



AGRICULTURE TROPICALE &  
DÉVELOPPEMENT DURABLE

**Université d'Antananarivo**  
**École Supérieure des Sciences Agronomiques**  
**Mention Agriculture Tropicale et Développement Durable**  
**Parcours : Biofonctionnement des Sols et Environnements**

**Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur agronome au  
grade Master II**

**Thème : Étude de l'impact du lombricompost et de l'inoculation  
de vers de terre sur la composition du riz pluvial et estimation de  
son importance sur les apports nutritionnels - Cas de la Commune  
d'Imerintsiatosika**

Réalisé par : **ANDRIARISOLO Manitra Elina**

Promotion : **ANDRARANGY Mahasedra (2018-2023)**

Soutenu le 15 mai 2024 devant les membres de jury composé de :

**Président du jury :** Dr/HDR RAZAFIMAHATRATRA Hery Manantsoa

**Examineur :** Dr RANDRIAMAMPIONONA Denis

**Maître de stage:** Dr RAMINOARISON Manoa Arifetra

**Encadrant professionnel:** Dr BLANCHART Eric

**Encadreur pédagogique :** Dr/ HDR RAMANAKAJA Landiarimisa



**INNOV'EARTH**







**Université d'Antananarivo**  
**École Supérieure des Sciences Agronomiques**  
**Mention Agriculture Tropicale et développement durable**  
**Parcours : Biofonctionnement des Sols et Environnements**

**Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur agronome au grade Master II**

**Thème : Étude de l'impact du lombricompost et de l'inoculation des vers de terre sur la composition du riz pluvial et estimation de son importance sur les apports nutritionnels - Cas de la Commune d'Imerintsiatosika**

Réalisé par : **ANDRIARISOLO Manitra Elina**

Promotion : **ANDRARANGY Mahasedra (2018-2023)**

Soutenu le 15 mai 2024 devant les membres de jury composé de :

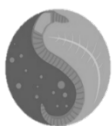
**Président du jury :** RAZAFIMAHATRATRA Hery Manantsoa

**Examineur :** Dr RANDRIAMAMPIONONA Denis

**Maître de stage:** Dr RAMINOARISON Manoa Arifetra

**Encadrant professionnel:** Dr BLANCHART Eric

**Encadreur pédagogique :** Dr/ HDR RAMANAKAJA Landiarimisa



**INNOV'EARTH**



## REMERCIEMENTS

J'adresse mes sincères remerciements à :

- ❖ Monsieur RAZAFIMAHATRATRA Hery, Dr/HDR en Sciences agronomiques, Enseignant-Chercheur et Chef de la Mention Agriculture Tropicale et Développement Durable (AT2D) à l'École Supérieure des Sciences Agronomiques (ESSA)-Université d'Antananarivo, de siéger parmi les membres du jury en tant que président,
- ❖ Monsieur RANDRIAMAMPIONONA Denis, Docteur et Enseignant-Chercheur en agriculture de siéger parmi les membres du jury en qualité d'examineur,
- ❖ Madame RAMINOARISON Manoa Arifetra, Dr en Science du sol, mon encadrante professionnelle au sein du Laboratoire des Radio-Isotopes (LRI) et du projet Innov'Earth,
- ❖ Monsieur BLANCHART Eric, Chercheur IRD (Institut de Recherche pour le Développement) en écologie du sol, mon encadrant professionnel, pour son encadrement et son aide durant la réalisation de mon stage au LRI et durant les phases de rédaction,
- ❖ Madame RAMANANKAJA Landiarimisa, Dr/HDR en agriculture, Enseignant-Chercheur à l'ESSA, mon encadreur pédagogique, d'allouer beaucoup de temps et de conseils lors de la réalisation de ce mémoire,
- ❖ Monsieur VERGER Eric et Madame VERNIERE Christèle, Chercheurs IRD en nutrition pour leurs précieux conseils ; corrections et encadrement durant tout le long de ce présent mémoire,
- ❖ Monsieur RAZAFIMAHAFALY Damase pour les analyses des compositions nutritionnelles du riz pluvial.

J'adresse également mes vifs remerciements :

- ❖ au projet Innov'Earth et l'IRD pour l'appui technique et financier,
- ❖ aux stagiaires du Laboratoire des Radio-Isotopes (LRI) pour les conseils et entraides,
- ❖ à tous les membres du projet Innov'Earth pour leur coopération durant les travaux de terrain,
- ❖ aux corps enseignants et personnels de l'ESSA, pour toutes les connaissances acquises durant ces cinq années d'étude,
- ❖ à tous les membres de ma famille et mes meilleurs ami(e)s pour leurs encouragements qui m'ont aidé à me battre pour la réalisation de ce mémoire ainsi que durant mes études, j'adresse ma chaleureuse gratitude à mon père, ma mère, Mihaja, Elia et Harifetra ainsi que mes Grands-parents.

# SOMMAIRE

REMERCIEMENTS	i
Liste des tableaux	iii
Liste des figures	v
Listes des Abréviations	vi
Glossaire	viii
RÉSUMÉ	x
ABSTRACT	xi
FINTINA	xii
INTRODUCTION	1
MATÉRIELS ET MÉTHODES	4
1. Description de la zone d'étude	4
2. Suivi de la qualité nutritionnelle du riz pluvial	5
3. Suivi des recettes et étude de l'alimentation des ménages	7
2. Traitement et analyse des données	11
RÉSULTATS	13
1. Impacts des types de fertilisant utilisés sur la composition nutritionnelle du riz pluvial	13
2. Impact du polissage sur la composition nutritionnelle du riz pluvial	15
3. Résultats des études sur la qualité nutritionnelle	18
DISCUSSION ET RECOMMANDATIONS	32
1. Impact du type d'engrais sur la composition nutritionnelle du riz pluvial	32
2. Impact du polissage sur la teneur en micronutriments du riz	36
3. Qualité de l'alimentation des habitants de la zone d'étude	39
4. Limites de l'étude et recommandations	40
CONCLUSION	42
BIBLIOGRAPHIE	i
WEBOGRAPHIE	xi
ANNEXE	xii

## Liste des tableaux

Tableau 1: Liste des fertilisants utilisés dans les pratiques paysannes.....	5
Tableau 2: Liste des fertilisants utilisés durant les expérimentations au LRI.....	6
Tableau 3: Listes des modalités des facteurs types de fertilisant.....	6
Tableau 4: Les différents degrés de polissage du riz obtenus au cours de 23 s de polissage (DP).....	7
Tableau 5: Les indices de qualité alimentaire du Diet Quality Questionary .....	8
Tableau 6: Liste des combinaisons de recette à base de riz pluvial.....	9
Tableau 7: La variation de la teneur en micronutriments du grain de riz selon le type de fertilisant .....	14
Tableau 8: Résultat du test de Wilcoxon sur la différence de micronutriments du paddy et du riz cargo. ....	15
Tableau 9: Tests de Kruskal-Wallis sur la perte en nutriment selon le degré de polissage... ..	17
Tableau 10: Liste des ingrédients crus avec pour dans 100g de plat cuit (C1).....	21
Tableau 11: Composition nutritionnelle de 100 g de riz sec+ Poisson version bouillon (C1) .....	22
Tableau 12: Liste et poids des ingrédients crus pour 100g de plat cuit (C2).....	22
Tableau 13: Composition nutritionnelle pour 100 g de riz sec+ Haricot version bouillon (C2) .....	23
Tableau 14: Liste et poids des ingrédients crus pour 100g de plat cuit (C3).....	23
Tableau 15: Composition nutritionnelle pour 100 g de riz + brèdes et "Pomme de terre frite (C3) .....	24
Tableau 16: Liste et poids des ingrédients crus pour 100g de plat cuit (C4).....	24
Tableau 17: Composition nutritionnelle pour 100 g de riz sosoa + haricot version sauce (C4) .....	25
Tableau 18: Liste et poids des ingrédients crus pour 100g de plat cuit (C5).....	25
Tableau 19: Composition nutritionnelle pour 100 g de riz sosoa + brèdes version sauce (C5) .....	26
Tableau 20: Liste et poids des ingrédients crus pour 100g de plat cuit (C6).....	26
Tableau 21: Composition nutritionnelle pour 100 g de riz sec+ brèdes version bouillon (C6) .....	27

Tableau 22: Liste et poids des ingrédients crus pour 100g de plat cuit (C7).....	27
Tableau 23: Composition nutritionnelle pour 100 g de riz aux pommes de terre+ viande version sauce (C7).....	28
Tableau 24: Liste et poids des ingrédients crus pour 100g de plat cuit (C8).....	28
Tableau 25: Composition nutritionnelle pour 100 g de riz aux haricots + Poisson version sauce (C8) .....	29

## Liste des figures

Figure 1: Carte de localisation de la zone d'étude : Commune d'Imeritsiatosika .....	4
Figure 2: Population d'étude sur l'enquête DQQ .....	7
Figure 3: Représentation de la cartographie SAIN-LIM .....	11
Figure 4: Variation des teneurs en micronutriments du riz selon le type de fertilisant utilisé	14
Figure 5: Différence de teneur en micronutriments du grain de riz après le polissage .....	15
Figure 6: Variation de teneur en micronutriments selon le degré de polissage du grain.....	16
Figure 7: Graphique symétrique des axes F1 et F2 de l'analyse ACM sur la relation entre degrés de polissage et le type de riz.....	18
Figure 8: Représentation du FGDS Score (Score de diversité alimentaire) .....	18
Figure 9: Représentation du Score ALL-5 (Consommation des 5 groupes d'aliments recommandés).....	19
Figure 10: Score NCD Risk et NCD Protect .....	19
Figure 11: Représentation GDR Score (Recommandation alimentaire globale).....	20
Figure 12: Représentation des Scores de qualité de l'alimentation par fokontany (ACM)....	20
Figure 13: Cartographie SAIN-LIM des huit combinaisons de recette à base de riz pluvial .	30
Figure 14: Cartographie SAIN-LIM des recettes individuelles de mets et de riz pluvial.....	31



## Listes des Abréviations

ACM	:	Analyse de Composantes Multiples
AET	:	Apport énergétique totale
ALL-5	:	Tous-5 (5 aliments recommandés pour la santé)
ANOVA	:	Analysis of Variance (Analyse des Variances)
ANSES	:	Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail
AT2D	:	Agriculture Tropicale et Développement Durable
BSE	:	Biofonctionnement des Sols et Environnements
Ca	:	Calcium
Cu	:	Cuivre
DQQ	:	Diet Quality Questionary
DP	:	Degré de polissage
ESSA	:	École Supérieure des Sciences Agronomiques
EuroFIR	:	European Food Information Resource.
FAO	:	Food and Agriculture Organization (organisation pour l'alimentation et l'agriculture)
Fe	:	Fer
FGDS	:	Food Group Diversity Score (Score de diversité de groupe alimentaire)
FRD	:	Facteurs de rendement (pour la composition nutritionnelle des recettes)
RDT	:	Facteurs de rétention (pour la composition nutritionnelle des recettes)
FTM	:	Foiben-Taosarintanin'i Madagasikara (Centre d'Imagerie de Madagascar)
GAIN	:	Global Alliance for Improved Nutrition
GDR	:	Global Dietary Recommendation (Recommandation alimentaire globale)
Innov'Earth	:	Projet 'Solutions agricoles innovantes, fondées sur la nature, pour réduire le changement climatique, la dégradation des terres et l'insécurité alimentaire : le potentiel des vers de terre et des

lombricomposts dans les petites exploitations tropicales' financé par la  
Fondation Agropolis

IRD	:	Institut de Recherche pour le Développement
JICA	:	Japanese International Cooperation Agency (Agence Japonaise de coopération Internationale)
K	:	Potassium
LC	:	Lombricompost
LRI	:	Laboratoire des Radio-Isotopes
Mg	:	Magnésium
MNT	:	Maladie Non Transmissible
MS	:	Matières sèches
N	:	Azote
NCD-Protect	:	Diet Related Non Communicable diseases (NCD)-Protect
NCD-Risk	:	Diet Related Non-Communicable diseases (NCD)-Risk
OMS	:	Organisation Mondiale de la Santé
P	:	Phosphore
PAM	:	Programme Alimentaire Mondiale
SECURE	:	Soil ECological fUction REstoration (restauration des fonctions écologiques du sol)
USDA	:	(United States Department of Agriculture) Département d'agriculture des États-Unis
VDT	:	Inoculation de Vers de Terre
Zn	:	Zinc

## Glossaire

**Micronutriments** : Il s'agit des vitamines et minéraux essentiels requis par l'organisme tout au long du cycle de vie, en infime quantité (UNICEF, 2011).

**Décorticage** : Procédé de transformation primaire qui consiste à enlever les balles du riz paddy, donnant le riz cargo (encore appelé riz complet).

**Polissage** : Procédé de transformation primaire du riz cargo qui consiste à enlever tout ou une partie des sons de riz pour obtenir respectivement du riz blanc ou du riz partiellement poli.

**Son** : Couche histologique externe (péricarpe et tégument) du grain de riz contenant des antioxydants, des vitamines B et des fibres.

**Degré de polissage** : Pourcentage de perte du grain de riz au cours du polissage.

**Endosperme** : Partie centrale du grain de riz ; fournissant de l'énergie sous forme d'amidon.

**Composition nutritionnelle** : Quantité de nutriments et composants formant un aliment donné à savoir l'eau, les lipides, les protéines, les glucides, les minéraux et les vitamines (Ali *et al.*, 2020)

**Qualité de l'alimentation** : Mesure dans laquelle l'alimentation répond aux besoins en nutriments, favorise la santé et protège contre les maladies. Un régime alimentaire de qualité se compose de quantité appropriée d'énergie, de nutriments bénéfiques (vitamines et minéraux, acides aminés essentiels et acides gras essentiels), de fibres et de faible quantité de composés potentiellement nocifs. (<https://www.gainhealth.org/resources/multimedia/glossary>).

**Diversité alimentaire** : Variété du nombre et du type d'aliments dans le régime alimentaire d'une personne au cours d'une période de référence. (ex : 24 heures) (<https://www.gainhealth.org/resources/multimedia/glossary>).

**Recommandation alimentaire** : Recommandations nutritionnelles établies pour répondre aux besoins de la grande majorité d'une population cible en bonne santé.

**Maladie non transmissible** : Maladies qui ne se transmettent pas d'une personne à l'autre ou par des insectes ou d'autres parasites. Les MNT liés à l'alimentation sont les maladies pour lesquelles la mauvaise qualité de l'alimentation est une cause importante (diabète, les maladies cardiaques et certains cancers) (<https://www.gainhealth.org/resources/multimedia/glossary>).

**Profil nutritionnel** : Résumé illustrant la qualité de la composition nutritionnelle d'un aliment et sa capacité à favoriser ou non l'équilibre alimentaire. (Bouthaina, 2018).

**Lombricompost** : Compost issu des déchets organiques transformés par les vers de terre (Manyuchi *et al.*, 2013)

**Inoculation des vers de terre :** Introduction des vers de terre dans le sol dans le but de l'enrichir

## RÉSUMÉ

Le riz est l'alimentation de base de la quasi-totalité des Malagasy et constitue un pilier de la sécurité alimentaire à Madagascar. De ce fait, toute amélioration de la composition nutritionnelle du riz représente un atout dans l'amélioration de la nutrition. Malheureusement, la production du riz est encore faible face à la demande croissante de la population. En effet, des recherches se sont intensifiées concernant l'amélioration de la production rizicole et sa qualité nutritionnelle. Proposées par le Projet Innov'Earth, des fertilisations innovantes comme le lombricompost (L) et/ou l'inoculation des vers de terre (VDT) sont testées sur le riz pluvial pour évaluer leurs impacts sur la qualité nutritionnelle du riz et des plats préparés avec ce riz, en particulier dans une zone où le riz constitue l'aliment de base de la population. Du riz de la variété *Chomrong Dhan* pluvial, provenant de la Commune d'Imerintsiosika et du LRI, a été collecté pour l'étude. En tout, 12 types de riz ont été étudiés : soit produit à partir des fertilisants traditionnels incluant le fumier, des cendres de balle ou du lisier de porc, soit du lombricompost, ou de l'inoculation de vers terre. Après récolte, ces échantillons de riz ont été décortiqués et partiellement polis, de manière analogue aux pratiques paysannes. Leur composition nutritionnelle a ensuite été déterminée au laboratoire. Puis, la composition nutritionnelle des plats de riz a été déterminée selon huit recettes à base de riz communément consommées dans la zone d'étude. Une enquête alimentaire a été également effectuée pour estimer la qualité globale de l'alimentation des ménages dans la zone étudiée, notamment à travers l'indice de diversité alimentaire. Les résultats d'analyse ont montré des teneurs en micronutriments élevées dans le riz produit à partir de lombricompost utilisé sur le long terme, malgré un degré de polissage élevé. En effet, le lombricompost favorise la libération des éléments nutritifs dans le sol, ce qui pourrait ainsi améliorer la qualité nutritionnelle des grains de riz. À propos des recettes à base de riz pluvial, la diète des ménages dans la zone étudiée présente un bon indice de diversification. Toutefois, la part relativement prépondérante du riz dans les apports alimentaires conduit à de faibles apports protéiques et lipidiques. Ce constat évoque l'importance de l'équilibre nutritionnel dans l'alimentation à base de riz. En outre, des études complémentaires pourraient permettre de mieux évaluer l'impact des fertilisations innovantes sur la composition nutritionnelle du riz pluvial.

**Mots clés** : Polissage, composition nutritionnelle, qualité nutritionnelle, micronutriments, sécurité alimentaire

## ABSTRACT

Rice is the staple diet of almost all Malagasy people, and is a cornerstone of food security in Madagascar. As a result, any improvement in the nutritional composition of rice represents an asset in improving nutrition. Unfortunately, rice production is still low in the face of growing population demand. Research into improving rice production and its nutritional quality has intensified. Proposed by the Innov'Earth project, innovative fertilizers such as vermicompost (L) and/or earthworm inoculation (VDT) are being tested on rainfed rice to assess their impact on the nutritional quality of rice and dishes prepared with it, particularly in an area where rice is the staple food of the population. Rice of the Chomrong Dhan rainfed variety, from the Commune d'Imerintsiatosika and the LRI, was collected for the study. In all, 12 types of rice were studied: either produced from traditional fertilizers including manure, chaff ash or pig slurry, or from vermicompost or earthworm inoculation. After harvesting, these rice samples were dehulled and partially polished, in a manner similar to farmers' practices. Their nutritional composition was then determined in the laboratory. The nutritional composition of rice dishes was then determined according to eight rice-based recipes commonly consumed in the study area. A food survey was also carried out to estimate the overall quality of household diets in the study area, in particular through the food diversity index. The analytical results showed high micronutrient levels in rice produced from vermicompost used over the long term, despite a high degree of polishing. In fact, vermicompost promotes the release of nutrients into the soil, which could improve the nutritional quality of rice grains. As far as rainfed rice-based recipes are concerned, household diets in the study area show a good degree of diversification. However, the relatively high proportion of rice in the diet leads to low protein and fat intakes. This suggests the importance of nutritional balance in rice-based diets. In addition, further studies could provide a better assessment of the impact of the innovative fertilization on the nutritional composition of rainfed rice.

**Key words** : Polishing, nutritional composition, micronutrients, nutrients, minerals.

## FINTINA

Ny vary no fototsakafon'ny ankamaroan'ny Malagasy ary iankinan'ny fanjariantsakafo eto Madagasikara. Araka izany, ny fanatsarana ny otrik'aina entin'ny vary dia manan-danja eo amin'ny sakafo. Mbola tsy ampy anefa ny habetsaky raha mitaha amin'ny filàna. Noho izany, nisy ny fikarohana natao mba hanatsara ny voka-bary sy ny kalitaony ara-tsakafo. Tolo-kevitra avy amin'ny tetik'asa Innov'earth, ny zezika nohatsaraina toy ny lombricompost (L) sy ny fampidirana kankana (V), ka nanaovana andrana mba hanombanana ny fiantraikan'ny zezika amin'ny otrik'aina anatin'ny vary sy ireo sakafo misy vary ; indrindra any amin'ny toerana izay ny vary ho fototsakafo. Ny karazam-bary *Chomrong Dhan* avy ao amin'ny kaominina Imeritsiatosika sy ny LRI no nanganina hanaovana ny fitiliana. Vary karazany 12 izay novokarina avy amin'ny zezika mahazatra, toy ny tain'omby, ny lavenon'akofam-bary sy ny tai-kisoa, na lombricompost, sy ny fampidirana kankana. Tao aorian'ny finjnjana dia nototoina sy nofotsiana amin'ny ampahany ireo santionan'akotry, araka ny fanaon'ireo tantsaha ao amin'ny tetik'asa. Notiliana tany amin'ny laboratoara ny otrik'aina anatin'ireo vary voafotsy. Nokajiana ihany koa ny otrik'aina avy amin'ireo sakafo misy vary rehetra araky ny fomba fikarakarana miisa valo izay tena fanao ao Imeritsiatosika. Nanantanteraka fanadihadihana ara-tsakafo ihany koa mba hanombanana ny kalitao ankapobeny ny sakafon'ireo tokantrano. Ny voka-pikarohana dia nampiseho taha ambony ny otrik'aina anatin'ny vary novokarina tamin'ny alalan'ny lombricompost amin'ny fotoana maharitra na dia ambony aza ny taha-pahafotsiany. Ny lombricompost dia afaka mampitombo ny tsiron-tany. Raha ny mikasika ireo Sakafo misy vary an-tanety kosa, ny sakafon'ireo tantsaha dia ahitana karazan-tsakafo maro. Manana taha ambony ao amin'ny sakafon'izy ireo anefa ny vary ka mahatonga tahan'ny lipida sy proteinina ho ambany. Izany dia mampiseho ny maha zava-dehibe ny fifandanjana ara-tsakafo eo amin'ireo sakafo mifototra amin'ny vary. Araka izany, mbola misy fikarohana fanampiny afaka hanombanana ny vokatr'ireo zezika nohatsaraina eo amin'ny otrik'aina anatin'ny vary

**Teny fototra** : Famotsiana vary, otrik'aina anatin'ny vary, otrik'aina, kalitaon'ny sakafo, fanjarian-tsakafo.

# INTRODUCTION

L'accroissement démographique est devenu le principal enjeu auquel la production agricole et alimentaire fait face actuellement. Selon les estimations, la population mondiale atteindra les 9 milliards d'habitants d'ici 2050 (Wezel *et al.*, 2014). Cette perspective est relative à l'accroissement du besoin alimentaire mondial (Azoulay, 1998). Face à ces situations, la sécurité alimentaire<sup>1</sup> mondiale est menacée. Plusieurs pays souffrent de la déficience en micronutriments qui affecte surtout les enfants (WHO, 2023). En réponse à cette situation alarmante, de nombreuses recherches se sont intensifiées au cours des dernières décennies dans le but d'améliorer la sécurité alimentaire, voire d'atteindre l'Objectif de Développement Durable n°2 des Nations Unies, à savoir la « faim zéro ». Parmi ces investigations, certaines sont axées sur la nutrition et à la qualité de l'alimentation des populations.

À l'instar de l'insécurité alimentaire mondiale, Madagascar n'en est épargnée. Elle fait partie des pays où la malnutrition sévit encore (Rabefarihy *et al.*, 2021). Les enfants des Hautes Terres sont les plus touchés par le retard de croissance à plus de 60% (UNICEF, 2018). L'alimentation des Malagasy repose sur le riz et ce dernier contribue à 70 % de leurs apports caloriques (PAM, 2019 ; Rabefarihy *et al.*, 2021). Pour satisfaire la demande annuelle de 4,918 millions en 2021 (JICA, 2020 ; Garruchet *et al.*, 2023), le riz pluvial sur « *tanety*<sup>2</sup> » est en plein développement sur les Hautes Terres (Naudin *et al.*, 2018). Cependant, Les sols de *tanety* sont caractérisés comme étant des sols ferrallitiques pauvres en éléments nutritifs (Raminoarison *et al.*, 2019). Ils nécessitent des enrichissements en termes de nutriments (Ozyazici & Turan, 2021). Pour y remédier, les fertilisants organiques à savoir les lombricomposts et l'inoculation de vers de terre sont intéressants, surtout pour le riz pluvial (Ratsiatosika *et al.*, 2021). Leurs intérêts en tant que fertilisants ont déjà été vérifiés, notamment leurs impacts sur la croissance du riz en accroissant la réserve des nutriments (van Groenigen *et al.*, 2014 ; Blouin *et al.* 2019 ; Rondeau, 2019 ; Ratsiatosika *et al.*, 2021). Ils augmentent la quantité des éléments disponibles dans le sol tels que l'azote, le phosphore, le magnésium, le zinc, etc. (Herinasandratra, 2019 ; Ratsiatosika *et al.*, 2021). D'un point de vue nutritionnel, le lombricompost pourrait potentiellement avoir des impacts sur la composition nutritionnelle du riz pluvial et ainsi améliorer l'alimentation des consommateurs.

