compenser

la faible teneur en éléments nutritifs des cendres de balle de riz, les agriculteurs jugent indispensables de l'assembler avec des matières issues des fumiers d'animaux, riches en matières organiques (c'est-à-dire en carbone), comme les fientes, fumiers de bovins et de porcins. Cette perception des agriculteurs corrobore les études de Singh *et al.* (2019) concluant que l'assemblage des cendres avec les fumiers permet de maintenir d'une manière durable la fertilité du sol et la productivité agricole.

### 4.3. Quantité des apports : fonction de la perception de l'efficacité des matières

En riziculture pluviale, les agriculteurs ont l'habitude d'apporter les matières fertilisantes au poquet. Ils mettent moins de matières quand ils jugent que la matière présente une performance plus élevée (forte) et de meilleure qualité, et en mettent plus quand il s'agit des matières qu'ils jugent moins performantes. D'après eux, les fientes de volailles, les fumiers de porcins, le lombricompost, la poudre de corne de bovins se classent parmi les matières présentant une performance élevée, tandis que le fumier de bovin et la cendre de balles de riz sont des matières à performance faible.

La performance des matières se mesure par rapport à la vitesse de croissance des plantes et les rendements pouvant être générés. Cette affirmation est confirmée suite au pesage des apports. Les agriculteurs ne mettent que 0,4 t/ha de corne de bovin, 0,7 de lombricompost quand ces deux matières sont en combinaison.

Par ailleurs, le lombricompost est perçu par les agriculteurs comme ayant le même effet performant que les engrais chimiques et ils les apportent à petite dose pour un minimum de 0,7 t/ha si on le mélange avec d'autres MF et un maximum de 3t/ha apporté seul. En termes de teneur en nutriments, les matières que les agriculteurs classent comme performantes possèdent effectivement des teneurs supérieures en N et en P par rapport aux fumiers de bovins et aux cendres de balles de riz.

On note toutefois la présence de fumiers de bovins de bonne qualité proche du lombricompost. Par contre, l'évaluation de la qualité des matières à travers uniquement leurs teneurs totales en nutriments est incomplète, il faut aussi tenir compte de la forme des nutriments (N et P) contenues dans la matière qui joue aussi un rôle important sur leur vitesse de minéralisation.

### 4.4. Utilisation du lombricompost : toujours en assemblage

La pratique d'assemblage des matières fertilisantes (organiques et/ ou minérales) est reconnue comme une technique prometteuse pour la gestion durable de la fertilité des sols des systèmes à bas intrants (Bekunda *et al.*, 2010 ; Lichtfouse, 2017 ; Sanginga & Woomer, 2009). Bien que cette pratique soit répandue dans la zone d'Imerintsiatosika, les ateliers avec les agriculteurs ont mis en évidence leur attraction sur les ressources organiques riches en nutriments telles que les lombricomposts (Raharimalala & Audouin, 2021).

En effet, par rapport aux composts classiques, le lombricompost est connu pour sa faible teneur en

pathogènes des plantes, sa diversité microbienne élevée, sa plus forte concentration en nutriments, et sa plus forte teneur en phytohormones (Blouin *et al.*, 2019 ; Yattoo *et al.*, 2020). Ces effets combinés font du lombricompost une ressource de haute qualité qui est à la fois un amendement/ engrais organique et un agent de biocontrôle des ennemis de culture (Rehman *et al.*, 2023).

A travers cette étude, les résultats ont révélé que le potentiel d'utilisation du lombricompost chez les agriculteurs serait toujours en assemblage avec les matières fertilisantes habituelles (notamment les cendres de balles de riz et les fumiers).



Comme il s'agit d'une première expérience sur l'utilisation du lombricompost pour la majorité des agriculteurs, selon eux, ce choix de pratique s'est basé sur les critères de disponibilité et d'accessibilité au produit. Parallèlement, comme ils ont acquis des connaissances sur la haute qualité du lombricompost lors de l'atelier, les agriculteurs jugent qu'une faible quantité du produit suffit pour avoir les mêmes effets escomptés qu'avec la dose habituelle des matières fertilisantes organiques. C'est pourquoi, dans la majorité des cas, la quantité du lombricompost qui remplace les matières fertilisantes organiques habituelles (fumiers) reste faible.

Jusque-là, le lombricompost pourrait s'introduire dans les pratiques de fertilisation des agriculteurs en compléments des matières fertilisantes habituelles.

## 5. Conclusion

Cette étude pionnière fournit une analyse détaillée des quantités réelles de MF appliquées en kilogrammes (kg), en carbone (C) ainsi qu'en nutriments, azote (N) et phosphore (P) sur les parcelles agricoles pluviales des agriculteurs d'Imerintsiatosika. Elle s'inscrit dans le cadre d'une recherche participative visant à co-construire des pratiques innovantes développées via la collaboration entre agriculteurs et chercheurs valorisant le lombricompostage et/ou l'inoculation de vers de terre.

L'étude a mis en évidence une vaste gamme de pratiques de fertilisation, qui sont largement influencées par la disponibilité des matières, la facilité d'obtention de ces matériaux et leur efficacité à produire des rendements satisfaisants. Pour les MFH, la variabilité par la pratique des mélanges est constatée, avec comme composante commune, l'utilisation de cendres. Après

## Remerciements

Ce travail s'inscrit dans le cadre du projet Innov'Earth (**I**nnovative agricultural nature-based solutions to reduce climate change, land degradation and food insecurity: the potential of **e**arthworms and vermicompost in small tropical farms). Ce travail a bénéficié d'une aide du LABEX-AGRO 2011-LABX-002, projet n°2101-003, intégré à l'I-Site Muse, coordonné par Agropolis Fondation.

Ce mode d'utilisation pourrait être la tendance permettant la valorisation du lombricompost étant donné que les agriculteurs mobilisent les critères de disponibilité et d'accessibilité en premier lieu dans le choix des matières. Il est toutefois important de noter que certains agriculteurs perçoivent les effets du lombricompost comme ceux des engrais synthétiques et qu'une application élevée pourrait nuire à la culture. Cette traduction souligne l'importance de la co-construction dans la diffusion des innovations (Audouin *et al.*, 2023 ; Razafimbelo *et al.*, 2022) : d'un côté, les connaissances scientifiques servent de balise dans l'adoption des pratiques afin que celles-ci apportent des plus-values aux utilisateurs finaux, de l'autre côté, les connaissances empiriques pourront être le moteur d'adoption des pratiques en évitant de mettre à l'écart le raisonnement des agriculteurs.

avoir reçu des formations pratiques sur les avantages des lombricomposts et des vers de terre, la majorité des agriculteurs ont opté pour le lombricompost comme matière fertilisante innovante en remplacement des fertilisants traditionnels dans le cadre d'assemblages. Les mélanges locaux des MFH proposés par les agriculteurs d'Imerintsiatosika ainsi que les MFI co-conçues avec d'autres parties prenantes contiennent tous des éléments nutritifs permettant d'approcher les quantités apportées avec des engrais de synthèse.

Les résultats mettent en évidence l'aspect qualitatif des assemblages de MF, qui permet outre de satisfaire les besoins de la plante en éléments majeurs, d'améliorer la santé du sol et des cultures par des apports notamment en carbone et de nombreux autres constituants non analysés dans cette étude.



## Bibliographie

- Audouin, S., Raharison, T., Rabesoa, J., Noharinjanahary, E.S., Ranaivoson, R., Triomphe, B., 2023. To what extent can local-led innovation platforms tackle complex agricultural development challenges? Insights from Madagascar. *The Journal of Agricultural Education and Extension* 29, 149–172. <https://doi.org/10.1080/1389224X.2021.1997769>
- Bekunda, M., Sanginga, N., Woomer, P.L., 2010, *Restoring Soil Fertility in Sub-Saharan Africa*, in: *Advances in Agronomy*, Elsevier, pp, 183–236, Lichtfouse, E, (Ed.), 2017, *Sustainable Agriculture Reviews*, Sustainable Agriculture Reviews, Springer International Publishing, Cham
- Ben, N., et Autfray, P., 2020a, Gestion comparée de la fertilité au niveau des exploitations agricoles familiales du Moyen-Ouest de la région Vakinankaratra et des Hautes-Terres de la région Itasy à Madagascar, SECURE, Agropolis Fondation, 20 p, <https://www.secure.mg/fiches-rapports-techniques>
- Ben, N., et Autfray, P., 2020b, Des matières fertilisantes adaptées à la riziculture pluviale et à la gestion de la fertilité des sols des Hautes Terres de Madagascar, SECURE, Agropolis Fondation, 36 p, <https://www.secure.mg/fiches-rapports-techniques>
- Blouin, M., Barrere, J., Meyer, N., Lartigue, S., Barot, S., Mathieu, J., 2019, Vermicompost significantly affects plant growth, A meta-analysis, *Agron, Sustain, Dev*, 39, 34, <https://doi.org/10.1007/s13593-019-0579-x>
- Gentile, R., Vanlauwe, B., van Kessel, C., Six, J., 2009. Managing N availability and losses by combining fertilizer-N with different quality residues in Kenya. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 131, 308–314. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2009.02.003>
- Lichtfouse, E. (Ed.), 2017. *Sustainable Agriculture Reviews*, Sustainable Agriculture Reviews. Springer International Publishing, Cham. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-58679-3>
- Mahanayak, B., Chakraborty, S., Panigrahi, A.K., 2017, Use of Earthworms for Sustainable Agriculture. *Indian Journal of Biology*, Volume 4 Number 2, July - December 2017, DOI: <http://dx.doi.org/10.21088/ijb.2394.1391.4217.14>
- Mahmad-Toher, A.-S., Govender, N., Dorairaj, D., Wong, M.-Y., 2022. Comparative evaluation on calcium silicate and rice husk ash amendment for silicon-based fertilization of Malaysian rice (*Oryza sativa* L.) varieties. *Journal of Plant Nutrition* 45, 1336–1347. <https://doi.org/10.1080/01904167.2021.2014878>
- Raharimalala, S., 2018, *Pratiques Agricoles et gestion de la fertilité des sols par les exploitations agricoles des hautes terres malgaches : cas des communes d’Imerintsiasosika et de Morarano, District d’Arivonimamo, Région Itasy. Mémoire de fin d’études pour l’obtention du diplôme d’ingénieur agronome au grade Master, Ecole Supérieure des Sciences Agronomiques, Université d’Antananarivo, Madagascar*
- **Raharimalala, S., Audouin, S.**, 2021. *Compte rendu synthétique des ateliers de restitution des résultats issus de l’évaluation paysanne croisée avec les indicateurs scientifiques*. s.l. : FOFIFA-CIRAD, 25 p.
- Raminoarison, M., Razafimbelo, T., Rakotoson, T., Becquer, T., Blanchart, E., Trap, J., 2020, *Multiple-nutrient limitation of upland rainfed rice in ferralsols: a greenhouse nutrient-omission trial*, *Journal of Plant Nutrition* 43, 270–284,
- Raminoarison, M., Blanchart, E., Razafimbelo, T., Thuriès, L., Trap, J., 2022. *Chemical and biochemical quality of organic and/ or mineral fertilization resources - A dataset from the Highlands of Madagascar*. *Data in Brief* 43, 108458. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2022.108458>