---

<sup>1</sup> Selon la définition qui en a été donnée lors du [Sommet mondial de l'alimentation de 1996](#), « la sécurité alimentaire existe lorsque tous les êtres humains ont, à tout moment, un accès physique et économique à une nourriture suffisante, saine et nutritive leur permettant de satisfaire leurs besoins énergétiques et leurs préférences alimentaires pour mener une vie saine et active ».

<sup>2</sup> Tanety : Appellation malgache des terres se trouvant en en zones de pentes et utilisée dans des productions de cultures vivrières ou couvert d'un lit de graminées fourragères ((Blanc-Pamard, 1986)  
Zones de culture qui se situe souvent sur les versants



L'étude nutritionnelle du riz pluvial tient compte de sa composition nutritionnelle (Greenfield & Southgate, 2007). Or, celle-ci dépend des opérations telles que le polissage et les opérations culinaires (rinçage, cuisson, etc.) (Bognar, 2002 ; Lambert *et al.*, 2007 ; Hansen *et al.*, 2012). Le polissage du riz entraîne une perte de certains nutriments, notamment des fibres, des minéraux et des vitamines (Lambert *et al.*, 2007). La cuisson a également un impact sur la rétention de certains nutriments, notamment les composés thermosensibles tels que les vitamines (Hansen *et al.*, 2012). En outre, le riz est évalué à l'échelle d'un repas et des habitudes alimentaires. Les plats de riz sont généralement constitués de différentes matières premières avec les mets d'accompagnement qui complexifient la composition nutritionnelle du plat. En effet, l'apport nutritionnel du riz dépend de sa proportion par rapport aux autres ingrédients (Bognar, 2002).

Malgré les recherches déjà effectuées, il est constaté que les études concernant les impacts spécifiques des différentes fertilisations innovantes sur le riz pluvial, notamment sur sa composition nutritionnelle, manquent encore à Madagascar. Or, la compréhension de ces impacts pourrait constituer de prérequis pour l'amélioration de la sécurité alimentaire et de la nutrition, en particulier dans les zones où le riz constitue l'aliment de base de la population. Cela mène à poser la problématique suivante : **le lombricompost et l'inoculation des vers de terre améliorent-ils la composition nutritionnelle du riz pluvial et qu'en est-il de la qualité nutritionnelle des plats à base de riz pluvial issu de ces fertilisations ?**

Une étude a été réalisée dans le cadre du projet Innov'earth en collaboration avec l'IRD, le LRI ainsi que l'ESSA, dans le but d'étudier le riz pluvial produit à partir des lombricomposts et/ou de l'inoculation de vers de terre. L'objectif principal de cette étude est d'étudier les impacts de ces deux types de fertilisation sur la composition nutritionnelle du riz pluvial.

Les objectifs spécifiques sont :

- 1) évaluer la composition minérale du riz pluvial cultivé à l'aide du lombricompost et de l'inoculation de vers de terre,
- 2) mesurer l'impact du polissage et des préparations culinaires du riz afin d'en estimer les conséquences sur les apports nutritionnels des consommateurs dans les Hautes Terres de Madagascar,
- 3) évaluer la qualité générale de l'alimentation des bénéficiaires du projet.

Ainsi, 3 hypothèses ont été formulées :

**H1 : l'utilisation des lombricomposts et de l'inoculation de vers de terre sur le riz pluvial augmente la teneur en minéraux et en vitamines du riz pluvial,**

**H2 : le polissage du riz produit à partir des fertilisations innovantes a un impact plus faible sur sa composition nutritionnelle,**

### **H3 : l'amélioration nutritionnelle du riz pourrait influencer la qualité nutritionnelle des plats à base de riz.**

Sur le plan méthodologique, ce travail a été réalisé dans le cadre de trois opérations menées en parallèle :

- suivi de la composition nutritionnelle du riz selon le mode de fertilisation (traditionnel ou à base de lombricompost), suite à des expérimentations réalisées dans des parcelles paysannes ou dans une parcelle scientifique expérimentale,
- étude de l'effet du polissage sur les pertes en nutriments des grains de riz,
- suivi de recettes alimentaires à base de riz pluvial et de l'alimentation des ménages, par des enquêtes.

Ce présent mémoire suivra le plan IMRED : d'abord, l'introduction, ensuite les matériels et méthodes adoptées, les résultats et enfin la discussion et les recommandations.

# MATÉRIELS ET MÉTHODES

## 1. Description de la zone d'étude

La zone d'étude a été déterminée par le projet Innov'Earth suite aux activités du projet SECURE<sup>3</sup> et selon des travaux précédents menés par l'IRD et le LRI. La zone est localisée dans la région d'Itasy, dans le District d'Arivonimamo, Commune Imerintsiosika. Cette zone a été choisie par rapport à la prédominance en versant de sols de *tanety* qui caractérisent les « Hautes Terres » de Madagascar. Il s'agit également d'une zone caractérisée par l'abondance des cultures de riz pluvial. Dans la commune d'Imerintsiosika, six (6) fokontany ont été retenus : Merimandroso, Tsenamansoandro, Morarano Nord, Atsetsindranovato, Amboara, Antamboho I.

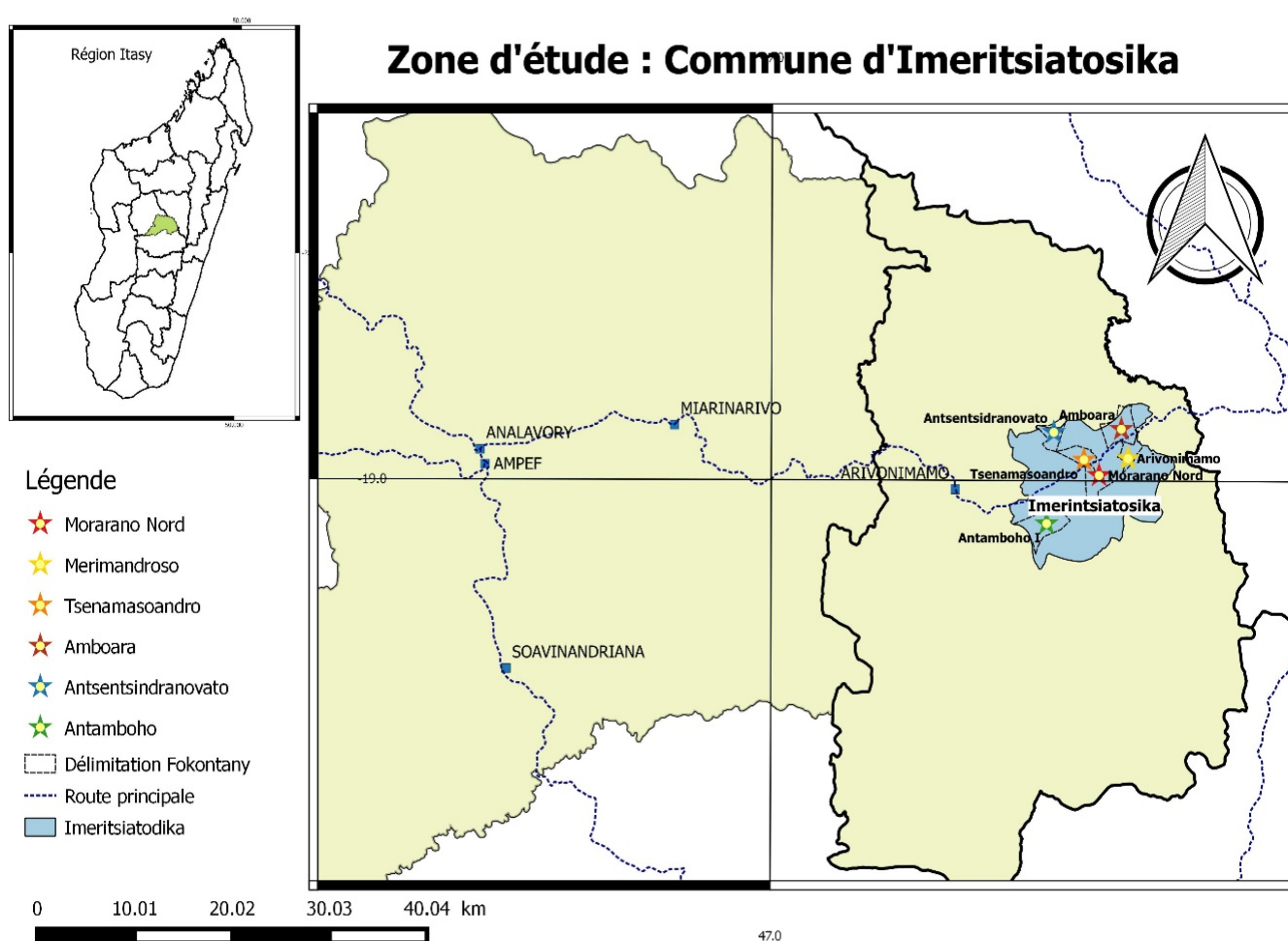


Figure 1: Carte de localisation de la zone d'étude : Commune d'Imerintsiosika

Source : BD200, FTM

Projet SECURE : projet 'Soil ECological function Restoration (SFR) to enhance agrosystem services in rainfed rice cropping systems in agroecological transition' finance par la Fondation Agropolis (2017-2021).

## 2. Suivi de la qualité nutritionnelle du riz pluvial

### 2.1. Collecte des différents riz pluviaux selon les types de fertilisant utilisé

#### 2.1.1. Riz issus des pratiques paysannes

Du riz a été collecté sur des expériences paysannes pour faire l'objet d'un suivi de polissage et d'une analyse de composition nutritionnelle. Ces riz ont été produits à partir de onze fermes locaux en utilisant d'une part les fertilisants traditionnels et d'autre part des fertilisants traditionnels combinés avec du lombricompost ou l'inoculation de vers de terre (*cf. Tableau 1*).

*Tableau 1: Liste des fertilisants utilisés dans les pratiques paysannes.*

Identification	Fertilisants innovants	Fertilisants traditionnels
IME 001	cendre lombricompost	cendre balle fumier bovin
IME 002	cendre balle lombricompost	cendre balle corne
IME 003	cendre balle lombricompost lisier porc	cendre balle lisier porc
IME 004	lombricompost	cendre cuisine
IME 005	cendre balle Lombricompost	cendre balle
IME 006	cendre balle fumier bovin Lisier porc lombricompost	cendre balle fumier bovin lisier porc
IME 007	cendre balle Fumier bovin lombricompost	cendre balle fumier bovin
IME 008	cendre balle lombricompost	cendre balle fumier bovin
IME 009	cendre balle Lisier porc Lombricompost	cendre balle lisier porc
IME 010	cendre balle Fumier bovin Lombricompost	cendre balle fumier bovin
IME 011	fumier bovin lombricompost	cendre cuisine fumier bovin

#### 2.1.2. Riz issus des expérimentations scientifiques

Du riz produit à partir de lombricompost, de l'inoculation de vers de terre et de fumier ont été collectés issus des expérimentations du LRI. Ces riz représentent des témoins sur l'efficacité des matières fertilisantes innovantes sur la composition nutritionnelle du riz. Les types de riz selon le fertilisant utilisés sont illustrés dans le tableau suivant (*cf. Tableau 2*).

Tableau 2: Liste des fertilisants utilisés durant les expérimentations au LRI

Étiquette	Fertilisants utilisés
SFR-4	Fumier traditionnel (7 ans)
SFR-7	Lombricompost (7 ans)
SFR-31-33- 35-37	lombricompost+VDT
SFR-32-34- 36-38	lombricompost

La variété de riz collecté est le *Chhomrong Dhan* pluviale, qui est la variété de riz pluvial la plus utilisée dans la zone d'étude. Le facteur étudié est le type de fertilisants. Après la collecte, 12 types de riz a été identifié selon les types de fertilisant utilisés lors de leurs productions :

Tableau 3: Listes des modalités des facteurs types de fertilisant

Type de fertilisants	Identification
Cendre de balle de riz+ Lombricompost	L1
Lombricompost (2ans)	L2
Cendre de balle de riz+ Lombricompost+ Lisier de porc	L3
Fumier bovin + Lombricompost	L4
Lombricompost + lisier de porc	L5
Lombricompost + Fumier+ cendre	L6
Lombricompost (7ans)	L7
Cendre de balle de riz + fumier bovin	T1
Cendre de balle de riz + Lisier de porc	T2
Fumier traditionnel (MO) (7 ans)	T3
Lombricompost + VDT + lisier de porc	V1
Lombricompost + VDT (2ans)	V2

## 2.2. Suivi de polissage de riz pluvial

Les échantillons de riz collectés ont été décortiqués selon le degré de polissage moyen à Imeritsiatosika, permettant d'obtenir la couleur du riz final des paysans, notamment de couleur rouge à rose. Afin de définir le degré de polissage moyen des agriculteurs dans la zone d'étude, des suivis ont été réalisés sur des décortiqueurs à riz localisés dans chaque fokontany. Le degré de polissage des agriculteurs est reproduit au laboratoire avec un polisseur à petite échelle pour obtenir le temps de polissage moyen à appliquer sur tous les riz avant l'analyse de la composition nutritionnelle sachant que le temps influence ce degré de polissage (Lambert *et al.*, 2008). Le temps d'obtention du degré de polissage moyen a été mesuré à 23 secondes. Le degré de polissage s'obtient par la formule suivant :

$$\text{Degré de polissage (DP)} = 100 - \left[ \frac{\text{Poids du riz décortiqué}}{\text{Poids de riz cargo}} \times 100 \right]$$

Le facteur étudié est le degré de polissage. Selon les riz issus des chaque type de fertilisant, les DP obtenus après 23 s de polissage sont différents. Les modalités sont illustrées dans le tableau ci-après. Le degré de polissage faible indique une faible perte de matière issue du grain de riz.

Tableau 4: Les différents degrés de polissage du riz obtenus au cours de 23 s de polissage (DP)

Degré de polissage: riz cargo vers le riz décortiqué	Identification
0-10%	B0
10-20%	B1
20-30%	B2
30+	B3
Cargo	C

### 2.3. Analyse au laboratoire de la composition nutritionnelle du riz pluvial

Les grains de riz pluvial collectés au niveau des paysans et du LRI ont été analysés dans le Laboratoire IRD Qualisud- Montpellier- France (cf. *Annexe 20*). Chaque échantillon de riz a été décortiqué et poli puis analysé. Les compositions en différents nutriments ont été mesurées sur le riz cargo et sur le riz poli pour voir la perte d'éléments à partir du stade de riz cargo, suite au décortiquage. Les nutriments mesurés sont notamment : le phosphore (P), le potassium (K), le magnésium (Mg), le Manganèse (Mn), l'Aluminium (Al), le calcium (Ca), le cuivre (Cu), le fer (Fe), le zinc (Zn), la protéine et la vitamine B1.

## 3. Suivi des recettes et étude de l'alimentation des ménages

### 3.1. Enquête qualitative sur l'alimentation dans la zone d'étude

#### 3.1.1. Population d'étude

Une enquête alimentaire qualitative a été effectuée pour obtenir des indices généraux sur la qualité de l'alimentation selon les tranches d'âge et le sexe. Elle a été effectuée sur les 42 bénéficiaires du projet. Les enquêtes sont composées de 48 % de femme et 52 % d'homme. Leur moyenne d'âge est de 53 ans (min : 30 ans, max : 70 ans).

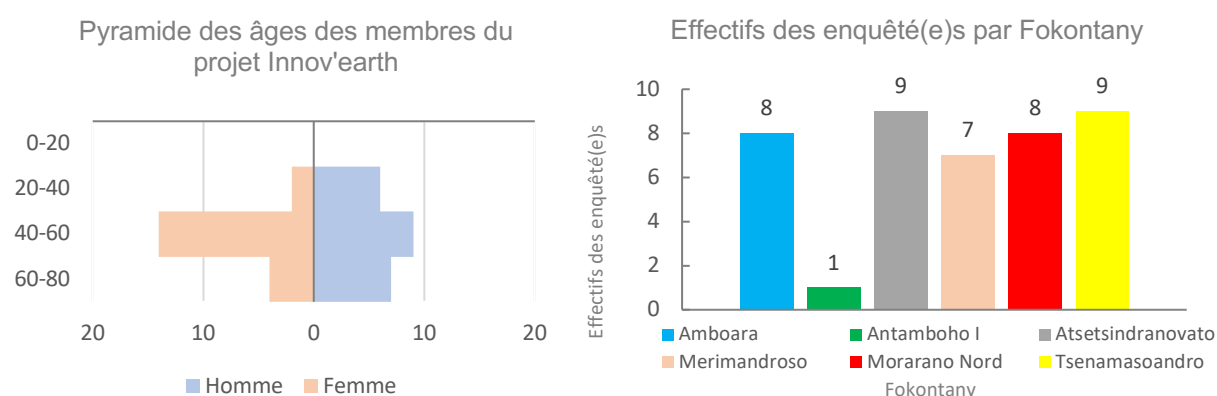


Figure 2: Population d'étude sur l'enquête DQQ

#### 3.1.2. Questionnaire utilisé : Diet Quality Questionary (DQQ)

Le **DQQ** est un questionnaire développé par des chercheurs en nutrition issus de l'université Harvard et l'entité GAIN (Global Alliance for Improved Nutrition) ([Dietquality.org](http://Dietquality.org)). Il s'agit d'une enquête rapide et fiable pour réunir des données sur la qualité de la nutrition comparable entre zones ou entre pays (Herforth *et al.*, 2019). Les questions ont été formulées pour être

facilement comprises par les personnes enquêtées. Le questionnaire consiste à poser des questions ouvertes en visant à énumérer tous les aliments que l'enquête a pu consommer la veille (Herforth *et al.*, 2019). Le DQQ permet d'obtenir des scores selon les pratiques alimentaires des paysans et selon les aliments disponibles et fréquents. Des questionnaires spécifiques à de nombreux pays ont donc été développés, et utilisés à travers des recherches en nutrition à travers les nombreux pays. Cela a permis de vérifier et tester son efficacité en tant que méthode (Wang *et al.*, 2023 ; Uyar *et al.*, 2023). Le DQQ de Madagascar n'inclut que des aliments communs et typiques de Madagascar (*cf. Annexe 6*), et l'aliment en question n'est pas considéré comme consommé si la quantité consommée est inférieure à 15 g par jour. Les aliments dans le DQQ sont classés en 29 groupes d'aliments (*cf. annexe 7*). ([www.dietquality.org/indicators](http://www.dietquality.org/indicators)) (*cf. Figure 5*). Les scores suivants sont obtenus à partir de l'enquête, ils ont été déterminés par l'UNICEF:

- **FGDS** : Score de diversité minimale de groupe d'aliment
- **ALL-5** : (5 groupes d'aliments recommandés).
- **GDR** : Recommandation alimentaire globale

Tableau 5: Les indices de qualité alimentaire du Diet Quality Questionary

FGDS	ALL-5	GDR
Indice de consommation d'aliment diversifié ( <i>cf. Annexe 8</i> )	Indice de consommation des 5 groupes d'aliments : légume, fruit, légumineuse, noix ou graine, aliment d'origine animale et féculent.	<b>GDR = NCD protect – NCD Risk + 9</b> Il s'agit d'indice de respect des recommandations alimentaires selon les facteurs alimentaires de risque ou de protection vis-à-vis des MNT (Maladie non transmissible).
Note sur 10, un score $\geq 5$ indique une probabilité d'apport adéquate en micronutriment.	Notée sur 1, une note 1 indique la consommation des 5 groupes d'aliments. ( <i>cf. Annexe 9</i> )	Le score varie de 0 à 18. Plus le GDR est élevé, plus les recommandations sont susceptibles d'être respectées.

Le Score GDR est composé des sous-groupes suivants :

**NCD Protect** : Indicateur des facteurs alimentaires protecteurs contre les MNT. Le NCD-Protect est noté de 0 à 9 et caractérise la consommation des aliments favorables à la santé dans le régime alimentaire. (*cf. Annexe 10*)

**NCD-Risk (MNT)** : indicateur de la consommation des aliments ultra-transformés, facteurs alimentaires de risque pour les MNT. Le score varie de 0 à 9 selon la consommation d'aliment à limiter ou à éviter les aliments à éviter ou limiter. (*cf. Annexe 11*)

L'enquête sur le DQQ a été réalisée sur KoboCollect et KoboToolBox pour pouvoir faciliter les saisies des données.

### 1.1. Suivi des recettes à base de riz pluvial

Le riz issu du lombricompost et de l'inoculation de vers de terre a fait l'objet d'un suivi de recettes à base de riz pluvial pour suivre des pratiques culinaires courantes autour du riz et de son accompagnement. Le riz avec l'accompagnement forme une combinaison de recettes. 8 combinaisons ont été définies suite à une enquête préliminaire dans la zone.

Les suivis ont été effectués dans 24 familles provenant du projet. Les 8 combinaisons sont répétées 3 fois dans des familles différentes. En total, 24 suivis ont été effectués. Selon les répétitions, une recette moyenne a été réalisée sur les plats ayant les mêmes noms et les mêmes ingrédients crus et selon la quantité de chaque ingrédient *Cf. Annexe 12.*

*Tableau 6: Liste des combinaisons de recette à base de riz pluvial*

<b>Combinaison</b>	<b>Recette</b>	<b>Répétition</b>
C1	Riz sec+ poisson-version bouillon	3
C2	Riz sec+ haricot version bouillon	3
C3	Riz aux brèdes + pomme de terre frite	3
C4	Riz soso+ haricot version sauce	3
C5	Riz soso+ brèdes version sauce	3
C6	Riz sec+ brède version Bouillon	3
C7	Riz aux pommes de terre + viande version sauce	3
C8	Riz aux haricots + poisson version sauce	3
Total		24

#### 1.1.1. Données collectées

Les données suivantes ont été prélevées au cours des suivis. Ils permettent d'obtenir mes données précises pour le calcul de la composition nutritionnelle des recettes selon celle de chacun des ingrédients (Bognar, 2002 ; Namouchi, 2017 ; Bouthaina, 2018) :

- Le poids des ingrédients avant et après préparation.
- La durée de cuisson.
- Les opérations technologiques appliquées sur les ingrédients (lavage, Cuisson...)

#### 1.1.2. Élaboration de fiche analytique par combinaison de recette

Pour présenter les résultats, des fiches analytiques résument les informations sur les recettes avec leurs compositions nutritionnelles pour 100 g de plat. La fiche analytique se compose des éléments suivants :

- les quantités d'ingrédients crus utilisées pour 100g de plat cru.
- Les teneurs en nutriments pour 100 g de plat cuit.
- La valeur énergétique de la recette moyenne en kcal.



### 1.1.3. Méthodes de calcul de la composition nutritionnelle des plats

Selon la méthode mixte de l'EUROFIR [European Food Information Resource network] (2005), le calcul de la composition nutritionnelle des recettes tient compte des points suivants :

- Les Facteurs de Rendement (FRD) correspondent aux pourcentages de variation de poids entre l'ensemble des ingrédients crus et le plat final cuit.
- Les Facteurs de rétention (FRT) correspondent aux pourcentages de variation des teneurs en nutriments entre chaque ingrédient cru et après cuisson.

Ces deux facteurs servent à déterminer les pertes de certains micronutriments selon les modes de cuisson (à ébullition, à vapeur...), et la durée de cuisson (Bognar, 2002). La méthode mixte est la méthode la plus précise pour cette étude sachant qu'elle fournit les informations complètes sur la recette entière jusqu'au plat final cuit de manière exacte (Petot, 1993 ; Powers *et al.*, 1989 ; Hoover, 1994). Une méthode similaire a déjà été conçue par l'USDA en 1997 (USDA, 1997) et il s'agit de la méthode recommandée par l'EUROFIR et la FAO dans le cas de suivi de recette (EUROFIR, 2005 ; FAO, 2011 ; Bouthaina, 2018).

Le calcul de la composition nutritionnelle est calculé pour 100 g de plat (Bognar, 2002). Les étapes du calcul sont :

- 
- Total des poids des ingrédients crus avant et après préparation (pour éliminer les parties non comestibles ex : épiluchage) ; les ingrédients prêts à l'emploi conservent le même poids.
- 
- Poids total du plat cuit.
- 
- Détermination de la teneur en nutriments pour 100 g de chaque ingrédient cru à partir de la table de composition Ciqua<sup>4</sup> ou de l'USDA<sup>5</sup>, la composition nutritionnelle analysée au laboratoire pour le riz utilisé (*cf. Annexe 13*).
- 
- Détermination du FRT de chaque ingrédient selon le mode de cuisson (Bognar, 2002 ; EUROFIR, 2015)
- 
- Addition des teneurs en chaque nutriment pour tous les ingrédients afin d'obtenir la composition nutritionnelle de 100 g du plat cuit.
- 
- Détermination de la valeur énergétique pour 100 g du plat (*cf. Annexe 14*).
- 

Les nutriments étudiés dans chaque ingrédient sont : Protéines (g), Glucides totaux (g), Fibres alimentaires (g), Sucres totaux (g), Lipides totaux (g), Acides gras saturés (g), Acides gras mono-insaturés (g), Acides gras polyinsaturés (g), Vitamine A en équivalent rétinol (µg), Béta carotène (µg), Rétinol (µg), Vitamine B1 (mg), Vitamine B2 (mg), Vitamine B3 (mg), Vitamine B5 (mg), Vitamine B9 (µg), Vitamine B12 (µg), Vitamine C (mg), Calcium (mg), Fer (mg), Magnésium (mg), Potassium (mg), Sodium (mg) et Zinc (mg), , Sucres ajoutés (g).