- Ratsiatosika, O., Blanchart, E., 2021. Earthworm inoculation. In: FAO and ITPS (Eds.) Recarbonizing global soils: A technical manual of best management practices, Volume 4, Cropland, Grassland, Integrated systems and farming approaches – Case-studies, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy
- Ravonjarison N., Penot E., Albrecht A, et Razafimbelo T., 2018. Savoirs locaux et stratégies paysannes autour de la fertilité des sols au lac Alaotra, Madagascar, *Etude et gestion des sols* 25, 29-41.
- Razafimahatratra H,M., Bélières J,F., Raharimalala S., Randriamihary Fetra Sarobidy E,J., Autfray P., Razanakoto O, & Raharison T., 2020, Utilisation des fumures organiques et des engrais dans les stratégies de gestion de la fertilité des sols et des exploitations agricoles du Moyen-Ouest de la région Vakinankaratra et de la zone Est de la région Itasy, Madagascar, *Journal de l'Agro-Ecologie*, 10, 19-33
- Razafimahatratra H,M., Bélières J-F., Razanakoto O,R., Raharimalala S, & Randriamihary F., 2019, Focus sur l'utilisation des fertilisants organiques par les exploitations agricoles familiales du Moyen-Ouest de la région Vakinankaratra et de la zone Est de la région d'Itasy, Madagascar, *Journal de l'Agro-Ecologie*, 9
- Razafimbelo, T., Albrecht, A., Becquer, T., Bernard, L., Chevallier, T., Erktan, A., Chapuis-Lardy, L., Trap, J., Andriamananjara, A., Rabenarivo, M., Rafolisy, T., Rakotoson, T., Ramifehiarivo, N., Razafindrakoto, M., Blanchart,E, (2022) Priorities for soil research and sustainable management in Madagascar, *Geoderma Regional*, Volume 29
- Razanakoto, O,R., Raharimalala, S., Sarobidy, E,J,R,F., Rakotondravelo, J,-C., Autfray, P., Razafimahatratra, H,M., 2021, Why smallholder farms' practices are already agroecological despite conventional agriculture applied on market-gardening, *Outlook Agric* 50, 80–89, <https://doi.org/10.1177/0030727020972120>
- Rehman, S., De Castro, F., Aprile, A., Benedetti, M., Fanizzi, F.P., 2023. Vermicompost: Enhancing Plant Growth and Combating Abiotic and Biotic Stress. *Agronomy* 2023, 13, 1134.
- Sanginga, N., Woomer, P, L, (Eds.), 2009, *Integrated Soil Fertility Management in Africa: Principles, Practices and Developmental Process*, Tropical Soil Biology and Fertility, Institute of the International Centre for Tropical Agriculture, Nairobi
- Singh, R., Srivastava, P., Singh, P., Sharma, A.K., Singh, H., Raghubanshi, A.S., 2019. Impact of rice-husk ash on the soil biophysical and agronomic parameters of wheat crop under a dry tropical ecosystem. *Ecological Indicators* 105, 505–515. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.04.043>
- Vanlauwe, B., Wendt, J., Diels, J., 2001. Combined Application of Organic Matter and Fertilizer, in: Tian, G., Ishida, F., Keatinge, D., Carsky, R., Wendt, J. (Eds.), *SSSA Special Publications*. Soil Science Society of America and American Society of Agronomy, Madison, WI, USA, pp. 247–279. <https://doi.org/10.2136/sssaspecpub58.ch12>
- Yattoo, A.M., Ali, Md.N., Baba, Z.A., Hassan, B., 2021. Sustainable management of diseases and pests in crops by vermicompost and vermicompost tea. A review. *Agron. Sustain. Dev.* 41, 7. <https://doi.org/10.1007/s13593-020-00657-w>