<sup>4</sup> Ciqua : Site européen de composition nutritionnelle des aliments

<sup>5</sup> USDA : Site américain de composition nutritionnelle des aliments

#### 1.1.4. Méthode de profilage alimentaire des recettes avec le système SAIN-LIM

Le système de profilage SAIN-LIM permet de classer les aliments selon leur qualité nutritionnelle, c'est à dire, selon leurs potentiels à provoquer ou prévenir des maladies (OMS, 2015 ; Darmon *et al.*, 2015). La méthode SAIN-LIM s'applique à tous les aliments et permet de les comparer entre eux. Elle est conforme à la recommandation de santé de l'OMS sur les aliments (Muller & Ruffieux, 2012 ; Darmon *et al.*, 2020 ; Tharrey *et al.*, 2022).

##### ❖ Cartographie SAIN-LIM du profil alimentaire des recettes

Les aliments sont répartis en 4 classes en fonction d'un seuil appliqué au score SAIN et LIM (seuil 5 % pour le SAIN et 7.5% pour le LIM correspondant à une adéquation moyenne de 100 % pour un apport calorique journalier de référence) (Darmon *et al.*, 2009). La combinaison de ces deux seuils permet d'établir un graphique positionnant les aliments selon quatre catégories :

- 1 : aliment dont la consommation est recommandée pour la santé.
- 2 : aliment à consommer en petite quantité ou occasionnellement
- 3 : aliment dont la consommation est considérée comme neutre pour la santé
- 4 : aliment dont la consommation est à limiter.

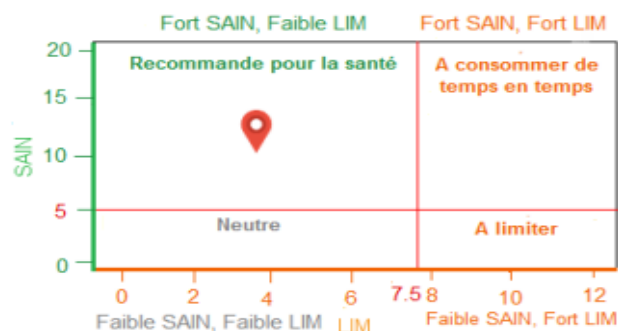


Figure 3: Représentation de la cartographie SAIN-LIM

##### ❖ Recommandation nutritionnelle de l'OMS

Les analyses des recettes de riz sont basées sur les recommandations alimentaires de l'OMS et de l'ANSES (ANSES, 2016). Ces recommandations stipulent que :

- les apports protéiques sont entre 10 et 20% de l'apport énergétique total (AET)
- les apports lipidiques entre 35 et 40% des AET
- et les apports glucidiques entre 40 à 55% des AET
- l'aliment doit contenir des micronutriments essentiels (vitamines, minéraux)
- le rapport sodium/potassium (NA/K) doit être équimolaire avec à un rapport de 0,57.

## 2. Traitement et analyse des données

Les données brutes ont été traitées (épurées, uniformisées) avec le logiciel Excel pour obtenir des données arrangées. Ensuite, les données ont été analysées à travers des analyses descriptives et multivariées avec ©XLSTAT ainsi que des analyses non paramétriques avec Rpackage.

### 2.1. Description de données

Les analyses descriptives ont servi à décrire les données quantitatives et qualitatives de l'étude, afin de caractériser sous forme de graphes et représenter une meilleure interprétation des résultats. Ensuite, l'Analyse des composantes multiples (ACM) a été effectuée pour voir la relation entre plusieurs variables qualitatives et quantitatives. L'ACM a été utilisé :

- pour voir les scores alimentaires dans l'enquête selon les fokontany
- pour voir la relation entre les DP de riz selon le type d'engrais utilisé dans la production.

L'interprétation des données s'effectue à partir des axes ou dimensions représentant le plus de données. Cette représentativité est expliquée par l'inertie (%), permettant de voir la quantité de données représentée par l'axe avant de choisir.

### 2.2. Détermination de l'impact des différents types de fertilisant sur la composition nutritionnelle du riz pluvial

Les données sur l'étude du facteur type de fertilisant auraient dû être traitées à partir de l'Analyse de Variance ANOVA. Cependant, les tests de normalité et d'homogénéité des données ont montré que les données sont anormales et non-homogènes. Ainsi, le test non-paramétrique à plusieurs variables de Kruskal-Wallis a été utilisé pour voir s'il y a une différence statistique significative entre les valeurs moyennes des traitements. En fonction des résultats du test, une hypothèse nulle ( $H_0$ ) stipulant que l'inexistence de différence significative entre plusieurs traitements soit acceptée ou non. La vérification de cette hypothèse découle de la comparaison entre la signification p-value et le seuil de significativité  $\alpha = 0,05$ .

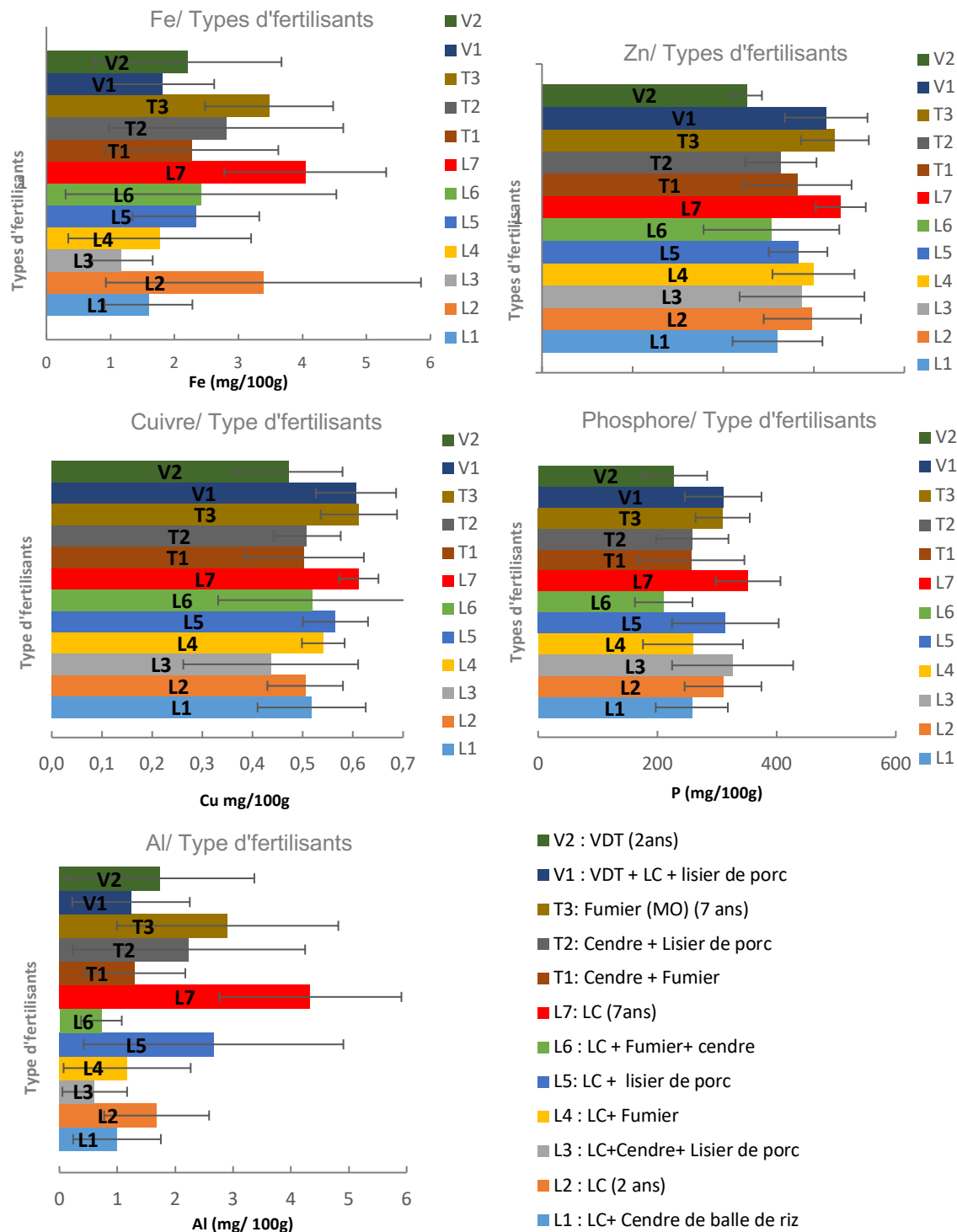
### 2.3. Détermination de l'impact du polissage sur la composition nutritionnelle du riz pluvial

Dans un premier temps, le test de comparaison de moyenne apparié de Wilcoxon est utilisé pour voir la différence entre la valeur des moyennes de nutriments du riz cargo et du riz poli. Ce test permet de voir si une évolution du facteur étudié est significative. L'hypothèse  $H_0$  montrera que les deux variables n'ont pas de différence significative et donc sans évolution en comparant les p-values avec  $\alpha = 0,05$ . Cela permet de voir les pertes de nutriments au cours du processus de polissage. Ensuite, il y aura un test non-paramétrique de Kruskal-Wallis pour voir la perte de nutriments selon le degré de polissage des grains allant du riz cargo vers le riz décortiqué. Le seuil de significativité des probabilités retenu pour tous les tests statistiques est :  $\alpha = 0,05$ .

# RÉSULTATS

## 1. Impacts des types de fertilisant utilisés sur la composition nutritionnelle du riz pluvial

Les figures suivantes montrent l'effet des fertilisants utilisés : les fertilisants traditionnels (T1, T2, T3, T4), les lombricompost (L1, L2, L3, L4, L5, L6, L7) et l'inoculation de vers de terre (V1, V2) sur la teneur en chaque élément dans le grain de riz issus des analyses en laboratoire.



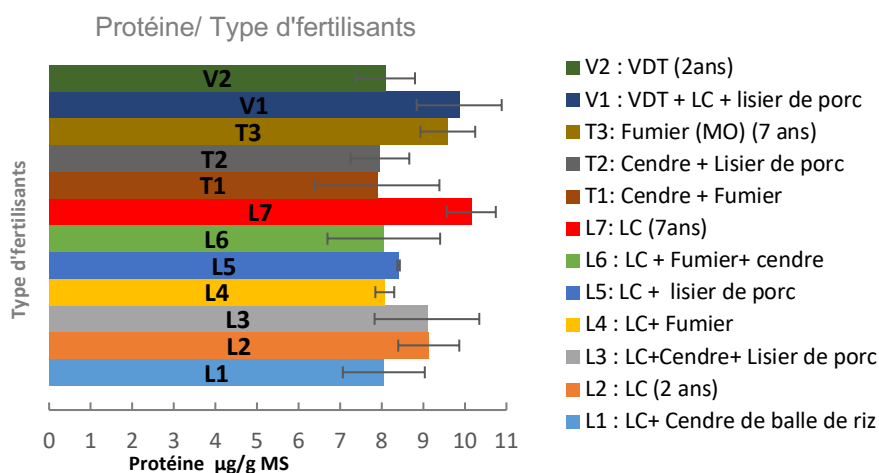


Figure 4: Variation des teneurs en micronutriments du riz pluvial selon le type de fertilisant utilisé

Ces figures montrent que le traitement L7 et T3 ont les teneurs maximales sur les nutriments Fe, Zn et Al. Concernant les valeurs minimales, L3 et V1 ont les teneurs en Fe et Al les plus faibles et V2 a donné la teneur en Zn la plus faible (cf. Figure 4). Les fertilisants utilisés avec les riz ayant les teneurs minimales contiennent des cendres de balles de riz et du lisier de porc (cf. Figure 4).

La section suivante montre les résultats de significativité de Kruskal-Wallis avec les p-values et les moyennes et les écarts-types de chaque variable.

Tableau 7: La variation de la teneur en micronutriments du grain de riz selon le type de fertilisant

Micronutriments (mg/100g)	P-value	Moyenne	Écart-type
Fer (Fe)	*	2.44	1.89
Zinc (Zn)	*	2.9	0.54
Calcium (Ca)	0.294	10.23	2.08
Magnésium (Mg)	0.076	89.23	24.60
Manganèse (Mn)	0.368	1.94	0.67
Cuivre (Cu)	**	0.54	0.11
Aluminium (Al)	*	1.89	1.40
Phosphore (P)	**	285.97	74.80
Potassium (K)	0.271	234.47	51.93
Thiamine B1(µg/100g)	0.51	3.15	0.69
Protéine (g/100g)	***	8.87	1.32

« \* » Effet significatif, « \*\* » effet fortement significatif, « \*\*\* » effet très fortement significatif.

La teneur en Fe, Zn et Al a varié significativement selon les types de fertilisant utilisés avec les moyennes respectives de  $(2,44 \pm 1.89)$ ,  $(2.9 \pm 0.54)$  ;  $(1.89 \pm 1.40)$  selon le test de Kruskal Wallis (cf. Tableau 7). Le test a également montré des résultats fortement significatifs sur la teneur en Cu  $(0.54 \pm 0.11)$ , et en P  $(285.97 \pm 74.8)$  ainsi que sur la teneur en protéine  $(8.87 \pm 1.32)$ . Le traitement L7, T3 et V1 correspondant respectivement aux LC (7ans), Fumier MO (7ans) et VDT ont donné les résultats maximaux sur les teneurs en Cu, P et protéine. En ce qui concerne les teneurs minimales, elles varient selon les minéraux. La teneur minimale en Cu a

été donnée par L3 et la teneur minimale en phosphore par L6. T1 a eu la teneur minimale en protéine. Le test n'a pas montré de différence significative entre la teneur en Ca, Mg, Mn, K et Vitamine B1 selon les différents types de fertilisant utilisé.

## 2. Impact du polissage sur la composition nutritionnelle du riz pluvial

### 2.1. Variation de la teneur en micronutriment au cours du polissage

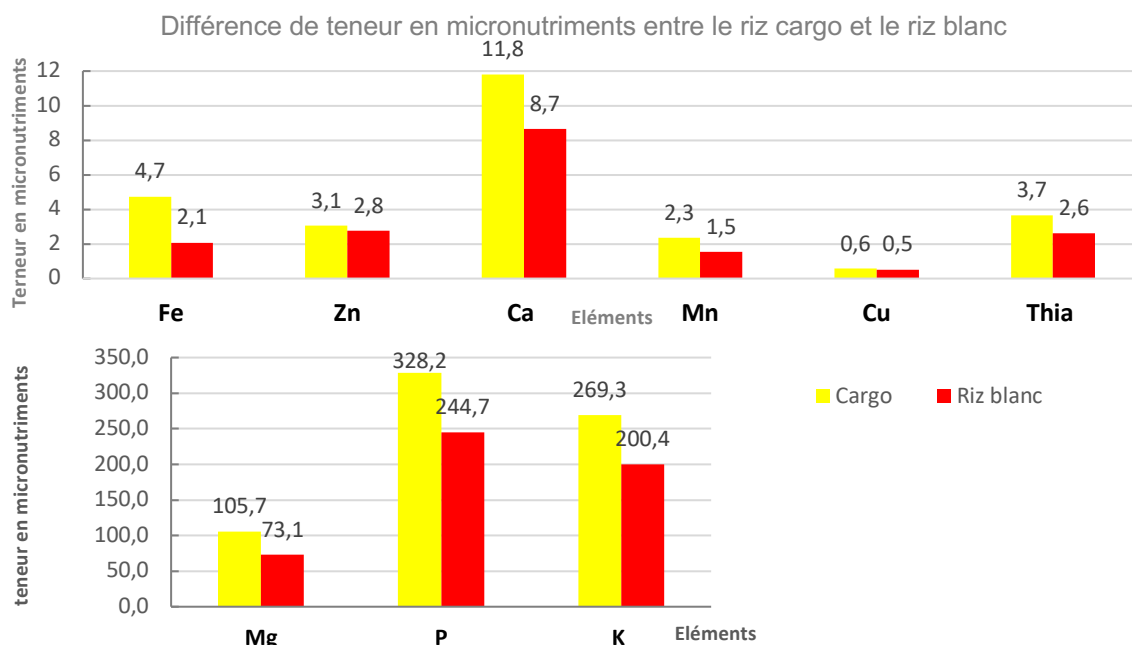


Figure 5: Différence de teneur en micronutriments du grain de riz au cours du processus de polissage

Tableau 8: Résultat du test de Wilcoxon sur la différence de micronutriments du paddy et du riz cargo.

Nutriments	Moyenne		P-value	% de perte en micronutriments
	Riz Cargo (C)	Riz blanc (B)		
<b>Fe (mg/100g)</b>	2.97	1.92	**	<b>34.45</b>
<b>Zn (mg/100g)</b>	3.06	2.76	*	<b>9.99</b>
<b>Ca (mg/100g)</b>	11.81	8.66	***	<b>26.71</b>
<b>Mn (mg/100g)</b>	2.35	1.55	***	<b>34</b>
<b>Mg (mg/100g)</b>	105.73	73.07	***	<b>30.89</b>
<b>Cu (mg/100g)</b>	0.57	0.51	*	<b>10.64</b>
<b>P (mg/100g)</b>	328.2	244.67	***	<b>25.45</b>
<b>Al (mg/100g)</b>	2.37	1.3	*	<b>45.18</b>
<b>K (mg/100g)</b>	269.285	200.372	***	<b>25.59</b>
<b>Thiamine B1 (µg/100g)</b>	3.666	2.623	***	<b>28.46</b>
<b>Protéine (g/100g)</b>	9.095	8.634	0.162	<b>5.08</b>

« \* » Effet significatif, « \*\* » effet fortement significatif, « \*\*\* » effet très fortement significatif.

Le pourcentage de perte représente la teneur moyenne de micronutriments perdus au cours du processus de polissage. Il s'agit de la différence entre la teneur en micronutriments du riz cargo et du riz poli.

Le Zinc et le Cuivre sont les seuls à avoir une perte de nutriments faible de 10%. La teneur en protéine du riz cargo vers le riz blanc n'a pas varié significativement. Cependant, les autres minéraux ont eu des pourcentages de perte plus élevés au cours du polissage à savoir Fe, Zn, Ca, Mn, Cu, Thia, Mg P et K. Le test non-paramétrique de Wilcoxon a montré une différence significative sur la teneur de tous les micronutriments à savoir le Fe, Zn, Ca, Mg, Cu, P, K et la thiamine B1 sauf sur la protéine. La différence entre la teneur moyenne des micronutriments dans le riz cargo et la teneur moyenne des micronutriments dans le riz blanc montre que la perte de nutriments est de 30 % en moyenne sur tous les nutriments (cf. Tableau 8, figure 6).

## 2.2. Perte de nutriment selon le degré de polissage du riz

La figure suivante montre la variation des teneurs de chaque micronutriment selon le degré de polissage de riz.

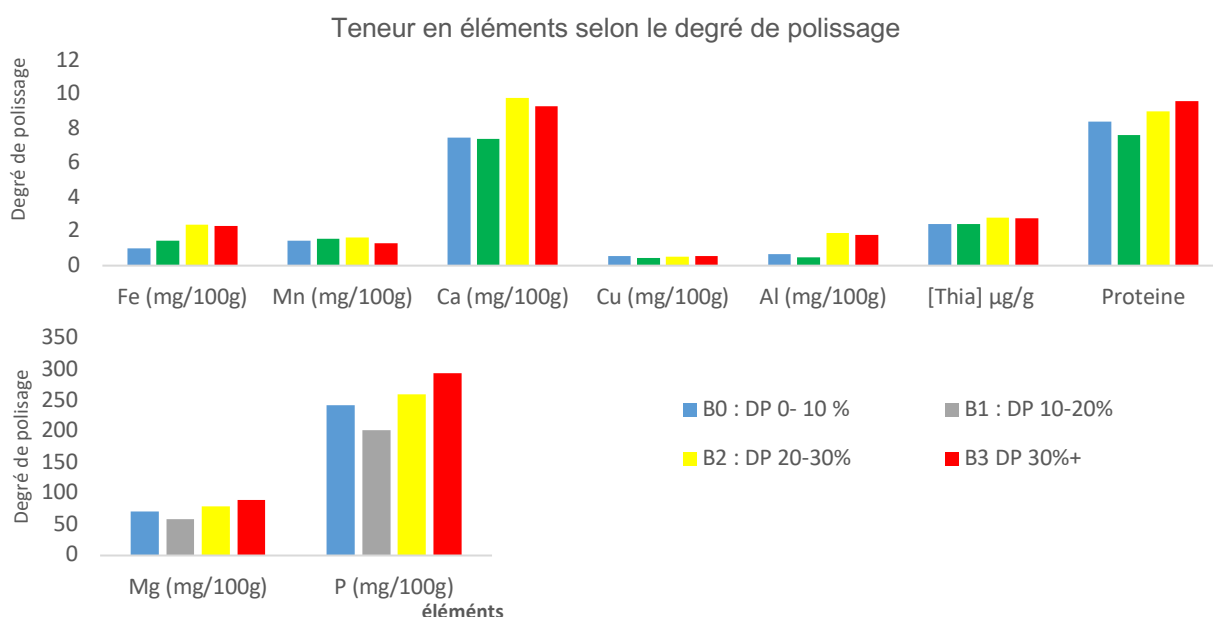


Figure 6: Variation de teneur en micronutriments selon le degré de polissage du grain

En rappel, le degré de polissage (DP) représente le pourcentage de perte de matière au cours du processus de polissage. Plus le DP est faible, plus le pourcentage de perte en matière du grain de riz est faible. Il est constaté sur les teneurs en Fe, Mn, Ca, Cu, et Al sont élevés avec le degré de polissage B2 (cf. Figure 6). Puis, le degré de polissage B3 correspond aux teneurs en Vitamine B1, en protéine, en P et en Magnésium les plus élevées. B2 et B3 correspondent aux degrés de polissage de plus de 20%. Le degré de polissage B0 et B1 correspondent aux teneurs en micronutriments les plus faibles. Les teneurs en micronutriments les plus élevés appartiennent donc au DP les plus poussés à savoir B2 et B3.

La section suivante montre les résultats du test de Kruskal-Wallis sur la perte d'éléments selon le degré de polissage du riz pluvial.

Tableau 9: Tests de Kruskal-Wallis sur la perte en nutriment selon le degré de polissage

Micronutriments	P-value	Moyenne	Écart-type
Fe (mg/100g)	**	1.79	0.91
Zn (mg/100g)	0.104	2.77	0.54
Ca (mg/100g)	***	8.60	1.44
Mn (mg/100g)	*	1.543	0.378
Mg (mg/100g)	**	72.33	16.14
Cu (mg/100g)	*	0.52	0.08
P(mg/100g)	**	242.32	54.05
Al (mg/100g)	*	1.21	0.85
K (mg/100g)	0.104	198.61	32.72
Thia (µm/100g)	**	2.60	0.37
Protéine (g/100g)	*	8.59	1.40

« \* » Effet significatif, « \*\* » effet fortement significatif, « \*\*\* » effet très fortement significatif.

Selon le tableau précédent (Tableau 9), le test non-paramétrique de Kruskal-Wallis montre que les différences de teneur en micronutriments Fe ( $1.79 \pm 0.91$ ), Ca ( $2.77 \pm 0.54$ ), Mn ( $1.543 \pm 0.38$ ), Mg ( $72.33 \pm 16.14$ ), Cu ( $0.52 \pm 0.08$ ), P ( $242.32 \pm 54.05$ ), Al ( $1.21 \pm 0.85$ ) et le Thiamine B1 ( $2.6 \pm 0.37$ ) selon un degré de polissage sont significatives. Seuls le Zn et le K n'ont pas eu de variation selon le degré de polissage du riz (respectivement p-value = 0.10, p-value= 0.1).

Le fer, le calcium, le magnésium et le phosphore varient très significativement selon le degré de polissage de riz. Le test de comparaison par paires sur les 4 nutriments a montré que le groupe A : B0 et B1 n'ont pas de différence ainsi que le groupe B : B2 et B3 (cf. Annexe 18), mais ces deux groupes sont différents significativement.

Ensuite, les nutriments Thiamine (B1) et Protéine varient significativement selon le taux de polissage. Le test de comparaison par paires montre que seuls les polissages B1 et B3 a une différence significative pour le cas de la protéine et celui de B0 et B2 pour le cas du Thiamine (cf. Annexe 18). Ces résultats démontrent que les teneurs en micronutriments les plus élevées correspondent aux grains de riz ayant des degrés de polissage élevés (+20%) et les DP B0 et B1 correspondent aux taux de micronutriments, alors qu'il s'agit d'un DP faible.

Selon la figure 7 ci-dessous, ces différents degrés de polissage correspondent spécifiquement à des types de riz selon le fertilisant utilisés. Il est aperçu que le degré de polissage élevé appartient aux riz pluviaux produits à partir du lombricompost. Plus précisément, le degré de polissage de B3 ne correspond qu'à L7 (Lombricompost 7 ans), ce qui veut dire le grain de riz L7 a été le plus sensible au polissage. Il est constaté également que tous les riz produits à partir de lombricompost comme L1, L2, L3 et L4, L6 ainsi que T3 (Fumier traditionnel 7 ans) ont des degrés de polissage élevé [B2 (20-30%)]. Une partie des riz issus du fertilisant T3 (Fumier 7 ans) possède également le degré de polissage B3.

Ensuite, le degré de polissage B1 (10-20%) correspond également à L1 (Cendre de balle de riz + lombricompost) et L3 (Cendre de balle de riz+ Lombricompost+ Lisier de porc). Enfin B0 (degré de polissage 0-10% avec le moins de perte de matière concerne V2 (Inoculation de vers



de terre 2 ans), L5 (Lombricompost + lisier de porc), T2 (Cendre de balle de riz + Lisier de porc), T1 (Cendre de balle de riz + fumier bovin). Ces résultats montrent que les degrés de polissage faibles sont obtenus sur les grains de riz produits avec des fertilisants contenant du lisier de porc ou de la cendre de balles de riz.

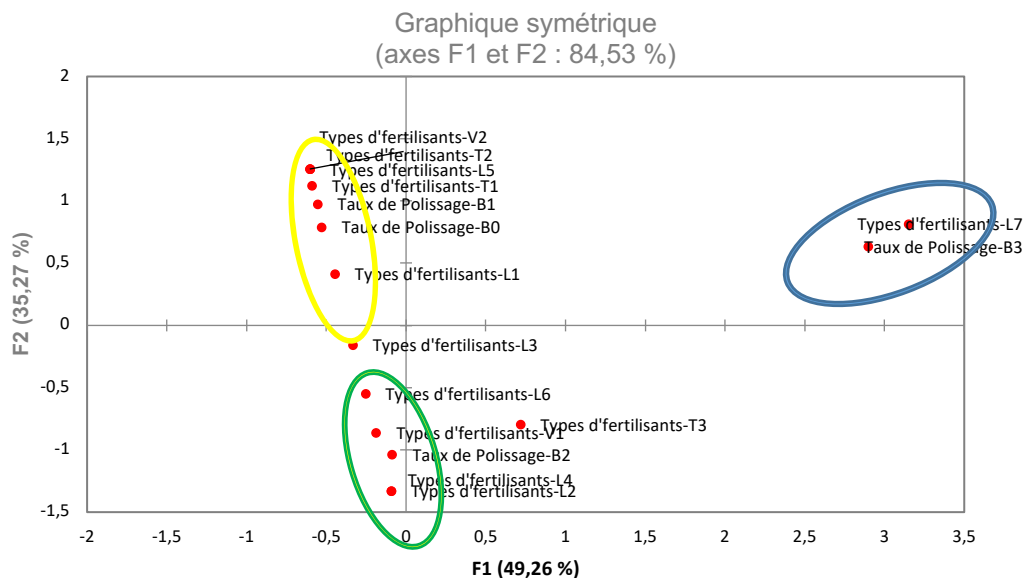


Figure 7: Résultat du test multivarié ACM sur la relation entre degrés de polissage et le type de riz

### 3. Résultats des études sur la qualité nutritionnelle

#### 3.1. Enquête alimentaire avec le Diet Quality Questionnaire (DQQ)

##### 3.1.1. Score de diversité de groupe alimentaire (FGDS)

Les résultats des enquêtes montrent que 62 % des personnes enquêtées ont un score de diversité alimentaire FGDS  $\geq 5$  et 38 % seulement ont une alimentation peu diversifiée (FGDS  $< 5$ ). Parmi ceux qui ont un FGDS  $> 5$ , nombreux ont un score supérieur à 5 (cf. Figure 8a).

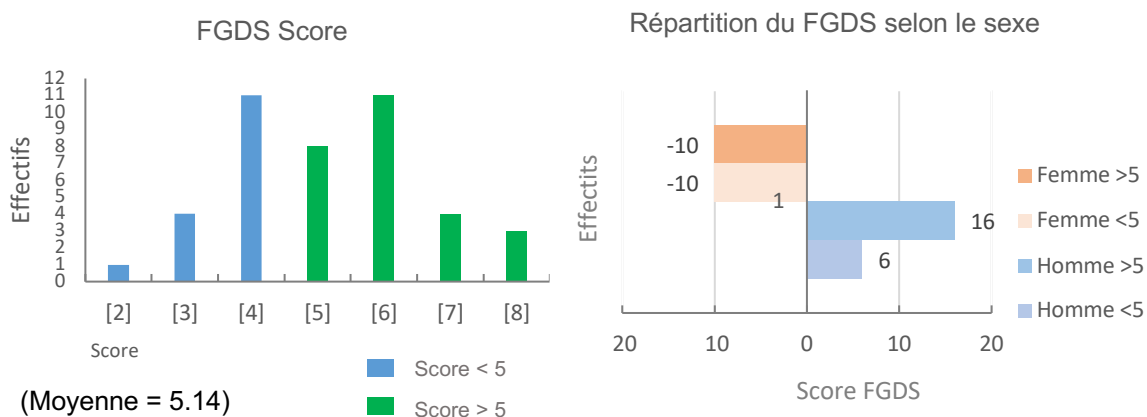


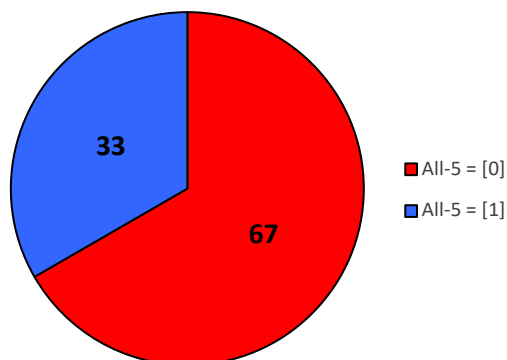
Figure 9: Représentation du FGDS Score (Score de diversité alimentaire)

Les hommes ont des FGDS plus élevés que les femmes (cf. Figure 8b). Les femmes en âge de procréer représentent seulement 17 % de la population étudiée avec un indicateur de diversité

diététique de 5 en moyenne (cf. Annexe 19). Selon le graphe 8b, seulement 10 % des femmes ont un minimum de diversité diététique.

### 3.1.2. Score ALL-5

Effectif (All-5) en pourcentage



Le score ALL-5 montre la consommation des 5 groupes d'aliments recommandés par les enquêtes(e)s (cf. Figure 9). Les résultats du score ALL-5 à Imeritsiatosika montre que 67 % des personnes enquêtées ont un Score All-5 < 0, c'est-à-dire, 67% ne consomment pas les 5 groupes d'aliments recommandés par l'OMS. À l'opposé 33% seulement consomment les 5 aliments recommandés (cf. Annexe 19).

Figure 10: Représentation du Score ALL-5 (Consommation des 5 groupes d'aliments recommandés)

### 3.1.3. Score NCD-Risk, NCD-protect et Recommandation diététique globale

Le terme NCD (Non communicable disease) désigne les maladies non transmissibles liées à l'alimentation. Le NCD-Risk (cf. Figure 10a) représente la consommation des aliments à risque ou qui conduit à des maladies ; ces aliments sont donc à limiter. Les scores NCD dans la zone étudiée montrent un NCD-Risk maximal de 6/9 (min= 0, max = 6 ; moyenne = 2) (cf. Figure 10a, cf. Annexe 19). Ce résultat est faible sachant que la zone d'étude est en milieu rural et la consommation de produits transformés et d'autres aliments à risque pour la santé est encore rare. En revanche le score NCD-protect sur les aliments protecteurs par rapport aux maladies liées à l'alimentation a pu atteindre jusqu'à 8/9 (min=1 ; max =8 : moyenne=3,4) (cf. Figure 10b, cf. Annexe 19).

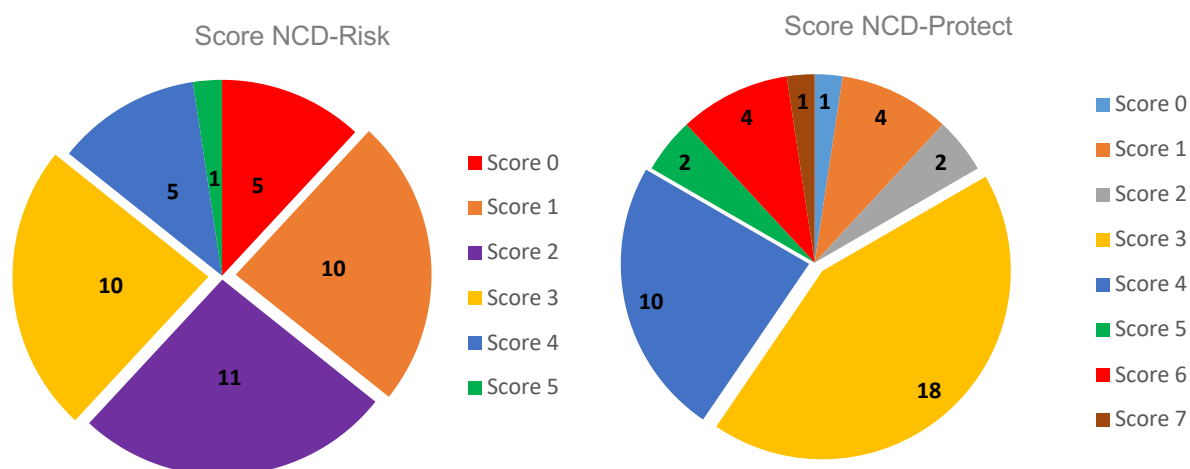


Figure 11: Score NCD Risk et NCD Protect

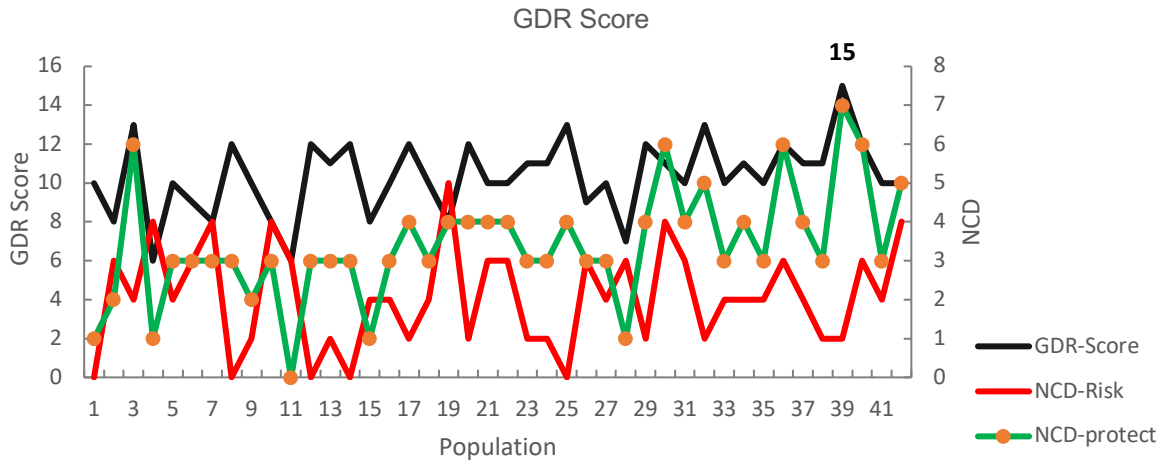


Figure 12: Représentation GDR Score (Recommandation alimentaire globale)

81% des personnes enquêtées ont un score GDR supérieur à 9 et seulement 19 % ont un score inférieur à 9. Le score maximal est de 15/18, le score minimal est de 6/18 et le score moyen de 10, 33 (cf. figure 11). Le score GDR est donc surtout influencé par le NCD-protect.

### 3.1.4. Résultat des enquêtes avec le Diet Quality Questionnaire (DQQ) par fokontany

En rappel, les enquêtes sont réparties dans 6 fokontany dans la Commune d'Imerintsiatosika. L'analyse multivariée ACM a permis de représenter les scores de qualité d'alimentation d'Imerintsiatosika par fokontany. Les axes F1 et F2 ont été retenus ; ils représentent 69% et 40% des informations sur les données (cf. Figure 12).

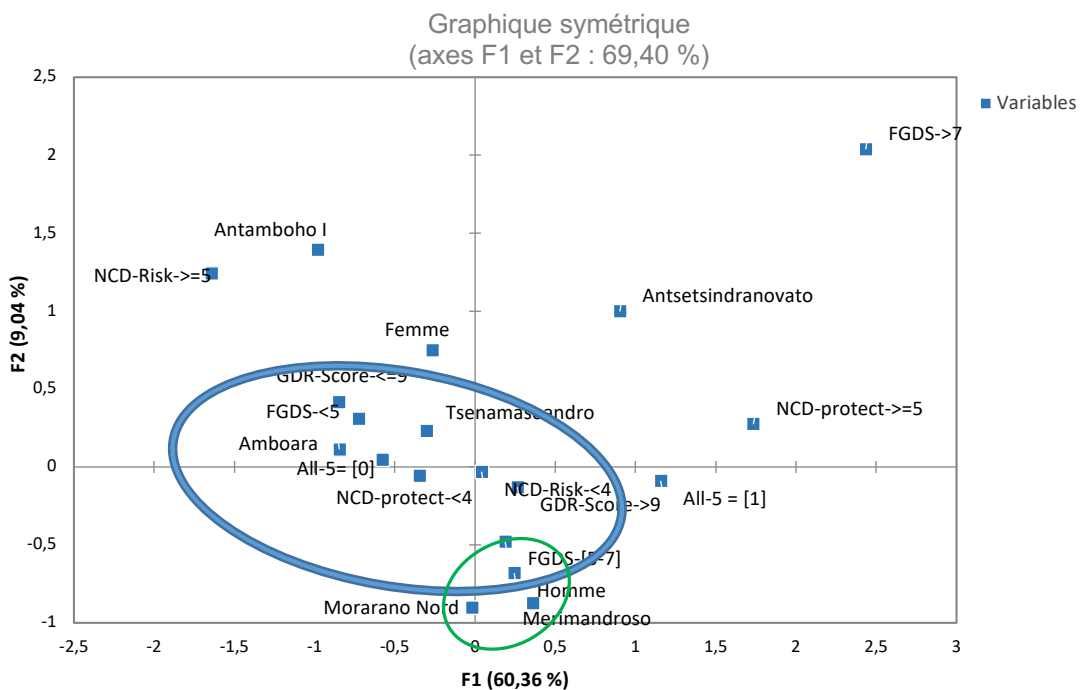


Figure 13: Représentation des Scores de qualité de l'alimentation par fokontany (ACM)

Ce graphe montre que les scores les plus faibles se trouvent dans les fokontany Amboara et Tsenamasoandro et une partie d'Antsetsindranovato. Ils ont les scores de GDR et les NCD-Protect les plus faibles. Surtout, 100% de leurs scores All-5 sont équivalents à 0 donc avec une alimentation très peu diversifiée, ce qui correspond donc à des FGDS faibles. Ensuite, les fokontany Merimandroso et Morarano ont des scores moyens : FGDS entre 5-7, NCD-Risk faible et GDR moyens (cf. Annexe 20).

### 3.2. Fiches analytiques de la qualité nutritionnelle des combinaisons de recette à base riz

Les fiches analytiques ci-après illustrent les compositions nutritionnelles de 100g de plat cuit de différentes recettes de riz pluvial avec son accompagnement. Les mesures effectuées sur le terrain ont été ramenées à 100 g de recette contenant du riz avec son accompagnement. Les quantités de protéine, de glucides et de lipides ainsi que le rapport sodium/potassium ont été comparées par rapport aux proportions recommandées par l'OMS qui sont : 10-20% de protéine, 35-40% de lipide, 40% de glucides. L'aliment doit contenir des micronutriments essentiels (vitamines, minéraux).

En rappel, le facteur de rendement FRD montre le pourcentage de perte de poids entre l'ensemble des ingrédients crus et le plat cuit.

#### 3.2.1. Fiche analytique de la combinaison 1 : Riz sec+ Poisson-version bouillon

##### **Combinaison 1 : Riz Sec + Poisson-version bouillon**

Tableau 10: Liste des ingrédients crus avec pour dans 100g de plat cuit (C1)

<b>Plat cru</b>			
<b>Riz sec</b>		<b>Bouillon de poisson</b>	
<b>Ingrédients crus</b>	<b>Poids (g)</b>	<b>Ingrédients crus</b>	<b>Poids (g)</b>
Riz	22.04	Oignon	0.52
Eau	54.35	Tomate	0.77
		Huile	0.58
		Sel	0.37
		Poisson séché	2.56
		Eau	39.65
<b>Total des ingrédients crus</b>	<b>76,39g</b>		<b>44.43g</b>
<b>Poids de l'ensemble du plat cru</b>		<b>120.2g e plat cru</b>	
<b>Plat cuit (100g)</b>			
<b>Facteur de rendement</b>			<b>17.23%</b>
Quantité de riz sec dans 100g de plat cuit			<b>61.8g</b>
Quantité de bouillon de poisson dans 100g de plat cuit			<b>38.2g</b>

La quantité de riz dans 100 g de plat représente 62% du plat cuit (cf. Tableau 10) et 38 g de bouillon de poisson. La quantité de poisson séché utilisée ne représente que 2,56 g ce qui montre la présence très majoritaire de l'ingrédient « riz » et de l'eau dans le plat. Le FRD montre que le pourcentage de variation de poids du plat cru et du plat cuit est de 17% soit 20,2g.

Tableau 11: Composition nutritionnelle de 100 g de riz sec+ Poisson version bouillon (C1)

<b>Apport énergétique (Kcal)</b>		<b>83.03</b>	
Constituants majeurs		Vitamines	
Protéines (g)	3.03	Vitamines A (RE) (µg)	6.36
Glucides totaux (g)	16.75	Rétinol (µg)	4.09
Sucres totaux (g)	0.18	Bêta-carotène (µg)	5.59
Sucre ajouté (g)	0.00	Thiamine (mg)	0.24
Fibres alimentaires (g)	0.27	Riboflavine B2 (mg)	0.02
Lipides totaux (g)	1.29	Niacine B3 (mg)	0.82
Acides gras totaux (g)	1.00	Acide pantothénique B5 (mg)	—
Acides gras saturés (g)	0.17	Folates B9 (mg)	2.97
Acides gras mono-insaturés (g)	0.26	Cobalamine B12 (mg)	0.50
Acides gras polyinsaturés (g)	0.58	Vitamine C (mg)	0.17
<b>Composants minéraux</b>			
Sodium (mg)	241.05	Magnésium (mg)	134.64
Potassium (mg)	52.02	Fer (mg)	1.14
Calcium (mg)	102.04	Zinc (mg)	0.91
<b>Protéine : 14.61 % ; Glucides : 80.01 % ; lipides : 13.97 % et Ratio NA/K : 4.63</b>			

Le plat C1 contient des vitamines et des minéraux essentiels (cf. Tableau 11). Malgré le rapport sodium/potassium (Na/K) élevé à cause de la quantité de sel dans le mets, le déséquilibre du plat allège cette quantité de sel. Par rapport aux recommandations de l’OMS, la teneur en glucide est très élevée avec 81% au lieu de 40 à 55% (cf. Tableau 11).

### 3.2.2. Fiche analytique de la combinaison 2 : Riz sec+ Haricot version bouillon

#### **Combinaison 2 : Riz Sec + Haricot version Bouillon**

Tableau 12: Liste et poids des ingrédients crus pour 100g de plat cuit (C2)

<b>Plat cru</b>			
<b>Riz sec</b>		<b>Bouillon de Haricot</b>	
<b>Ingrédients crus</b>	<b>Poids (g)</b>	<b>Ingrédients crus</b>	<b>Poids (g)</b>
Riz	21.42	Haricot	9.09
Eau	54.37	oignon	0.51
		tomate	0.68
		huile	0.78
		Sel	0.41
		Eau	48.17
Total des ingrédients crus	75.79		59.64
<b>Poids de l'ensemble du plat cru</b>		135.42g	
<b>Plat cuit</b>			
<b>FRD</b>			26.16%
<b>Quantité de riz sec dans 100g de plat cuit</b>			<b>61,5g</b>
<b>Quantité de Bouillon de Haricot dans 100g de plat cuit</b>			<b>38.5g</b>

100g de la combinaison comporte donc 62% de plat de riz sec et 38 % de bouillon de Haricot avec seulement 9,09 g de Haricot cru utilisé sur 135,42 g de l'ensemble du plat cru (cf. Tableau 12). À part l'eau et le riz, tous les ingrédients sont en très petite quantité.

Tableau 13: Composition nutritionnelle pour 100 g de riz sec+ Haricot version bouillon (C2)

<b>Apport énergétique (Kcal)</b>		<b>98.18</b>	
Constituants majeurs		Vitamines	
Protéines (g)	2.85	Vitamines A (RE) (µg)	0.29
Glucides totaux (g)	20.21	Rétinol (µg)	0.00
Sucres totaux (g)	0.32	Bêta-carotène (µg)	3.06
Sucre ajouté (g)	0.00	Thiamine (mg)	0.26
Fibres alimentaires (g)	1.78	Riboflavine B2 (mg)	0.02
Lipides totaux (g)	1.05	Niacine B3 (mg)	0.30
Acides gras totaux (g)	0.91	Vit B5 (mg)	-
Acides gras saturés (g)	0.17	Folates B9 (mg)	18.23
Acides gras mono-insaturés (g)	0.23	Cobalamine B12 (mg)	0.00
Acides gras polyinsaturés (g)	0.52	Vitamine C (mg)	0.21
<b>Composants minéraux</b>			
Sodium (mg)	162.80	Magnésium (mg)	112.19
Potassium (mg)	177.41	Fer (mg)	1.54
Calcium (mg)	29.81	Zinc (mg)	0.84
<b>Qualité et équilibre nutritionnel</b>			
<b>Protéine : 11.62 % ; Glucides : 78.72 % ; lipides : 9.66 % et Ratio NA/K : 0.92</b>			

Malgré la faible quantité de haricot, la proportion de la protéine dans le 100g de plat C2 est comprise dans les valeurs 10 à 20 %, conforme à la recommandation de l'OMS (cf. Tableau 13). Toutefois, le pourcentage de glucide reste très élevé par rapport à la valeur de référence. Le rapport Sodium/ Potassium est équimolaire dû au déséquilibre du plat même si la quantité de sel dans le mets d'accompagnement est élevée. Le plat C2 contient tous les minéraux essentiels avec de la vitamine A (Bêta-carotène) et de la vitamine B9 en grande quantité.

### 3.2.3. Fiche analytique de la combinaison 3 : Riz + brèdes et "Pomme de terre frite

#### **Combinaison 3 : Riz aux brèdes + Pomme de terre frites**

Tableau 14: Liste et poids des ingrédients crus pour 100g de plat cuit (C3)

<b>Plat cru</b>			
Riz au brèdes		Frites	
<b>Ingrédients crus</b>	<b>Poids (g)</b>	<b>Ingrédients crus</b>	<b>Poids (g)</b>
Riz	14.63	Pomme de terre (Pdt)	8.79
Brèdes	1.39	Huile	3.29
tomate	1.35	Sel	0.51
oignons	0.75		
huile	0.63		
Sel	0.38		
eau	83.47		
Total des ingrédients crus	102.61		12.59
<b>Poids de l'ensemble du plat cru</b>		<b>115.19g</b>	
<b>Plat cuit</b>			
<b>FRD</b>			<b>13.19%</b>
Quantité de riz aux brèdes dans 100g de plat cru			<b>92.17g</b>
Quantité de Pommes de terre frites dans 100 g de plat cru			<b>7.8g</b>

Le riz aux brèdes domine le plat à 92% du plat. En termes de quantité, le plat C2 est déséquilibré avec seulement 8g de mets d'accompagnement sur 115.19g de plat crus. Avec un FRD de 13%, 100g de plat cuit nécessite 115g de plat cru (cf. Tableau 14).

Tableau 15: Composition nutritionnelle pour 100 g de riz + brèdes et Pomme de terre frite (C3)

<b>Apport énergétique (Kcal)</b>		<b>90.20</b>	
Constituants majeurs		Vitamines	
Protéines (g)	0.98	Vitamines A (RE) (µg)	4.40
Glucides totaux (g)	12.75	Rétinol (µg)	0.00
Sucres totaux (g)	0.22	Bêta-carotène (µg)	51.69
Sucre ajouté (g)	0.00	Thiamine (mg)	0.16
Fibres alimentaires (g)	0.41	Riboflavine B2 (mg)	0.01
Lipides totaux (g)	4.01	Niacine B3 (mg)	0.28
Acides gras totaux (g)	3.83	Acide pantothénique B5 (mg)	—
Acides gras saturés (g)	0.59	Folates B9 (mg)	2.28
Acides gras mono-insaturés (g)	0.94	Cobalamine B12 (mg)	0.00
Acides gras polyinsaturés (g)	2.30	Vitamine C (mg)	1.97
<b>Composants minéraux</b>			
Sodium (mg)	355.93	Magnésium (mg)	187.10
Potassium (mg)	65.10	Fer (mg)	0.79
Calcium (mg)	25.56	Zinc (mg)	0.46
<b>Qualité et équilibre nutritionnel</b>			
<b>Protéine : 4.33 % ; Glucides : 55.62 % ; lipides : 40.05 % et Ratio NA/K : 5.47</b>			

Sachant que la majorité des ingrédients utilisés sont de nature glucidique (Riz et Pomme de terre), la quantité de protéine est très faible (4%) avec une valeur inférieure à 10%. Par addition, la quantité d'huile dans 100g de plat C3 est de 4g (cf. Tableau 15), cela a induit à l'équilibre entre le glucide et le lipide du plat. Le plat est très riche en bêta-carotène. La quantité de Sodium démontre la grande quantité de sel utilisé (cf. Tableau 15).

#### 3.2.4. Fiche analytique de la combinaison 4 : Riz sosoa + haricot version sauce

##### **Combinaison 4 : Riz sosoa + Haricot version sauce**

Tableau 16: Liste et poids des ingrédients crus pour 100g de plat cuit (C4)

<b>Plat cru</b>			
Riz sec		Haricot version sauce	
Ingrédients crus	Poids (g)	Ingrédients crus	Poids (g)
Riz	17.62	Haricot	13.47
Eau	85.90	oignon	0.41
		tomate	1.68
		huile	0.95
		Sel	0.45
		Eau	21.73
Total des ingrédients crus	103.52		38.70
<b>Poids de l'ensemble du plat cru</b>		<b>142.22g</b>	
<b>Plat cuit</b>			
<b>FRD</b>			29.68 %
Quantité de riz sec dans 100g de plat cuit			87.34
Quantité de Haricot version sauce dans 100g de plat cuit			12.7

Le tableau 15 montre que le plat est déséquilibré sur la proportion de riz et de mets avec 87 % de riz et 12 % de mets. Le FRD est de 29.6% sachant que le plat cru utilisé pour obtenir 100g de plat est de 142.22g (Cf. Tableau 16).

Tableau 17: Composition nutritionnelle pour 100 g de riz sosoa + haricot version sauce (C4)

<b>Apport énergétique (Kcal)</b>		<b>218.17</b>	
Constituants majeurs		Vitamines	
Protéines (g)	41.56	Vitamines A (RE) (µg)	1.03
Glucides totaux (g)	15.87	Rétinol (µg)	0.71
Sucres totaux (g)	2.38	Bêta-carotène (µg)	0.00
Sucre ajouté (g)	0.00	Thiamine (mg)	6.99
Fibres alimentaires (g)	6.22	Riboflavine B2 (mg)	0.06
Lipides totaux (g)	0.10	Niacine B3 (mg)	0.23
Acides gras totaux (g)	1.69	Acide pantothénique B5 (mg)	—
Acides gras saturés (g)	1.23	Folates B9 (mg)	1.23
Acides gras mono-insaturés (g)	0.20	Cobalamine B12 (mg)	0.06
Acides gras polyinsaturés (g)	0.26	Vitamine C (mg)	0.00
<b>Composants minéraux</b>			
Sodium (mg)	231.67	Magnésium (mg)	14.96
Potassium (mg)	71.19	Fer (mg)	0.73
Calcium (mg)	49.63	Zinc (mg)	180.65
<b>Qualité et équilibre nutritionnel</b>			
<b>Protéine : 11.62 % ; Glucides : 78.72 % ; lipides : 9.66 % et Ratio NA/K : 0.92</b>			

Le Tableau 17 montre la composition nutritionnelle de 100 g de C4. Avec seulement 0,95 g d'huile, le plat a un faible pourcentage de lipide et le pourcentage de glucide est très élevé. Le rapport Sodium/ Potassium est équimolaire. Le plat est riche en Vitamine B1 et contient les minéraux essentiels sauf le Fer (0,73mg) avec une quantité très faible.

### 3.2.5. Fiche analytique de la combinaison 5 : Riz sosoa + brèdes version sauce

#### **Combinaison 5 : Riz sosoa + brèdes version sauce**

Tableau 18: Liste et poids des ingrédients crus pour 100g de plat cuit (C5)

<b>Plat cru</b>			
Riz sosoa		Brèdes version bouillon	
Ingrédients crus	Poids (g)	Ingrédients crus	Poids (g)
Riz	27.19	Brèdes	22.64
Eau	101.81	huile	1.23
		Sel	0.64
		Eau	17.59
Total des ingrédients crus	129.01		42.01
<b>Poids de l'ensemble du plat cru</b>		<b>171.11g</b>	
<b>Plat cuit</b>			
<b>FRD</b>			41.56%
Quantité de riz sosoa dans 100g de plat			<b>81.10</b>
Quantité de brèdes version bouillon dans 100g de plat			<b>18.9</b>



Le riz sosoa constitue 81 % du plat cuit. Le plat est déséquilibré sur la proportion de riz et de mets. Le FRD montre que 171.11g de l'ensemble des ingrédients crus a été réduit pour obtenir 100 g de plat cuit. (cf. Tableau 18).

Tableau 19: Composition nutritionnelle pour 100 g de riz sosoa + brèdes version sauce (C5)

<b>Apport énergétique (Kcal)</b>		<b>104.06</b>	
Constituants majeurs		Vitamines	
Protéines (g)	1.81	Vitamines A (RE) (µg)	62.36
Glucides totaux (g)	21.34	Rétinol (µg)	0.00
Sucres totaux (g)	0.39	Bêta-carotène (µg)	743.23
Sucre ajouté (g)	0.00	Thiamine (mg)	0.30
Fibres alimentaires (g)	0.67	Riboflavine B2 (mg)	0.03
Lipides totaux (g)	1.42	Niacine B3 (mg)	0.41
Acides gras totaux (g)	1.34	Acide pantothénique B5 (mg)	—
Acides gras saturés (g)	0.23	Folates B9 (mg)	3.93
Acides gras mono-insaturés (g)	0.35	Cobalamine B12 (mg)	0.00
Acides gras polyinsaturés (g)	0.77	Vitamine C (mg)	3.74
<b>Composants minéraux</b>			
Sodium (mg)	301.62	Magnésium (mg)	162.54
Potassium (mg)	117.32	Fer (mg)	1.48
Calcium (mg)	34.34	Zinc (mg)	0.79
<b>Qualité et équilibre nutritionnels</b>			
<b>Protéine : 6.96 % ; Glucides : 80.76 % ; lipides : 12.28 % et Ratio NA/K : 2.57</b>			

La proportion des protéines est très faible avec seulement 7% du plat C5. Le glucide domine le plat à 81% (cf. Tableau 19). Le rapport Na/K est élevé malgré la faible quantité de mets à cause de la quantité de sel utilisé dans les brèdes. Le plat C5 contient des minéraux avec une faible quantité en Fer (0,79mg). En termes de vitamine, le plat C5 est riche en Vitamine A, surtout en bêta-carotène.

### 3.2.6. Fiche analytique de la combinaison 6 : Riz sec+ brèdes version bouillon

#### **Combinaison 6 : Riz sec+ brèdes version bouillon**

Tableau 20: Liste et poids des ingrédients crus pour 100g de plat cuit (C6)

<b>Plat cru</b>			
Riz sec		Brèdes version bouillon	
<b>Ingrédients crus</b>	<b>Poids (g)</b>	<b>Ingrédients crus</b>	<b>Poids (g)</b>
Riz	<b>15.29</b>	Brèdes	8.82
Eau	<b>60.45</b>	Tomate	1.59
		Oignon	1.26
		huile	0.82
		Sel	0.50
		Eau	63.91
Total des ingrédients crus	75.74		76.89
<b>Poids de l'ensemble du plat cru</b>		<b>152.64g</b>	
<b>Plat cuit</b>			
<b>FRD</b>		<b>34.48%</b>	
Quantité de riz dans 100g de plat		<b>47.50g</b>	
Quantité de brèdes version bouillon dans 100g de plat		<b>52.5g</b>	

Le riz constitue 47 % du plat et le met à 52 % (cf. Tableau 20). Néanmoins, la quantité de brèdes crues dans le mets est de 9g seulement dans 152g d'ingrédients crus en total. Le plat contient une grande quantité d'eau. Le FRD est assez important avec 35% de différence entre le poids du plat et le poids du plat final.

Tableau 21: Composition nutritionnelle pour 100 g de riz sec+ brèdes version bouillon (C6)

<b>Apport énergétique (Kcal)</b>		<b>59.70</b>	
Constituants majeurs		Vitamines	
Protéines (g)	0.97	Vitamines A (RE) (µg)	24.97
Glucides totaux (g)	12.05	Rétinol (µg)	0.00
Sucres totaux (g)	0.27	Bêta-carotène (µg)	296.74
Sucre ajouté (g)	0.00	Thiamine (mg)	0.17
Fibres alimentaires (g)	0.35	Riboflavine B2 (mg)	0.01
Lipides totaux (g)	0.92	Niacine B3 (mg)	0.23
Acides gras totaux (g)	0.88	Acide pantothénique B5 (mg)	—
Acides gras saturés (g)	0.15	Folates B9 (mg)	2.16
Acides gras mono-insaturés (g)	0.22	Cobalamine B12 (mg)	0.00
Acides gras polyinsaturés (g)	0.51	Vitamine C (mg)	1.69
<b>Composants minéraux</b>			
Sodium (mg)	218.07	Magnésium (mg)	116.28
Potassium (mg)	57.51	Fer (mg)	0.82
Calcium (mg)	24.36	Zinc (mg)	0.45
<b>Qualité et équilibre nutritionnels</b>			
<b>Protéine : 6.53 % ; Glucides : 79.54 % ; lipides : 13.93 % et Ratio NA/K : .3.79</b>			

La proportion des protéines dans le plat C6 est très faible avec seulement 6.5% au lieu de 10 à 20 % par rapport à la valeur de référence de l'OMS. Le rapport Sodium/ Potassium est élevé à cause de la quantité de sel utilisé et la quantité de Fer et de Zinc sont faibles (0.82 et 0.45 mg). Le plat C6 est très riche en bêta-carotène. Le déséquilibre sur la proportion des constituants majeur s'explique surtout par le déséquilibre sur les ingrédients du plat (cf. Tableau 21).

### 3.2.7. Fiche analytique combinaison 7 : Riz aux pommes de terre + viande version sauce

#### **Combinaison 7 : Riz à la pomme de terre + viande version**

Tableau 22: Liste et poids des ingrédients crus pour 100g de plat cuit (C7)

<b>Plat cru</b>			
<b>Riz +pdt</b>		<b>Viande VS</b>	
<b>Ingrédients crus</b>	<b>Poids (g)</b>	<b>Ingrédients crus</b>	<b>Poids (g)</b>
Riz	19.80	Viande	10.72
Pdt	7.90	Sel	0.62
Sel	0.25	Eau	32.08
Eau	68.64		
Total des ingrédients crus	96.59		43.42
<b>Poids de l'ensemble du plat cru</b>		<b>140.01g</b>	
<b>Plat cuit</b>			
<b>FRD</b>		28.57%	
Quantité de riz dans 100g de plat		<b>75.20</b>	
Quantité de Viande version sauce dans 100g de plat		<b>24.8</b>	

Le riz constitue 75 % du plat cuit. La quantité de l'eau utilisée dans la préparation du plat est 100g environ par additions (cf. Tableau 22). Une fois cuit, le plat est réduit pour obtenir 75g de riz aux pommes de terre et 25 g de viande avec un FRD de 28,57%.

Tableau 23: Composition nutritionnelle pour 100 g de riz aux pommes de terre+ viande version sauce (C7)

Apport énergétique (Kcal)		94.03	
Constituants majeurs		Vitamines	
Protéines (g)	3.25	Vitamines A (RE) (µg)	0.01
Glucides totaux (g)		Rétinol (µg)	0.00
Sucres totaux (g)	0.16	Bêta-carotène (µg)	0.08
Sucre ajouté (g)	0.00	Thiamine (mg)	0.22
Fibres alimentaires (g)	0.40	Riboflavine B2 (mg)	0.02
Lipides totaux (g)	1.84	Niacine B3 (mg)	0.71
Acides Gras totaux (g)	1.07	Acide pantothénique B5 (mg)	—
Acides gras saturés (g)	0.03	Folates B9 (mg)	2.73
Acides gras mono-insaturés (g)	0.64	Cobalamine B12 (mg)	0.22
Acides gras polyinsaturés (g)	0.40	Vitamine C (mg)	1.40
Composants minéraux			
Sodium (mg)	109.21	Magnésium (mg)	67.95
Potassium (mg)	93.26	Fer (mg)	1.02
Calcium (mg)	15.23	Zinc (mg)	0.90
Qualité et équilibre nutritionnels			
Protéine : 13.84 % ; Glucides : 68.52 % ; lipides : 13.93 % et Ratio NA/K : .17.64			

Dans le tableau 23, il est observé que la proportion de glucides de 68% dépasse légèrement les proportions recommandées par l'OMS soit de 40 à 55% tandis que le lipide est moins de 20%. Le rapport Na/K est respecté en termes de quantité de sel. Le plat contient tous les minéraux essentiels et toutes les vitamines ainsi que la vitamine B12 d'origine animale.

### 3.2.8. Fiche analytique de la combinaison 8 : Riz aux haricots + Poisson-version sauce

#### Combinaison 8: Riz aux haricots + poisson version sauce

Tableau 24: Liste et poids des ingrédients crus pour 100g de plat cuit (C8)

Plat cru			
Riz +Haricot		Poisson Version Sauce	
Ingrédients crus	Poids (g)	Ingrédients crus	Poids (g)
Riz	21.10	Poisson	14.61
haricot	11.34	Oignon	1.14
Sel	0.28	Tomate	2.54
Eau	99.04	Huile	1.31
		Eau	14.20
Total des ingrédients crus	131.76		34.25
<b>Poids de l'ensemble du plat cru</b>		<b>166.01g</b>	
Plat cuit			
<b>FRD</b>			39.76%
Quantité de riz + haricot dans 100g de plat			85,7
Quantité de Poisson-version sauce dans 100g de plat			14.7

Le riz représente 85 % du plat C8). Il est constaté que l'eau utilisée dans le mets d'accompagnement a été entièrement réduite. Le FRD du plat est 39.76%, mais la proportion de chaque ingrédient est similaire (cf. Tableau 24).

Tableau 25: Composition nutritionnelle pour 100 g de riz aux haricots + Poisson version sauce (C8)

<b>Apport énergétique (Kcal)</b>		<b>95.01</b>	
<b>Constituants majeurs</b>		<b>Vitamines</b>	
Protéines (g)	4.54	Vitamines A (RE) (µg)	19.16
Glucides totaux (g)		Rétinol (µg)	17.53
<i>Sucres totaux (g)</i>	0.51	Bêta-carotène (µg)	17.30
<i>Sucre ajouté (g)</i>	0.00	Thiamine (mg)	0.27
<i>Fibres alimentaires (g)</i>	0.42	Riboflavine B2 (mg)	0.05
Lipides totaux (g)	1.24	Niacine B3 (mg)	1.37
Acides gras totaux (g)	0.87	Acide pantothénique B5 (mg)	—
<i>Acides gras saturés (g)</i>	0.04	Folates B9 (mg)	6.16
<i>Acides gras mono-insaturés (g)</i>	0.41	Cobalamine B12 (mg)	0.55
<i>Acides gras polyinsaturés (g)</i>	0.42	Vitamine C (mg)	3.12
<b>Composants minéraux</b>			
Sodium (mg)	122.70	Magnésium (mg)	78.51
Potassium (mg)	110.34	Fer (mg)	0.97
Calcium (mg)	18.89	Zinc (mg)	0.71
<b>Qualité et équilibre nutritionnels</b>			
<b>Protéine : 19.11 % ; Glucides : 69.15 % lipides : 11.74 % et Ratio NA/K : .1.11</b>			

Le pourcentage de protéine est élevé (19.11%). Le glucide est de 69 % et dépasse largement les valeurs de référence de l'OMS qui est de 40 à 55% alors que le lipide est inférieur à 20% dans les 100 g de plat C8 cuit (cf. tableau 25). Le rapport Na/K est élevé en raison de la grande quantité de sel. Le plat C8 contient tous les minéraux essentiels ainsi que toutes les vitamines.

### 3.3. Cartographie SAIN LIM

La section suivante montre les catégories de toutes les recettes étudiées selon la cartographie SAIN-LIM. Il s'agit d'une représentation de la qualité nutritionnelle de chaque recette étudiée selon 100 g de chaque plat.

Par rapport à la cartographie SAIN LIM, aucune des combinaisons de recette étudiées ne fait partie des aliments à LIM élevée, c'est-à-dire, appartenant à la catégorie des aliments à limiter ou à modérer (cf. figure 13). Ayant des scores SAIN inférieurs à 5 et LIM inférieures à 7.5, les plats C3, C5, C6, C7, C8 et C9 font partie des catégories d'aliments neutres, c'est-à-dire qu'ils n'ont pas d'impact positif ou négatif sur la santé des consommateurs. Seulement C1, C2 et C4 font partie des éléments à score SAIN supérieur à 5 et sont dans les catégories d'aliments recommandés, c'est-à-dire qu'ils ont le potentiel d'améliorer la santé. Ces scores sont liés aux compositions nutritionnelles des plats et le Score SAIN est influencé par la quantité de protéine, de Ca, de Fe et de vitamines dans le plat (cf. Annexe 16). Les aliments riches en protéines tels que le haricot possèdent cependant des scores SAIN élevés.

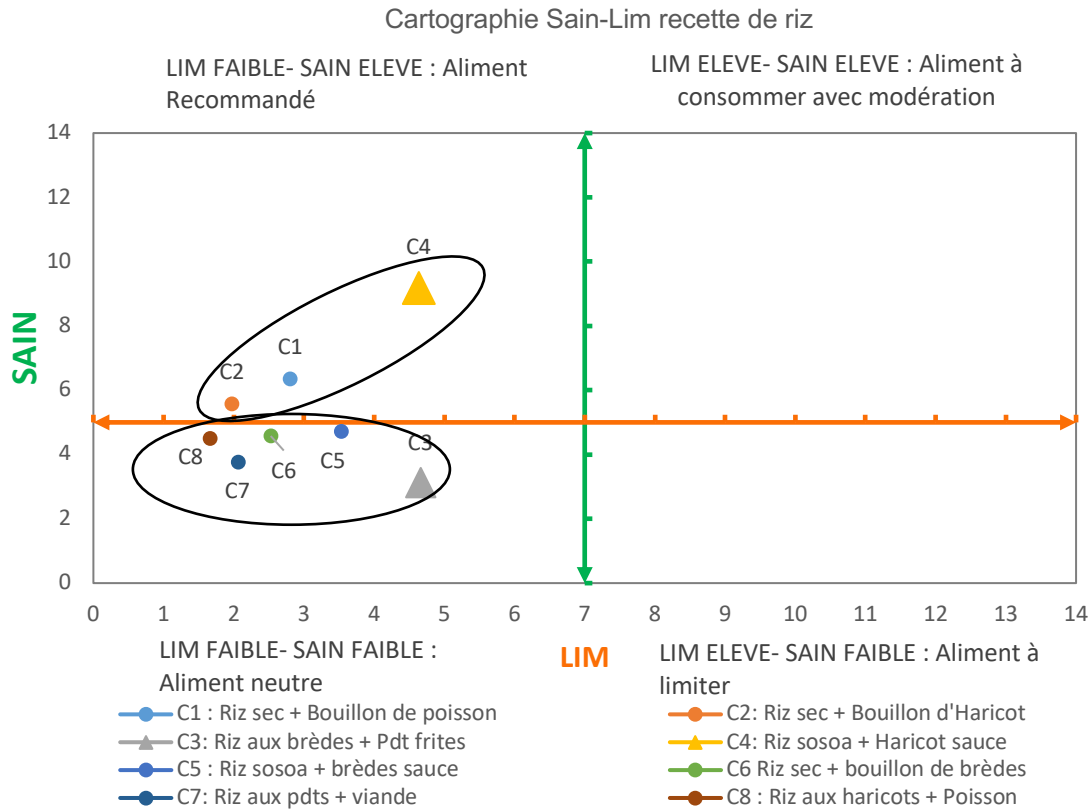


Figure 13: Cartographie SAIN-LIM des huit combinaisons de recette à base de riz pluvial

Dans la figure 14, il est observé que les recettes riz sosoa et riz sec ont des scores faibles que ce soit la LIM ou le SAIN (LIM 0.8 et SAIN 1.4). Les seuls ingrédients impliqués dans ces recettes sont seulement de l'eau et du riz, ce qui implique que ce sont donc des aliments neutres sur les compositions en nutriments. Les recettes de riz plus complexes telles que le riz aux brèdes, le riz à la pomme de terre et le riz aux haricots ont des SAIN-LIM plus intéressants, mais demeurent encore dans les aliments neutres sachant que la quantité des autres ingrédients à part le riz est très faible dans ces recettes. Le score SAIN LIM maximale du riz est détenu par le riz aux haricots, notamment sur la protéine apportée par les légumineuses. Ce dernier point justifie le score SAIN élevé des recettes de haricot.

À propos des accompagnements, il est constaté que les recettes de version Bouillon sont les plus recommandées avec des scores SAIN élevés. Les Bouillons ont une faible quantité de sel et d'huile. Néanmoins les résultats précédents sur les caractéristiques de 100g de chaque plat montrent un déséquilibre sur la quantité de mets induisant à des déséquilibres dans la composition nutritionnelle de chaque aliment (*cf. figure 14*). Les recettes de versions sauce ont par contre avec un score LIM très élevée arrivant jusqu'à plus de 35. Cela s'explique par la quantité de sel et d'huile élevée sur une petite quantité de plat cuit.

### Cartographie SAIN LIM des recettes de met d'accompagnement

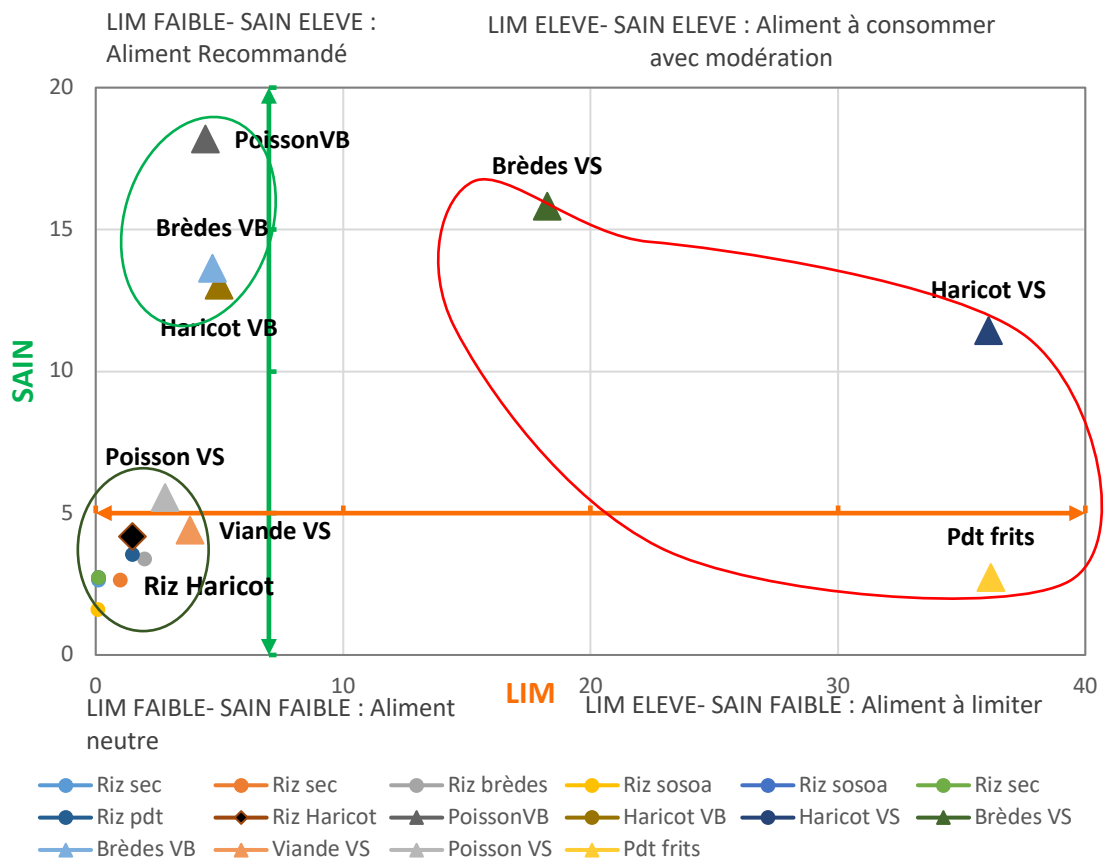


Figure 15: Cartographie SAIN-LIM des recettes individuelles de mets et de riz pluvial

## DISCUSSION ET RECOMMANDATIONS

### 1. Impact du type d’engrais sur la composition nutritionnelle du riz pluvial

Tous les engrais utilisés dans le cadre des expérimentations sont d’origine organique. La comparaison des effets des engrais est identifiée selon la teneur en micronutriments du grain de riz produit à partir des différents types de engrais organiques utilisés. Les teneurs en micronutriments du grain de riz traduisent sa composition nutritionnelle. Les résultats ont montré que la teneur maximale de tous les micronutriments analysés appartient aux grains de riz produits à partir du lombricompost depuis 7 ans, le fumier depuis 7 ans et de l’inoculation de vers de terre + cendre de balle de riz et lisier de porc.

L’apport de matière organique, entre autres le lombricompost et le fumier dans le long terme, améliore la teneur en nutriments assimilables dans le sol par accumulation de ces nutriments. Cela se produit notamment par la décomposition de la matière organique et en favorisant l’agrégation du sol et son aération ainsi qu’à l’amélioration du développement racinaire (Chander *et al.*, 2013 ; Hagh *et al.* 2016 ; Chaudhary *et al.*, 2017 ; Kumawat *et al.*, 2022), ce qui est proportionnel à l’augmentation du rendement et la quantité de micronutriments contenus dans le grain de riz (Shivay & Prazad, 2012 ; Nayak *et al.*, 2017 ; Kovakic *et al.*, 2022 ; Kumar *et al.*, 2022 ; Gu *et al.*, 2022 ; Kumawat *et al.*, 2023). Ce mécanisme qui s’effectue en améliorant l’humidité et la capacité de rétention d’eau du sol et ainsi favorise l’absorption des éléments par la libération de cations solubles dans la solution du sol (Srinivasarao *et al.*, 2018 ; Meena *et al.*, 2020 ; Yadav *et al.*, 2021 ; Oyege & Bhaskar, 2023). Concernant l’effet bénéfique des vers de terre sur le sol, il est possible que l’activité des vers de terre en lien avec la teneur en micronutriments dans les grains de riz se fasse grâce à sa capacité à accélérer la dégradation des matières organiques et rendre les éléments nutritifs assimilables pour la plante par la minéralisation (Bernard *et al.*, 2011 ; Song *et al.*, 2020 ; Ratsiatosika *et al.*, 2021) ainsi que la stimulation du développement racinaire (Ratsiatosika 2018 ; Ratiatosika *et al.*, 2021). Il a été démontré que les vers de terre présentent une très bonne assimilation des matières organiques (Lavelle *et al.*, 1987) et assurent la libération des éléments nutritifs en améliorant également la rétention d’eau dans le sol et l’agrégation et en stimulant les activités microbiennes (Van Groenigen *et al.*, 2019 ; Ratsiatosika *et al.*, 2021).

Les teneurs en N, P, K dans le lombricompost sont élevés et de nombreuses recherches ont prouvé le lien entre la quantité de nutriments dans le sol et la quantité de micronutriments dans la plante et spécialement dans les grains de riz (Kovakic *et al.*, 2022 ; Kumawat *et al.*, 2023). La teneur en éléments des engrais à base de lombricompost utilisés dans les expérimentations avait déjà des teneurs en P et K élevées par rapport aux autres engrais utilisés. L’inoculation de vers de terre accroît également la teneur en ces éléments, surtout le phosphore selon Trap *et al.* (2021) et Ratsiatosika *et al.* (2021).

## 1.1. Protéines

La teneur en protéines dans le riz est un des paramètres utilisables pour définir sa qualité nutritionnelle (Kumawat *et al.*, 2023). La teneur moyenne en protéines du riz analysé dans le cadre de cette étude est de 8,9% avec une variation allant de 7,9 à 10,14 % ce qui est similaire aux résultats de Supradip *et al.* (2007) de 7,5 à 8,89 % dans le cadre d'une comparaison de l'effet de différents composts, du fumier et des fertilisants organiques sur la composition nutritionnelle du riz (Kumawat *et al.*, 2023). Cependant, les résultats de la présente étude ont montré que plusieurs grains de riz produits à partir de lombricompost et de l'inoculation de vers de terre ont eu des teneurs en protéine supérieure à 9% (L2, L3, L7 et V1). Plus particulièrement la teneur maximale est de 10,33% avec une différence de 2% en plus. Cette différence peut résulter de l'utilisation du lombricompost sur le long terme à savoir l'utilisation de matière organique (Kumawat *et al.*, 2023), sachant que cette teneur maximale appartient au lombricompost de 7 ans. Cette teneur supérieure à 10% dépasse de 400  $\mu\text{g}\cdot 100\text{g}^{-1}$  la teneur en protéine du riz produit à partir de l'inoculation de vers de terre+ cendre+ lisier de porc. Ces valeurs sont également identiques aux teneurs en protéines du riz produit à partir du lombricompost (10,33%) et de l'inoculation de vers de terre (10,14%) dans l'étude effectuée par Hagh *et al.* en 2016. Des études montrent que la teneur en protéines dans le riz est en relation avec la présence de l'azote disponible dans le sol durant la période critique de croissance et de développement de la plante (Wang *et al.*, 2007 ; Gu *et al.*, 2015 ; Dhillon *et al.*, 2018 ; Dhaliwal *et al.*, 2019 ; Kumawat *et al.*, 2023). Cela s'explique par l'accroissement de la teneur en azote assimilable et la translocation de l'azote dans la plante conduisant à la transformation des photosynthétats en protéine (Aulakh *et al.*, 2016 ; Meena *et al.*, 2022). En effet, l'étude de Chattopadhyay *et al.* (2016) a démontré ce mécanisme dans l'usage de fertilisants azotés qui a donné des résultats supérieurs au fertilisant organique sur la teneur en protéines et en vitamine du riz, car la libération d'azote assimilable dans les productions utilisant les fertilisants organiques est plus lente. Cela sous-entend que le lombricompost augmente l'azote disponible pour la plante. En confirmation, Puli *et al.* (2016) et Kumar *et al.* (2022) ont effectué des études sur la teneur en micronutriments des plantes sous l'effet de plusieurs composts. Ils ont trouvé la valeur maximale sur la teneur de tous les micronutriments, y compris l'azote dans le lombricompost montrant que la quantité d'azote dans le grain issu du lombricompost est plus élevée de 74% selon Puli *et al.* (2016).

Enfin, Rao *et al.* (2006) ont affirmé que l'apport constant de matière organique augmente la quantité d'azote dans le sol et son assimilation et entraîne une teneur plus élevée en protéines. Il est ainsi admis que le lombricompost sur le long terme contient un taux d'azote élevé induisant une teneur en protéines plus élevée dans le riz produit à partir du lombricompost de 7 ans.



## 1.2. Phosphore

Les résultats sur la teneur en phosphore du riz ont montré que les teneurs en phosphore les plus élevées appartiennent au riz pluvial produit à partir du lombricompost à savoir le lombricompost de 7 ans, le lombricompost de 2 ans, l'inoculation de vers de terre+ cendre de balle de riz+ lisier de porc. La teneur moyenne en phosphore des riz analysés varie de 200 à 309 mg.100g<sup>-1</sup>, ce qui est inférieur à la teneur en phosphore du riz de l'étude de Supradip *et al.* (2007). Le phosphore est un élément très important et en quantité importante dans le riz. Il est donc fortement conditionné par le type de fertilisant utilisé et la quantité de fertilisant appliquée, car les fertilisants phosphatés non organiques donnent des grains de riz plus riches en phosphore (Wang, *et al.*, 2007 ; Supradip *et al.*, 2007). En revanche, le lombricompost est spécialement riche en phosphore, ce qui le rend intéressé dans les sols ferrallitiques (Trap *et al.*, 2021, Ratsiatosika *et al.* 2021). Le taux de phosphore du lombricompost utilisé dans les expérimentations est élevé par rapport à la teneur en phosphore des autres fertilisants utilisés (*cf. Annexe 1.2*). Le lombricompost a donc conduit à une teneur élevée en phosphore par rapport à la moyenne et par rapport aux teneurs des autres types d'engrais. Puli *et al.* (2016) ont trouvé le même résultat en utilisant un lombricompost dont le taux de phosphore est de 0,42% et celui du fumier 0,20%. Le lombricompost de 7 ans a donné la teneur en phosphore la plus élevée dans le riz, car il a été démontré que l'ajout de matière organique sur le long terme induit une meilleure prolifération de la racine et améliore l'absorption en quantité de phosphore ou d'autres nutriments dans le grain de riz (Pooniya and Shivay, 2015 ; Singh and Shivay, 2016; Yadav *et al.*, 2018 ; Ratsiatosika *et al.*,2021; Didawat *et al.*, 2022).

Ensuite, le riz issu du traitement d'inoculation de vers de terre+ cendre de balle de riz + Lisier de porc a également un teneur en phosphore élevé. Les vers de terre permettent de libérer des nutriments en décomposant les matières organiques (Kovakic *et al.*, 2022). La décomposition de la matière organique libère des acides organiques qui peuvent accroître la quantité de phosphore inorganique dans le sol et augmente progressivement le taux de phosphore dans le sol et dans le grain de riz (Van Groenigen *et al.* 2019 ; Zhao *et al.*, 2020 ; Sengupta *et al.* 2020 ; Ratsiatosika *et al.*, 2021). Le phosphore assimilable augmente au fur et à mesure de cette libération ce qui induit à une teneur plus élevée à travers ces deux traitements et cela a été confirmé par Zhao *et al.*, (2020).

## 1.3. Minéraux et vitamine B1

- Les résultats ont montré une différence significative de l'effet des fertilisants sur la teneur en Fe, Al et Zn du grain de riz. Le lombricompost de 7 ans montre les teneurs en Fe et en Zinc les plus élevées avec des valeurs respectives de  $2,44 \pm 1,89$  et  $1,89 \pm 1,40$ . Le lombricompost est connu pour accroître la quantité de zinc et de fer dans les grains de riz (Sengupta *et al.*, 2020). La teneur de ces minéraux dans les grains de riz est faiblement influencée par le fertilisant utilisé (Sengupta *et al.* 2020). La variation

du fer est de 1,02 à 4,77 mg 100 g<sup>-1</sup>, celle du zinc est de 2,1 à 3,5 mg 100 g<sup>-1</sup> et celui du cuivre de 0,4 à 0,5 mg 100 g<sup>-1</sup>. Ces valeurs correspondent aux teneurs de Fe, Zn et Cu d'Oyazici & Turan (2021). Les résultats de Kumawat *et al.* (2023) ont également montré une différence de 11,9 à 74% sur la teneur en zinc et en fer des grains de riz produits à partir des lombricomposts. Oyazici & Turan (2021) ont renforcé que cette variation dépend de la teneur en minéraux du fertilisant et cela a également été confirmé par Kumar *et al.*, (2021). Le lombricompost pourrait également influencer la teneur en Zn, Fe et Cu dans les grains de riz en libérant des minéraux et en favorisant leur absorption par la libération de phytohormones (Hagh *et al.*, 2016). Ce mécanisme s'explique par le fait que le lombricompost et l'inoculation de vers de terre augmentent le pH et favorisent l'absorption de ces micronutriments (Bressoud & Pares, 2010 ; Strestha *et al.* 2020), Al-Maamori *et al.*, 2023).

- L'effet de chaque fertilisant utilisé est non significatif sur les éléments comme le magnésium, le calcium, le potassium, et la vitamine B1 avec respectivement des variations de 30 à 108 mg 100 g<sup>-1</sup>, 5 à 12 mg 100 g<sup>-1</sup> sur Ca et 110 à 160 mg 100 g<sup>-1</sup> sur K et de 1 à 4 µg 100 g<sup>-1</sup> sur la vitamine B1. Ces valeurs sont cependant supérieures aux valeurs trouvées par Supradip *et al.* (2007) sur la mesure de l'impact de plusieurs types de composts et de matières organiques sur la composition nutritionnelle du riz. La variation des minéraux est de 2390 à 2600 µg g<sup>-1</sup> dans le cas du potassium. Kumawat *et al.*, 2023 ont avancé que cette différence de teneur en potassium du grain de riz est de 31 à 79 % sur le lombricompost. Le potassium, le calcium, et le magnésium du sol sont en relation avec la présence de l'azote et du phosphore du sol (Strestha *et al.* 2020). La teneur de ces derniers dans le sol augmente en fonction de la libération d'éléments par dégradation des matières organiques (Kumawat *et al.*, 2023 ; Zhao *et al.*, 2020). D'une part, ce mécanisme se produit par solubilisation des phosphates inorganiques dans le sol par les acides organiques lors de la décomposition des matières organiques (Nima *et al.*, 2020; Yadav *et al.*, 2021) et d'autre part, par l'enrichissement de la solution du sol, augmente la libération de ces éléments nutritifs pour qu'ils soient disponibles pour les plantes (Nagar *et al.*, 2016; Kumawat *et al.*, 2022). Également, le lombricompost et le fertilisant organique à long terme créent des conditions favorables pour l'absorption des éléments nutritifs par la plante en ajustant le pH (Kumawat *et al.*, 2023). La libération des acides organiques lors de la dégradation stimule la solubilisation et la mobilisation de Mg, Ca et K (Li *et al.*, 2019). Cela explique la performance du lombricompost à long terme (7 ans) sur les quantités de minéraux dans les grains de riz.

Dans cette étude la majorité des échantillons de riz ayant des teneurs en nutriment élevées ont été produits à partir de L7 (Lombricompost de 7ans) puis V1 (inoculation de vers de terre). Cependant, la variation n'est pas significative sur certains micronutriments.

L'Hypothèse 1 stipulant que : « l'utilisation des lombricompost et l'inoculation de vers de terre sur le riz pluvial augmentent la teneur en micronutriments (minéraux et vitamines) du riz pluvial » est donc partiellement vérifiée.

## **2. Impact du polissage sur la teneur en micronutriment du riz**

### **2.1. Perte de nutriment du riz cargo vers le riz poli**

Le taux de polissage du riz est un facteur qui varie selon les préférences et visuellement, elle s'apprécie par la couleur du riz. Pour le cas du *Chhomrong Dhan*, dans la commune d'Imerintsiatosika, le taux de décorticage moyen a donné du riz de couleur rose (cf. *Annexe 22*) avec un degré de polissage de 20 à 30%. Or, Goyon & Mestres (2017) ont stipulé que le riz cargo ou le riz partiellement ont des couleurs qui se rapprochent visuellement. Cependant, lors de la comparaison des valeurs nutritionnelles, la teneur en micronutriment du riz cargo a été significativement supérieure à celui du riz obtenu. Le degré de polissage du riz pluvial d'Imerintsiatosika se situe entre le riz cargo et le riz blanc avec une couleur rose pendant 23 s de temps de polissage. L'obtention de riz avec un degré de polissage de 10 à 20 % nécessite 10 à 20 s de polissage selon Lambert *et al.*, 2008 ; Hansen *et al.*, 2012 ; Chattopadhyay *et al.*, 2016 ; Supradip, *et al.*, 2008 ; Ren *et al.*, 2021 ; Zhao *et al.*, 2023). Cela précise également le type de nutriments perdu au cours du processus (Champagne *et al.* 2004 ; Goyon & Mestres, 2017 ; Hansen *et al.*, 2012).

La teneur en protéines moyennes du riz cargo et du riz poli est la seule qui n'a pas significativement changé lors du processus de polissage avec 5 % de perte seulement. Cette perte en protéines dépend de la distribution des protéines dans le grain de riz et la part de protéine du riz se trouve surtout l'enveloppe externe du riz cargo à savoir le son et l'embryon (Ram *et al.* 2020). En effet, c'est différent des résultats obtenus dans de nombreuses recherches qui affirment que la perte en protéines au cours du polissage est de 40 % (Khang *et al.* 2018 ; Liang *et al.*, 2008 ; Zhou *et al.*, 2023). Néanmoins, Zhao *et al.* (2023) ont effectué des essais de polissage et ils ont trouvé que par rapport à tous les éléments, la perte en protéine est inférieure à 12% (Liu *et al.*, 2022). La teneur en protéines du son et de la couche d'aleurone est 20 fois plus élevée que celle de l'endosperme. Le taux le plus élevé se trouve dans l'embryon avec un taux de 17 à 27% de la protéine du riz contre 13% dans l'aleurone et 5-9% dans la subaleurone péricarpe (Champagne *et al.*, 2004 ; Lambert *et al.*, 2007 ; Khang *et al.*, 2018). Rappelons que la couche à aleurone est une monocouche cellulaire enveloppant l'endosperme et riche en protéine (Champagne *et al.*, 2004, Ram *et a.*, 2020). Cependant, l'endosperme contient tout de même 57% des protéines totales (Lambert *et al.*, 2007). Le polissage pratiqué dans la présente étude n'a enlevé qu'une partie du son et de la couche d'aleurone. Il correspond à un degré de polissage moyen de 15 % (Lambert *et al.*, 2005 ; Khang *et al.*, 2018 ; Shin *et al.*, 2021). Le polissage effectué n'a donc enlevé que le son et une partie de l'aleurone expliquant cette faible perte (Champagne *et al.*, 2004).

Concernant la variation des teneurs en Zn et en Cu, le degré de polissage a varié faiblement leur teneur avec respectivement 9,99% et 10,64 % de perte selon les analyses statistiques. Comme les protéines du riz, les minéraux et les composantes bioactives du riz se trouvent en quantité dans le son et la balle (Ram *et al.*, 2020). Le Zn est un des minéraux les plus importants du grain de riz (Yu *et al.*, 2021 ; Muthayya *et al.*, 2012 ; Oyagami *et al.*, 2008 ; Chattopadhyay *et al.*, 2016 ; Champagne *et al.*, 2004) et plusieurs études ont montré que le zinc et le cuivre ne varient pas vraiment suivant le degré de polissage (Oyagami *et al.*, 2008 ; Chattopadhyay *et al.*, 2016., Ram *et al.*, 2020). Avec un polissage plus poussé, cette variation demeure faible. La répartition du zinc n'est pas réellement définie selon les différentes parties du riz (Oyagami *et al.*, 2008 ; Graves *et al.*, 2009 ; Roy *et al.*, 2011). Néanmoins, cela suggère une distribution plus uniforme du Zn et du Cu selon les différentes fractions du riz. Ram *et al.*, 2020 a confirmé cela en analysant la fraction de Zn dans le riz cargo. Le résultat des travaux a montré que les couches externes du riz comportent dans les 12% de Zn et ce pourcentage de perte diminue si la couche d'aleurone autour de l'endosperme est intacte.

La présente étude montre que la teneur du reste des micronutriments analysés a des différences significatives selon le riz cargo et le riz décortiqué à savoir le Fe, Ca, Mg, Cu, P, K et la vitamine B1 avec respectivement des pourcentages de perte 34,35%, 26,71%, 30,89%, 34,30%, 25,45%, 25,50%, 28,46%. Ces résultats sont inférieurs à ceux de Mutthaya *et al.*, (2012) et de Zhao *et al.* (2023) qui ont trouvé des pertes de nutriments de plus de 50 % après polissage avec un degré de polissage + 30 %. Plusieurs travaux ont trouvé des proportions importantes de ces minéraux dans les balles et le son de riz avec des concentrations plus élevés en comparaison du Zinc (Welch, 2002).

La teneur en minéraux, cette variation dépend de la répartition des nutriments depuis l'extérieur vers l'intérieur de la graine et de l'effet du polissage (Lambert *et al.*, 2008 ; Oyagami, 2008). Des approches moléculaires ont démontré les mécanismes qui engendrent ce fait. Selon ces travaux, la couche la plus externe du riz blanc agit comme une barrière au transport des minéraux vers l'endosperme (Prom-U-Thai *et al.*, 2008, Ram *et al.*, 2020)

En ce qui concerne la vitamine B1, la teneur moyenne du riz cargo est de 3,66% et après un degré de polissage de 15 % en moyenne, la teneur en vitamine B1 est diminuée à 28%. Mutthaya *et al.*, (2012) a trouvé une perte de 40% de la vitamine B1 avec un polissage à 30%. Le riz cargo contient six fois plus de Vitamine B1 par rapport au riz intégralement poli (Ram *et al.*, 2020). Le riz poli est déficient en Thiamine B1 par rapport au riz cargo, car la distribution de la vitamine B1 se trouve dans le riz cargo l'enveloppe du riz cargo (Liu *et al.*, 2002), (2022) (Hamid & Tanweer, 2022). Plus précisément elle se trouve en grande partie dans le scutellum<sup>6</sup> et l'aleurone avec les pourcentages respectifs de 62 % et 32% (Hinter, 2008). Le polissage

---

<sup>6</sup> Tissu se trouvant dans le son, servant à absorber les éléments nutritifs de l'endosperme lors de la germination (cf. Annexe 2,3)

enlève 14 à 29% de la vitamine B1(Liu *et al.*, 2022 ; Mutthaya *et al.*, 2012 ; Hamid & Tanweer, 2022). La présence de cette vitamine est liée à une protéine spécifique promoteur du Vitamine B1. Ce promoteur stimule la production 5 fois plus que la teneur du Vitamine B1 dans la graine. En effet, l'endosperme a une faible capacité de produire et de stocker la vitamine B1 (Ram *et al.*, 2020).

## 2.2. Degré de polissage selon le type de fertilisant et variation des micronutriments

Les tests sur les degrés de polissage associé aux types de fertilisant dans le cadre de cette étude ont montré que les degrés de polissage de plus de 30% ne correspondent qu'au traitement lombricompost de 7 ans et une partie du fumier de 7 ans. De plus, les combinaisons de fertilisant contenant du lombricompost ont également un degré de polissage élevé de 20 à 30%. Cela suggère que le riz produit à partir du lombricompost a un pourcentage de perte plus élevé au cours de la durée de 23 s de polissage. Kumawat *et al.* (2023) et Pradhan *et al.* (2022) ont trouvé que le lombricompost fortifie le grain de riz en comparaison avec l'effet d'autres fertilisants d'origine organique. La concentration en azote augmente la qualité physique notamment la force de la graine en augmentant sa teneur en protéine (Peng *et al.*, 2021 ; Chattopadhyay *et al.*, 2016 ; Zhang *et al.*, 2015 ; Kumawat *et al.*, 2023 ; Pooniya & Shivay, 2015). La teneur en phosphore et en potassium élevés dans la graine peu également durcir le grain et engendrer un taux de brisure élevé (Chattopadhyay *et al.*, 2016). Le lombricompost et l'utilisation de vers de terre augmentent le taux de phosphore du sol (Kumawat *et al.*, 2023). Le pourcentage de perte élevé dans le cas du riz produit à partir du lombricompost peut donc résulter de ces taux de brisures élevés.

Contrairement au riz produit à partir du lombricompost, le riz produit à partir de l'inoculation de vers de terre a produit un riz plus résistant au polissage avec un degré de polissage inférieur à 20 %. L'inoculation de vers de terre augmente la capacité de minéralisation du sol et rend les nutriments nécessaires aux plantes assimilables, notamment l'azote (Sengupta *et al.*, 2020). Cela permet au riz produit à partir de l'inoculation de vers de terre d'avoir une résistance par rapport au polissage et évite les brisures des grains selon une teneur en protéine plus élevée et avec un taux de phosphore et de potassium significativement inférieur à celui des riz produit à partir du lombricompost (Kumawat *et al.*, 2023). Néanmoins, la dureté du grain et ces comportements par rapport au polissage varient selon plusieurs facteurs, à savoir le type de fertilisation appliquée, mais aussi, de la fertilité naturelle du sol des conditions climatiques et environnementales. Étant donné que les riz ont été produits et collectés selon plusieurs endroits, ces facteurs ont pu influencés leurs comportements au polissage (Dobermann & Fairhurst, 2000, Haefele *et al.*, 2022).

Par rapport à ces différences de degré de polissage selon le type de fertilisant, le riz produit à partir de lombricompost a une teneur en nutriments plus élevée avec un degré de polissage élevé par rapport aux grains de riz produits à partir de l'inoculation de vers de terre. Il s'agit

alors de fertilisant avec une grande capacité d'enrichissement du sol qui permet à la plante d'obtenir des grains riches en nutriments. Sans les essais sur plusieurs types de polissage, il aurait été impossible de voir la perte de nutriments du lombricompost. Pour apporter plus de précision néanmoins, il serait intéressant d'effectuer des essais de plusieurs degrés de polissage sur tous les types de riz.

Le passage du riz cargo vers le riz décortiqué a montré des pertes de nutriments sur tous les riz analysés, à savoir sur les riz produits à partir des fertilisants innovants. Les degrés de polissage des riz produits à partir du lombricompost sont élevés. L'impact du polissage n'a pu être précisément mesuré. Cependant l'hypothèse 2 stipulante que : « **le polissage du riz produit à partir des fertilisations innovantes a un impact plus faible sur sa composition nutritionnelle** » est rejetée.

### **3. Qualité de l'alimentation des habitants de la zone d'étude**

**« La consommation en grande quantité de riz ne pourra pas être plus intéressante que d'avoir un plat équilibré en termes de proportions »**

#### **3.1. Diversité alimentaire**

Dans le cadre de cette présente étude, il a été constaté, par le biais d'enquêtes, qu'en général, l'alimentation des personnes dans la zone est assez diversifiée. Contrairement à cette information, les recherches sur la diversité des aliments à Madagascar et dans les pays africains ont montré des scores de diversité faibles (FAO, 2005 ; Ravaoarisoa *et al.*, 2018 ; Rabéfarihy *et al.*, 2021 ; FAO, 2022 ; Global Diet Quality Project, 2022). Cette différence de résultats est due à la limite du DQQ (Diet Quality questionnaire) ; étant réalisée en période de récolte, l'enquête s'est déroulée dans une période où beaucoup de fruits et légumes étaient disponibles dans la zone. Ravaoarisoa *et al.* (2018) ont bien démontré dans le cas d'une étude à Amoron'i Mania que la disponibilité alimentaire à Madagascar est différente pendant les 2 saisons d'une année. La disponibilité de ces aliments en quantité diminue progressivement et dépend de la région (FAO, 2005). La province d'Antananarivo a un profil alimentaire plus riche par rapport à d'autres (Rabefarihy *et al.* 2021).

#### **3.2. Caractéristiques des combinaisons de recettes à base riz**

La présente étude a démontré que le riz domine effectivement les plats consommés par les paysans d'Imerintsiatosika à une proportion moyenne de 70 % du plat. En termes de quantité, les plats à base de riz consommés varient de 500 à 800 g de plats cuits par personne donnant 700 à 800 Kcal par plat.

Par rapport à la recommandation alimentaire pour la santé de l'OMS, cet apport calorique est judicieux. Néanmoins en termes d'équilibre, les combinaisons de plats à base de riz ne permettent pas de respecter es recommandations en apports en macro- et micronutriments. Les ingrédients utilisés dans les mets d'accompagnement sont assez intéressants et s'ajoutent au

profil nutritionnel du riz. Mais au lieu d'avoir une répartition plus équitable, les mets d'accompagnement sont trop riches en sel et en huile, seulement une petite quantité suffit à une grande quantité de riz. En termes de proportion, la prédominance du riz évite la forte consommation des mets qui font presque toute partie des catégories d'aliment à limiter.

En termes de profil SAIN-LIM, 6 combinaisons sur 8 ont des profils nutritionnels neutres pour la santé. Cela est dû au déséquilibre des plats, car vu séparément, seulement les recettes de riz demeurent des plats neutres et les mets d'accompagnement varient selon les versions. De ce fait, trois recettes ont été recommandées pour la santé à savoir le riz+ bouillon de haricot, riz+ bouillon de poisson et le riz+ haricot version sauce, car la teneur en protéine dans ces éléments est élevée. Les mets d'accompagnements de types bouillon ont de bons scores SAIN et sont recommandés pour la santé. Les mets d'accompagnement version sauce par contre sont très riches en sel et en huile et sont à limiter. En combinaison, ces scores sont affaiblis et donnent des plats neutres.

Ces analyses ont montré la dominance du riz dans les plats consommés et cela justifie encore plus l'intérêt de l'enrichissement du riz pluvial à travers le lombricompost et l'inoculation de vers de terre. Pourtant, le riz produit à partir des fertilisants innovants reste un aliment neutre. Le riz n'apporte pas tous les nutriments nécessaires dans les plats pour que les plats soient bénéfiques en termes de santé. Cela met en avant l'importance du rééquilibrage des proportions alimentaires des plats à base de riz pour améliorer le profil nutritionnel des plats malagasy. De ce fait, l'Hypothèse 3 : « **l'amélioration nutritionnelle du riz pourrait influencer la qualité nutritionnelle des plats à base de riz** » n'est pas vérifiée

#### **4. Limites de l'étude et recommandations**

L'objectif principal de cette étude était de mesurer les effets du lombricompost, ou de l'inoculation de vers de terre sur la composition nutritionnelle du riz pluvial dans le but d'estimer son impact sur les valeurs nutritionnelles en particulier dans les régions où le riz est un aliment de base. Ayant effectué des expérimentations sur les pratiques paysannes, la co-construction des formules de fertilisants n'a pas permis d'effectuer des répétitions claires pour pouvoir mesurer plus précisément les effets des types de fertilisant utilisés. Une expérimentation contrôlée aurait pu aider à maîtriser d'autres facteurs pouvant biaiser les résultats à savoir la dose de fertilisant. La réalisation d'une expérimentation plus contrôlée rendrait également possible le choix des fertilisations à comparer pour avoir des modalités plus uniformes.

Le suivi de pratiques paysannes a eu des problèmes sur la collecte des riz à décortiquer et à utiliser durant les suivis des recettes. Certaines parcelles ont eu des rendements très faibles, rendant impossibles les suivis de recette et de décorticage tandis que d'autres personnes ont consommé le riz avant les activités. Afin de contrôler tous les facteurs pouvant influencer le

rendement, et appliquer les mêmes traitements sur le riz pluvial, il est donc proposé d'effectuer l'expérimentation dans les parcelles du LRI.

La notion de variété peut également influencer l'effet des fertilisations sur la composition nutritionnelle et les préférences des paysans par rapport aux propriétés alimentaires du riz (Liu *et al.*, 2022).

En ce qui concerne le polissage, il a été constaté dans la présente étude que le degré de polissage varie selon le type de fertilisations utilisées. Il a été prouvé que cette variation a un lien avec le type de nutriments qui forme le grain de riz et qui affecte la dureté du grain et le rend sensible au polissage. Le temps de polissage de référence de cette étude a été fixé à 23 s, ce qui a donné les riz avec des degrés de polissage très variables et rendant impossible la comparaison justifiée des effets des types de fertilisant utilisés. Cependant, dans une autre investigation, il serait possible de s'intéresser à plusieurs échelles de polissage et voir par type de fertilisant la perte de nutriments selon des taux de polissages différents. Il est également possible de s'intéresser à l'utilisation du riz cargo dans une optique de transformation en farine de riz complet.

Enfin, étant donnée la durée limitée des périodes de descente sur terrain, il a été impossible de réaliser plusieurs enquêtes DQQ et surtout compte tenu de la disponibilité des personnes, l'enquête a été majoritairement effectuée après la récolte. Néanmoins, afin d'avoir la représentativité de l'enquête alimentaire DQQ, il faut effectuer des enquêtes en deux saisons différentes pour apprécier la différence entre la diversité des aliments consommés en période de soudure et en période de récolte.



## CONCLUSION

Pour conclure, l'amélioration de la composition nutritionnelle du riz pluvial dans le cas d'un pays comme Madagascar est un objectif intéressant dans la lutte contre l'insécurité alimentaire. Dans cette optique, l'amélioration de la composition nutritionnelle du riz pluvial en utilisant les fertilisations innovantes : lombricompost et inoculation de vers de terre, a été proposée et l'objectif fixé pour cette étude était de mesurer les effets du lombricompost sur la composition nutritionnelle du riz pluvial, dans le but d'estimer son impact sur les valeurs nutritionnelles des aliments à base de riz pluvial. L'étude a montré des résultats intéressants et des pistes d'analyse exploitables sur la capacité du lombricompost et de l'inoculation des vers de terre à accroître les compositions en micronutriments du riz pluvial quoiqu'elle fût encore exploratoire.

Ces résultats ont montré que pour plusieurs nutriments, le lombricompost sur le long terme (7 ans) détient les teneurs les plus élevées sur les riz cargo et après polissage. L'inoculation de vers de terre a également eu des teneurs élevées pour certains nutriments même si la différence est non significative. En effet, ces deux types de fertilisant permettent d'enrichir le sol en éléments nutritifs assimilables qui est un point influençant la teneur en micronutriments des grains de riz. La teneur en micronutriments du grain de riz influence également sa dureté et conditionne le degré de polissage qui est un facteur influençant significativement la teneur en micronutriments du riz pluvial, car seul le lombricompost de 7 ans a également un degré de polissage très élevé. En outre, l'impact de cette augmentation des teneurs en minéraux et en nutriments du riz pluvial sur les plats à base de riz n'améliore pas leur valeur nutritionnelle même si le riz domine 70% de la proportion du plat, étant donné que malgré l'amélioration de ses micronutriments, le riz demeure un aliment neutre sur son impact sur la santé humaine.

De ce fait, cette étude a prouvé qu'effectivement, l'apport de lombricompost et de vers de terre a un impact positif sur la composition nutritionnelle du riz. Cependant, ces effets ne sont pas significatifs et les réels impacts du polissage n'ont pas été prouvés. Surtout, il est prouvé que le lombricompost et l'inoculation des vers de terre ont plus ces potentiels sur les micronutriments des grains de riz sur le long terme.

Enfin, des études plus poussées sont encore à prévoir afin d'élucider les réelles compositions nutritionnelles du grain de riz produits à partir des matières fertilisantes innovantes suivant une échelle de polissage différente. D'autant plus qu'en tant que fertilisations innovantes, les études approfondies sur la potentialité du lombricompost et de l'inoculation de vers de terre sur la composition en nutriments des plantes sont encore très rares.

## BIBLIOGRAPHIE

- Al-Maamori A. H., Salman A., Al-Budeiri M., Ajib Y., Al-Shami O., Al-Shaabani E. M. (2023). Effect of vermicompost production on some soil properties and nutrients in plants. CAEF. (1-8. 1p)
- Ali M.Y, Sina A.A.I.S., Khandker S.S., Neesa L., Tanvie E. M., Kabir A., Khalil M.I., Gan S.H. (2020). Nutritional Composition and Bioactive Compounds in Tomatoes and Their Impact on Human Health and Disease: A Review from MDPI. National Library of Medicine
- ANSES, 2016. Faisabilité de la classification des aliments selon l’algorithme proposé par la FCD - Comparaison des résultats obtenus à ceux du système 5-C intégrant les ajustements du HCSP. Saisie « n°2015-SA-0253 algorithme SENS ». Paris.
- Aulakh, C. S., Kaur, P., Walia, S. S., Gill, R. S., Sharma, S., and Buttar, G. S. (2016). Productivity and quality of basmati rice (*oryza sativa*) in relation to nitrogen management. *Indian J. Agron.* 61 (4), 467–473.
- Bagchi T. B., Ghosh A., Kumar U., Chattopdhyay K., Sanghamitra., Ray S., Adak T., Sharma S., (2016). Comparison of nutritional and physicochemical quality of rice under Organic and Strandrad productions systems. *Sciende Direct.*
- Bernard, L.; Chapuis-Lardy, L.; Razafimbelo, T.; Razafindrakoto, M.; Pablo, A.-L.; Legname, E.; Poulain, J.; Brüls, T.; O’Donohue, M.; Brauman, A. (2011). Endogenic Earthworms Shape Bacterial Functional Communities and Effect Organic Matter Mineralization in a Tropical Soil.
- Blouin M., Barrere J., Meyer N., Lartigue S., Barot S., Mathieu J., 2019. The vermicompost significantly affects plant growth. À meta-analysis. *Agronomy for SustainableDevelopment.*
- Bognar H. (2002). Constituents for the calculation of nutrient composition of cooked foods (dishes). (EUROFIR).
- Bognar H. (2015). How to calculate nutrients of food. EUROFIR. 14p
- Bouthaina S. (2018). Cartographie du profil nutritionnel des chorbas consommées dans la région de Sizi Bouzid. *Tunis.* 1-67. 10p
- Bressoud & Pares (2010). Essai Matières organiques 2002-2010. INRA. Perpignan. 66p
- Champagne E.T., Wood D.F., Juliano B.O., Bechtel D.B. (2004). The rice grain and its gross composition. *American Association of Cereal Chemistry.* Chapter 4 (77-100p)

- Chander, G.; Wani, S.P.; Sahrawat, K.L.; Kamdi, P.J.; Pal, C.K.; Pal, D.K.; Mathur, T.P. (2013). Balanced and integrated nutrient management for enhanced and economic food.
- Charrondière R.U., Burlingame B., Berman S., Elmadfa I. (2011). Manuel d'étude sur la composition des aliments. FAO. Rome. 267p.
- Chaudhary, S., Dheri, G. S., and Brar, B. S. (2017). Long-term effects of NPK fertilizers and organic manures on carbon stabilization and management index under rice wheat cropping systems. *Soil Till. Res.* 166, 59–66p
- Couvreur A., Simonet C., Loisel J.P. (2000). Élaboration d'une table de composition nutritionnelle des aliments, vecteurs de glucides simples. Cahier de recherche, IRD, Crédoc.
- Dabat M.H., Pons B., Razafimandimby S.. (2008). Des consommateurs malgaches sensibles à la qualité du riz. *Économie rurale*.
- Darmon N., Rieux F., Maillot M., Volatier J. L., Martin A. (2009). Nutrient profiles discriminate between foods according to their contribution to nutritionally adequate diets: a validation study using linear programming and the SAIN-LIM system. *INFOODS*.
- Darmon N. (2015) . L'étiquetage nutritionnel : entre réglementations et controverses *Nutrition labelling: Between norms and controversies*. Elsevier.
- Darmon N., Maillot M., Darmon M., Martin A. (2020). Le SAIN et la LIM. Un système de profilage nutritionnel” pour orienter favorablement les choix des consommateurs. *HAL open science*. Marseille.
- De Man W. & Chartron S., (2014). The rice, this unrecognized cereal. Elsevier. *Science Direct*.
- Dhaliwal, S. S., Naresh, R. K., Mandal, A., Singh, R., and Dhaliwal, M. K. (2019b). Dynamics and transformations of micronutrients in agricultural soils as influenced by organic matter build-up: A Review. *Environ. Sustain. India*
- Dhillon, A. K., Sharma, N., Dosanjh, N. K., Goyal, M., and Mahajan, G. (2018). Variation in the nutritional quality of rice straw and grain in response to different nitrogen levels. *J. Plant Nutr.* 41 (15).
- Didawat, R. K., Sharma, V. K., Nath, D. J., Patra, A., Kumar, S., Biswas, D. R., Chobe K.A., Bandyopadhyay K.K., Trivedi A., Chopra I., dutta A., Mohapatra K.K. Ajin SA.. (2022). Soil biochemical properties and nutritional quality of rice cultivated in acidic inceptisols using long-term organic farming practices. *Arch. Agron. Soil Sci.* 1–16p

- Dobermann, A., Fairhurst, T., (2000). Rice: nutrient disorders & nutrient management. IRRI, Makati City, Philippines.
- EPASA (2019). Évaluation de la production agricole et de la sécurité alimentaire à Madagascar. PAM, FAO, MAEP.
- FAO (2005). Profil nutritionnel de Madagascar-Division de l'alimentation et de la nutrition. Madagascar.
- FAO (1993). Rice Human nutrition.
- Feinberg M., Favier J.C., Ireland-Ripert J.(1993). Tables de composition des aliments : réalisation. IRD
- Garruchet V., Bosc P.M., Mialet-Serra I. Isabelle Mialet-Serra (Cirad). (2023). L'Agriculture à Madagascar : Évolution, chiffres clés et défis. PRERAD, Cirad, République française, Afdi.
- Global diet Quality Project, GAIN, Harvard University. (2022). Measuring what the world eats : insights from a new approach.
- Golay C. (2010). Crise et sécurité alimentaires : vers un nouvel ordre alimentaire mondial ? OpenEdition.
- Graves A. M. ,Siebenmorgen T.J., Saleh M. (2009). A Comparative Study Between the µgill #2 Laboratory Mill and Commercial Milling Systems. Elsevier.
- Greenfield H.& South Gate D.A.T. (2007). Données sur la composition nutritionnelle des aliments : Production, Gestion et utilisation. FAO. INFOODS. Royaume-Uni. 5p. 301p.
- Gu, W., Wang, Y., Feng, Z., Wu, D., Zhang, H., Yuan, H., Sun Y., Xiu L., Chen W. Zhang W. (2022). Long-term effects of biochar applications with reduced chemical fertilizer on paddy soil properties and japonica rice production systems. *Front. Environ.*
- Gu, J., Chen, J., Chen, L., Wang, Z., Zhang, H., and Yang, J. (2015). Grain quality changes and responses to nitrogen fertilizer of japonica rice cultivars released in the yangtze river basin from the 1950s to 2000s. *Crop J.* 3 (4), 285–297.
- Haefele S.M., Thomas C.L., Saito K. (2022). Long-term fertility experiments for irrigated rice in the West African Sahel: effect on macro- and micronutrient concentrations in plant and soil. *Field Crop. Res.*;275p
- Hagh E.D., Mirshekari B., Ardakani M.R., Farahvash F., Rajali F. (2016). Maize biofortification and yield improvement through organic biochemical nutrient management. *IDESIA. Chli.* (37-46p)

- Hamid A., Tanweer A., (2022). A Comparative Study on Proximate and Micronutrient. ResearchGate
- Hansen T.H., Lombi E., Fitzgerald M., Laursen K.H., Frydenvang J., Husted S., Boualagraph C., Ressurreccion A., Howard D.L., Jonge M.D., Paterson D., Schiperring J.K. (2012). Losses of essential mineral nutrients by polishing of rice differ among genotypes due to contrasting grain hardness and mineral distribution. Elsevier.
- Herforth A., Arimond M., Alvarez-Sanchez C., Coates J., Christianson K., Muelhoff E.,(2019). A Global Review of Food-Based Dietary Guidelines. DQQ. Elsevier.
- Herinasandratra V. (2019). Interaction entre matières organiques, vers de terre et mycorhizes sur la croissance du riz pluvial. SECURE. UnivTana. 19p-35p.
- Hinton J.J.C. (2007). The Distribution of Vitamin B1 in the Rice Grain. Cambridge university Press
- Hiolle M. (2019). Impact de la structure des aliments sur la biodisponibilité des micronutriments. Université de Bretagne, Loire.
- Hornick S.B. (1992). Factors affecting the nutritional quality of crops. Cambridge university Press
- Hoover, L. W. (1994). A new recipe calculation model. 19th National Nutrient Databank Conference Proceedings. Saint-Louis, MO.
- JICA. (2020). Étude sur le potentiel pour une meilleure production et distribution de la filière riz. [https://openjicareport.jica.go.jp/pdf/12357786\\_01.pdf](https://openjicareport.jica.go.jp/pdf/12357786_01.pdf)
- Kovacic P., Simansky V., Somlen S., Neupauer J., Olsvaka K. (2022)./ The Effect of Vermicompost and Earthworms (*Eisenia fetida*) Application on Phytomass and Macroelement Concentration and Tetanic Ratio in Carrot. MDPI. (1-60p)
- Kumar S., Kamini K., Arivazhagan K. (2022). Impact of Inorganic, Organic and Biological Sources of Nutrients on Nutrient Content and Nutrient Uptake of Rice in an Inceptisol Soil of Tamil Nadu (Navarai Season). Research Square.
- Kumawat, A., Vishwakarma, A. K., Wanjari, R. H., Sharma, N. K., Yadav, D., Kumar, D., Biswas A.K (2022). Impact of levels of residue retention on soil properties under conservation agriculture in vertisols of central India. Arch. Agron. Soil Sci. 68 (3), 368–382p.
- Kumawat A., Kumar D., Shivay Y.S., Bnhatia A., Rashmi I., Yadav D., Kumar A. (2023). Long-term impact of biofertilization on soil health and nutritional quality of organic basmati rice in a typical ustchrept soil of India. India . Frontières, articles.

- Lamberts L., Els De Bie, Greet E. Vandeputte , Wim S. (2008). Effect of milling on color and nutritional properties of rice. Elsevier. ScienceDirect.
- Lavelle P., Barois I., Cruz I., Fragoso C., Hernandez A., Pineda A., Rangel P., 1987. Adaptive strategies of *Pontoscolex corethrurus* (Glossoscolecidae, Oligochaeta), a peregrine geophagous earthworm of the humid tropics. *Biology and Fertility of Soils*.
- Liu J., Wu Y., Chen H., An H., Liu Y., Xu J.(2022). The effect of the degree of milling on the microstructure and composition of japonica rice. Elsevier.
- Liu K., Cao X., Bai Q., Wen H., Gu z.,(2009). Relationships between physical properties of brown rice and degree of milling and loss of selenium. Elsevier.
- Liu J.L., Zheng J., Chen F. (2017). Relationships between degree of milling and loss of Vitamin B, minerals, and change in amino acid composition of brown rice. *Science Direct*. 429-436p
- Manyuchi M., Kadzungura L., Phiri A., Muredzi P., 2013. Effect of Vermicompost, Vermiwash and Application Time on Zea Mays Growth. *International Journal of Scientific Engineering and Technology*.
- Meena, A. L., Pandey, R. N., Kumar, D., Dotaniya, M. L., Sharma, V. K., Singh, G., Meena B.P, Kumar A., Bhanu C. (2020). Impact of 12-year-long rice-based organic farming on soil quality in terms of soil physical properties, available micronutrients and rice yield in A typical Ustochrept soil of India. *Commun. Soil Sci. Plant Anal*. 51p.
- Meena, R. K., Singh, Y. V., Shivay, Y. S., Kumar, D., Kumar, R., Ram, H., Ram M. (2022). Rice performance as influenced by crop establishment methods, green organic mulches and rates of nitrogen fertilization along with liquid azotobacter chroococcum. *J. Plant Nutr.*, 1–22p
- Mestres C. Goyon A.(2017). Le riz : Bénéfices et risques pour la santé. ResearchGate.
- Muller L., Ruffieux B. (2012). Modification des achats en réponse à l'apposition de différents logos d'évaluation nutritionnelle sur la face avant des emballages. *Cahiers de Nutrition et de Diététique*. Vol. 47, n° 4, p.
- Muthayya S., Hall J., Bagtriansky J., Sumimoto J., Gundry D., (2012). Rice Fortification: An Emerging Opportunity to Contribute to the Elimination of Vitamin and Mineral Deficiency Worldwide. ResearchGate.
- Nayak, R., Paikaray, R. K., Sahoo, T. R., Lal, M. K., and Kumar, A. (2017). Yield, quality and economics of basmati rice as influenced by different organic nutrient management practices. *Oryza* 54(1), 44–49p

- Nima, D., Aulakh, C. S., Sharma, S., and Kukal, S. S. (2020). Assessing soil quality under long-term organic vis-à-vis chemical farming after twelve years in north-western India. *J. Plant Nutr.* 44p.
- OMS, 2016. Obésité et surpoids. Centre des médias
- Ogiyama S., Tagami K., Uchida S. (2008). The concentration and distribution of essential elements in brown rice associated with the polishing rate: Use of ICP-AES and Micro-PIXE. Elsevier
- Oliveria V. F., Busanello C., Viana V. E., Stafen C. F., Pedrodo C., Paniz F. P., Pedrom T., Periera R.M., Rosa S. A., Magalha A.M, Oliveira A.C., Batista B.L. Pegoraro C. (2021). Impact de la structure des aliments sur la biodisponibilité des micronutriments. Elsevier
- Oyege & Bhaskar (2023). Effects of vermicompost on soil and plant health and promoting Sustainable Agriculture. MDPI. *Soils Systems* . 27p
- Ozyazici G. & Turan N. (2021). Effect of Vermicompost Application on Mineral Nutrient Composition of Grains of Buckwheat (*Fagopyrum esculentum* M.). MDPI.
- PAM (2019). La filière riz à Madagascar face à la fortification. AM, FAO, Union européenne
- Peng. M, Lan Y., Fan P., Yang Z., Sun Y., Zhang R., Ma J.,. (2021). Reasonable Nitrogen Fertilizer Management Improves Rice yield and Quality under Rapeseed/Wheat–Rice Rotation System.
- Petot G.J.. (1993). Yield factor and summation methods. 18<sup>th</sup> national nutrients Databank Conference Proceedings. Baston rouge. Los Angeles.
- PNIN (2021). Glossaire Toolkit Formation nutrition PNIN. Niger.
- Pooniya, V., and Shivay, Y. S.(2015). Influence of green manuring and zinc fertilization on quality parameters of basmati rice. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 46 (3), 382–392p.
- Powers P.M & Hoover, L. W. (1989). Calculating the nutrient composition of recipes with computers. *J. Am. Diet. Assoc.* 89, 224–232.
- Pradhan S.R., Dash S., Chowdhury Md. R., Das S.P., Sar K., Moharaa S. (2022). Impact of Integrated Vermicompost and Chemical Fertilizer Use on Productivity, Nutrient uptake and Economics of Rice. *Biological Forum.* 89-95 p
- Prom-U-Thai C., Fukai S., Godwin I. D., Huang L. (2007). Genotypic variation of iron partitioning in rice grain. *Journal of the Science of Food and Agriculture.* 2049–2054p

- Puli M. R., Prasad P., Babu P. R., Jayalakshmi M., Burla S.R.(2016). Effect of organic and inorganic sources of nutrients on rice crops. Agricultural college, ResearchGate. 151-159p.
- Rabefarihy A. T., Raharinjanahary H., Tsimisanda H. M., Randriarilala T., Rakotomavo T., Urena-Lara F., David-Benz H., Orbell C., Sirdey N., Herlant P., Tefft J. (2021). Profil des systèmes alimentaires-Madagascar. CIRAD, FAO, UE. 11-(29)p
- Raharimala S., Audouin S., 2021. SECuRE, compte rendu synthétique des ateliers de restitution des résultats issus de l'évaluation paysanne croisée avec les indicateurs scientifiques. Rapport interne.
- Ram H., Gandass N., Sharma A., Singh A., Sonah H., Deshmukh R., Pandey A.K., Sharma T. R., (2020). Spatio-temporal distribution of micronutrients in rice grains and its regulation. Critical review in biotechnology. Informa. (1-16) 3p
- Rama Rao G. , H.S.R. Desikachar, and V. Subrahmanyam. (1960). The effect of the degree of polishing of rice on nitrogen and mineral metabolism in human subjects. Elsevier.
- Raminoarison M., Razafimbelo T., Rakotoson T., Becquer T., Blanchart E., Trap J., 2019. Multiple-nutrient limitation of upland rainfed rice in Ferralsols : A greenhouse nutrient omission trial. Journal of Plant Nutrition. 43 : 270-284p.
- Rao, S. A. V., Prasad, P. V. N., and Venkateswarlu, B. (2006). Synergistic influence of nitrogen and zinc on grain yield and quality of rice (*oryza sativa* L.). In proceedings of national symposium on conservation agriculture and environment(pp. 26–28).
- Ratsiatosika O.H. (2018). Vers de terre et services écosystémiques en riziculture pluviale à Madagascar. Connaissances des processus et propositions d'innovations agricoles. Thèse doctorale. Université d'Antananarivo.
- Ratsiatosika O., Razafindrakoto M., Razafimbelo T., Rabenarivo M., Becquer T., Bernard L., Trap J., Blanchart E. (2021). Earthworms Inoculation Improves Upland Rice Crop yield and other agrosystem Services in Madagascar. MDPI.
- Ren H., Qi S., Zhang L., Wang L., Huang J., Yang H., Ren C., Zhou W. (2021). Variations in the appearance and quality of brown rice during the four stages of milling. Elsevier.
- Rondeau N. (2019). Évaluation de la santé des sols d'exploitations intensives bio québécoises par l'application du bio-indicateur lombricien. HAL. Quebec.
- Sala I., Durand-Morat A., Nailey L.L., Alam M.J., Nayga R. (2021). Rice quality and its impacts on food security and sustainability in Bangladesh.



- Singh, A., and Shivay, Y. S. (2016). Effect of summer green manuring crops and zinc fertilizer sources on productivity, Zn-uptake and economics of basmati rice. *J. Plant Nutr.* 39 (2), 204–18p.
- Schäfer C. A., Schmidt A., Bechthold A., Boeing H., Watzl B., Devleesshauwer B., Heckelei, Pires S.M., Nadaud P. (2019). Integration of various dimensions in food-based dietary. HAL Science.
- Schakel S.F., Buzzard I.M., Gebhardt S.E. (1997). Procedures for Estimating Nutrient Values for Food Composition Databases. USDA. *Journal of food composition and analysis* 10, 102–114 (1997).
- Sharma, R.P., Datt Naveen and Verma Gayatri. 2015. Yield and nutrient build up as influenced by vermicompost applications in wheat (*Triticum aestivum*) – rice (*Oryza sativa*) sequence in an acid soil. *Research Journal of Chemistry and Environment*, 19(1): 22–28p
- Shin M., Baek M., Min S. (2021). The effect of different degrees of milling on the protein composition in brown rice bran. Springer.
- Shivay, Y. S., and Prasad, R. (2012). Zinc-coated urea improves productivity and quality of basmati rice (*oryza sativa* L.) under zinc stress condition. *J. Plant Nutr.* 35 (6), 928–951.
- Shrestha J., Kandel M., Subedi S., Sha K.K. (2020). Role of nutrients in rice (*Oryza sativa* L.): a review. *IndianJournals.* 53-62p -57p.
- Srinivasarao, C., Kundu, S., Sharma, K. L., Thakur, P. B., Amrutsagar, V. M., Deshpande, A. N., Pharande A.L., Balloli S.S., Arunachalam A., Soam S.K. (2018). Effect of 22-year-long conjunctive use of organic and chemical sources of nutrients on crop yield, soil properties, and nutrient balance in post-monsoon sorghum (*sorghum bicolor* L.) in peninsular vertisols of India. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 49, 1570–1585p.
- Supradip Saha, A.K. Pandey, K.A. Gopinath, R. Bhattacharaya, S. Kundu, H.S. Gupta. (2007). Nutritional quality of organic rice grown on organic composts. HAL, ResearchGate.
- Tharrey M., Houeto A., Dubois C., vieux F., Maillot M., Darmon N. (2017). Comparaison de la classification de recettes par trois systèmes de profilage nutritionnel : SAIN, LIM, SENS et 5-C. Elsevier. Marseille. UMR Moisa. 2p-9p.
- Trap J., Blanchart E., Ratsiatosika O., Razafindrakoto M., Becquer T., Andriamananjara A., Morel C., 2021. Effects of the earthworm *Pontoscolex corethrurus* on rice P nutrition and plant-available soil P in a tropical Ferralsol. *Applied Soil Ecology.* 160p

- UNICEF (2011). *Lexique nutrition*. 2p
- UNICEF (2018). *Nutrition : Soutenir les autorités nationales et régionales pour améliorer l'état nutritionnel des enfants les plus vulnérables*. Madagascar. 4p
- Uyar B.T.M., Talsma Elise F., Herforth A.W., Trijsburg L.E.,(2023). *The DQQ is a Valid Tool to Collect Population-Level Food*. Elsevier.
- Van Groenigen, J. W., Lubbers I. M., Vos H. M. J., Brown G. G., De Deyn G. B., Van Groenigen K. J., 2014. Earthworms increase plant production : a meta-analysis. *Nature Scientific Reports*.
- Van Groenigen, J.W.; Van Groenigen, K.J.; Koopmans, G.F.; Stokkermans, L.; Vos, H.M.; Lubbers, I.M. (2019). How Fertile Are Earthworm Casts? a Meta-Analysis. *Geoderma*, 338, 525–535.
- Wang Z.H., Li S.X., Malhi S., (2007). Effects of fertilization and other agronomic measures on the nutritional quality of crops. *Review Sci. China*. 88. 7-23p.
- Wang J., Hasegwa T., Lianqing Li. (2018). Changes in grain protein and amino acid composition of wheat and rice under the short term increased [CO<sub>2</sub> ] and temperature of canopy air in a paddy from East China. Elsevier.
- Wang H., Herforth A.W., Xi B., Zou Z.. (2022). Validation of the Diet Quality Questionnaire in Chinese Children and Adolescents and Relationship with Pediatric Overweight and Obesity. *MDPI*. 10p
- Welch R.M. (2002). *The impact of mineral nutrients in food crops on global human health*. USA. Cornell University. 83\_90. 86p
- Wezel A., Casagrande M., Celette F., Jean-François V.(2014). *Pratiques agroécologiques pour une agriculture durable*. ResearchGate.
- Yadav, D., Vishwakarma, A. K., Sharma, N. K., Biswas, A. K., Ojasvi, P. R., Kumar, D., Kumawat a., Singh D (2021). Sustaining the properties of Black soil in central India through crop residue management in A conservation-agriculture-based soybean–wheat system. *Land Degrad*.
- Yadav, D., Shivay, Y. S., Singh, Y. V., Sharma, V. K., and Bhatia, A. v (2018). Yield attributes, yields and nutrient uptake of basmati rice (*oryza sativa*) as influenced by in situ and ex situ green manuring crops and zinc fertilization. *Indian J. Agric. Sci*. 88 (5), 671–678.
- Yu R.,Wu X., Liu J. , Howitt C. A. , R. Bird A. R. , Liu C. and Larkin. (2021). Rice with Multilayer Aleurone: A Larger Sink for Multiple Micronutrients

- Zhang, S.; Shi, Z.L.; Yang, S.J.; Gu, K.J.; Dai, T.B.; Wang, F. (2015). Effects of nitrogen application rates and straw returning on nutrient balance and grain yield of late sowing wheat in rice-wheat rotation. China. 26, 2714.
- Zhao H.J., Liu Q.L., Ren X.L., Wu D., Shu Q.(2008). Gene identification and allele-specific marker development for two low allelic phytic acid mutations in rice (*Oryza sativa* L.). Elsevier
- Zhao, Z., Zhang, C., Li, F., Gao, S., and Zhang, J. (2020). Effect of compost and inorganic fertilizer on organic carbon and activities of carbon cycle enzymes in aggregates of an intensively cultivated vertisol. Elsevier. doi:10.1371/journal.pone.0229644
- Zhao S., Shi J., Cai S., Xiong T., Cai F., Li S., Chen X., Fan C., Mei X., Sui Y., (2023). Effects of milling degree on nutritional, sensory, gelatinization and taste quality of different rice varieties. Elsevier.
- Zhou L., Sui Y., Zhu Z., Li S., Xu R., Wen J., Shi J., Sha Cai., Tian X., Cai F., Mei X. (2023). Effects of degree of milling on nutritional quality, functional characteristics and volatile compounds of brown rice tea. Elsevier.

## WEBOGRAPHIE

- Global Diet Quality Project : <https://www.dietquality.org/>
- Ciqua : <https://ciqua.anses.fr/>
- Sites USDA : <https://fdc.nal.usda.gov/>
- <https://globalnutritionreport.org/>
- <https://openoregon.pressbooks.pub/>
- <https://www.gainhealth.org/resources/multimedia/glossary>
- <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs311/fr/>
- <https://www.secure.mg/>

## ANNEXE

Annexe 1: Dose et Constituants des fertilisants utilisés sur le riz dans les pratiques traditionnelles des paysans .....	ii
Annexe 2: Dose et Constituants des fertilisants utilisés sur le riz dans les pratiques innovantes des paysans.....	iii
Annexe 3: Suivi de polissage des riz de la commune d'imeritsiatosika .....	iv
Annexe 4: Représentation schématique des couches cellulaire formant le grain de riz.....	iv
Annexe 5: Coupe longitudinale d'un épillet de riz .....	v
Annexe 6: Fiche d'enquête du Questionnaire Diet Quality questionnaire (DQQ).....	vi
Annexe 7: 29 groupes d'aliments formant le questionnaire DQQ.....	viii
Annexe 8: Les groupes d'aliment indicateur du Score de diversité alimentaire FGDS .....	viii
Annexe 9: Groupes des aliments indicateurs du score ALL-5 du DQQ .....	ix
Annexe 10: Groupes des aliments protecteurs indicateurs du score NCD protect (DQQ) .....	ix
Annexe 11: Groupes des aliments à risque pour la santé indicateurs du score NCD-Risk (DQQ) .....	ix
Annexe 12: Listes des recettes moyennes selon les 8 combinaisons de recettes à base de riz pluvial.....	x
Annexe 13: Formule de la teneur en un nutriment A d'un ingrédient.....	x
Annexe 14: Formule de la contribution énergétique d'un plat .....	x
Annexe 15: Formule du SAIN et de la LIM dans le Système SAIN-LIM.....	x
Annexe 16: Riz poli utilise pendant les suivis de recette par famille .....	xi
Annexe 17: Les 24 familles sélectionnées pour les suivis de recette à base de riz pluvial.....	xiii
Annexe 18: Test de comparaison par paire dans le test de Kruskal-Wallis sur la teneur en micronutriments selon le taux de polissage.....	xiv
Annexe 19 : Résultats détaillés de l'enquête sur la qualité de l'alimentation .....	xv
Annexe 20: Résultats de l'enquête sur la qualité de l'alimentation par fokontany.....	xvi
Annexe 21: Matériels utilisés dans les analyses de compositions nutritionnelles .....	xvi
Annexe 22: Matériels de suivis de décorticage en laboratoire.....	xviii

*Annexe 1: Dose et Constituants des fertilisants utilisés sur le riz dans les pratiques traditionnelles des paysans*

<b>Pratique traditionnelle</b>									
<b>code</b>	<b>Matière apporté</b>	<b>Dose réelle en kg</b>	<b>Matière sèche(%)</b>	<b>C%</b>	<b>N%</b>	<b>P%</b>	<b>C/matière (mg/poquet)</b>	<b>N/matière (mg/poquet)</b>	<b>P /matière (mg/poquet)</b>
<b>IME 001</b>	cendre balle	29	85.1	2.34	0.14	0.16	0	0	0
	fumier bovin	21	78.2	16.62	0.96	0.26	27	2	0
<b>IME 002</b>	cendre balle	10.5	92.3	2.04	0.10	0.16	0	0	0
	corne	2.5	83.8	37.28	12.78	0.1	1776	609	2
<b>IME 003</b>	cendre balle	31.2	75.4	1.14	0.09	0.12	0	0	0
	lisier porc	18.12	64.8	29.55	1.78	0.75	155	9	4
							0	0	0
<b>IME 004</b>	cendre	43	70.5	4.4	0.1	0.09	0	0	0
	fiente	11.4	74.2	32.23	2.49	0.77	259	20	6
<b>IME 005</b>	cendre balle	14.05	86.0	4.09	0.26	0.10	0	0	0
	fiente	41.20	84.9	20.21	1.28	0.21	52	3	1
<b>IME 006</b>	cendre balle	4.56	94.3	0.83	0.07	0.14	0	0	0
	fumier bovin	19	53.5	27.12	1.66	0.23	122	7	1
	lisier porc	15.28	83.7	16.14	1.14	0.57	30	2	1
							0	0	0
<b>IME 007</b>	cendre balle	23.35	60.1	0.69	0.09	0.15	0	0	0
	fumier bovin	61.85	28.1	27.63	1.59	0.23	122	7	1
							0	0	0
<b>IME 008</b>	cendre balle	35.4	72.1	0.08	0.08	0.16	0	0	0
	fumier bovin	78.8	52.0	18.43	0.84	0.17	29	1	0
<b>IME 009</b>	cendre balle	58	66.7	1.44	0.13	0.13	0	0	0
	lisier porc	46.25	58.2	22.93	1.46	0.69	77	5	2
<b>IME 010</b>	cendre balle	18.75	62.3	1.53	0.10	0.19	0	0	0
	fumier bovin	16.25	43.5	35.56	0.08	0.26	10	0	0
<b>IME 011</b>	cendre cuisine	43.75	74.1	8.52	0.27	0.13	2	0	0
	fumier bovin	16.25	54.3	15.29	0.78	0.27	18	1	0

*Annexe 2: Dose et Constituants des fertilisants utilisés sur le riz dans les pratiques innovantes des paysans*

<b>Pratique innovante</b>									
code	Matière Fertilisante Coconstruites (MFInnov)	Dose réelle en kg	Matière sèche(%)	C%	N%	P%	C /matière(mg/poquet)	N /matière(mg/poquet)	P /matière(mg/poquet)
<b>IME 001</b>	endre balle	22.2	92.7	2.34	0.14	0.16	287	18	19
	lombricompost	19.3	35.7	14.72	1.42	0.25s	602	58	10
<b>IME 002</b>	endre balle	15.62	92.3	2.04	0.10	0.16	126	6	10
	lombricompost	9.38	35.7	14.72	1.42	0.25	211	20	4
<b>IME 003</b>	endre balle	44.32	75.4	1.14	0.09	0.12	258	21	27
	lombricompost	9.55	35.7	14.72	1.42	0.25	341	33	6
	lisier porc	14.76	64.8	29.55	1.78	0.75	1925	116	49
<b>IME 004</b>	lombricompost	42.76	35.7	14.72	1.42	0.25	1103	106	19
							0	0	0
<b>IME 005</b>	endre balle	23.64	86.0	4.09	0.26	0.10	816	52	20
	Lombricompost	39.73	35.7	14.72	1.42	0.25	2045	197	35
<b>IME 006</b>	endre balle	4.97	94.3	0.83	0.07	0.14	36	3	6
	fumier bovin	19.92	53.5	27.12	1.66	0.23	2713	166	23
	Lisier porc	16.51	83.7	16.14	1.14	0.57	2095	148	74
	lombricompost	12.5	35.7	14.72	1.42	0.25	616	59	10
<b>IME 007</b>	endre balle	25	57.9	0.77	0.08	0.14	109	11	20
	Fumier bovin	69.5	28.1	27.63	1.59	0.23	5257	303	44
	lombricompost	9.5	35.7	14.72	1.42	0.25	485	47	8
<b>IME 008</b>	endre balle	42.5	72.1	0.08	0.08	0.16	25	25	49
	lombricompost	42.5	35.7	14.72	1.42	0.25	2179	210	37
<b>IME 009</b>	endre balle	58	66.7	1.44	0.13	0.13	669	61	61
	lisier porc	46.25	58.2	22.93	1.46	0.69	7419	472	222
<b>IME 010</b>	endre balle	18.25	62.3	1.53	0.10	0.19	174	11	21
	fumier bovin	22.75	43.5	35.56	0.08	0.26	3538	8	25
<b>IME 011</b>	fumier bovin brulé	35.63	79.3	5.36	0.34	0.19	1049	67	37

---

lombricompost	30.6	35.7	14.72	1.42	0.25	1113	107	19
---------------	------	------	-------	------	------	------	-----	----

---

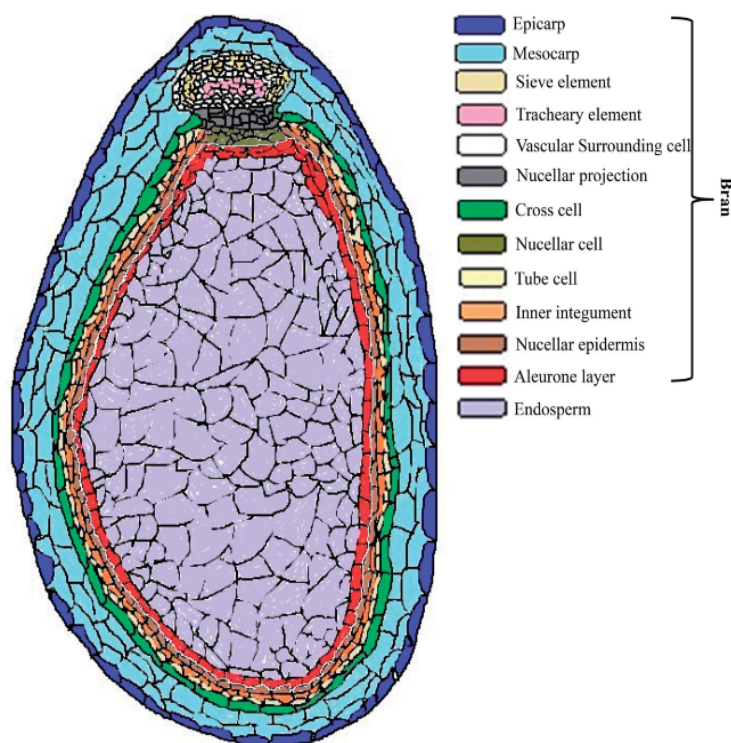


Annexe 3: Suivi de polissage des riz de la commune d'imeritsiatosika

	Fokontany	Poids	Parcelle Innov'earth
<b>Paddy</b>	Merimandroso	27.1999	IME007
<b>Cargo</b>	Merimandroso	24.3734	IME008
<b>Blanc</b>	Merimandroso	23.7778	IME009
<b>Paddy</b>	Tsenamasoandro	27.6236	IME003
<b>Cargo</b>	Tsenamasoandro	20.7925	IME003
<b>Blanc</b>	Tsenamasoandro	20.3642	IME003
<b>Paddy</b>	Morarano Nord	26.9624	IME001 / IME 002
<b>Cargo</b>	Morarano Nord	26.5417	IME001 / IME 002
<b>Blanc</b>	Morarano Nord	21.6661	IME001 / IME 002
<b>Paddy</b>	Atsetsindranovato	27.3645	IME 011
<b>Cargo</b>	Atsetsindranovato	22.0526	IME 011
<b>Blanc</b>	Atsetsindranovato	21.599	IME 011
<b>Paddy</b>	Amboara	30.5361	IME 008/IME009
<b>Cargo</b>	Amboara	26.2833	IME 008/IME009
<b>Blanc</b>	Amboara	21.3979	IME 008/IME009

Annexe 4: Représentation schématique des couches cellulaires formant le grain de riz

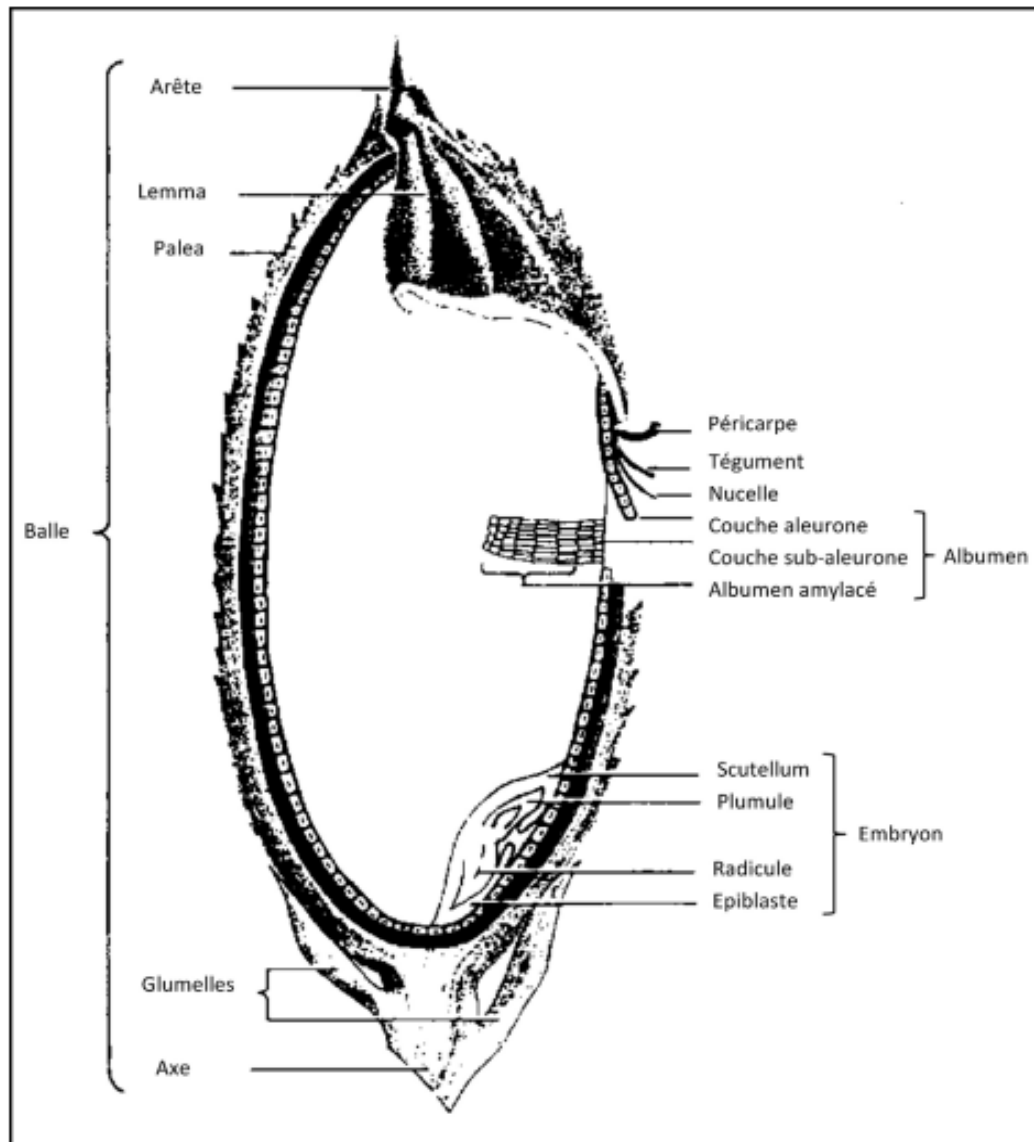
Les différentes couches du grain de riz sont enlevées au cours du décorticage et du polissage. Avec un DP faible, il est possible que ces couches du son de riz ne soient pas intégralement enlevées et conservent ainsi des micronutriments essentiels.



Source : Ram *et al.*, 2020

Annexe 5: Coupe longitudinale d'un épillet de riz

À travers cette image, la partie enlevée durant le décortiquage et le polissage de riz est représentée. La partie balle est enlevée durant le décortiquage pour obtenir le riz cargo. Durant le polissage, l'embryon et les couches d'aleurone sont des enlevées au fur et à mesure du processus



Source : Champagne *et al.*, 2004

S

**DIET QUALITY QUESTIONNAIRE (DQQ)**  
FANONTANIANA MOMBA NY KALITAON'NY SAKAFO



**MADAGASIKARA - MADAGASCAR**

**VAKIO** : Izaio dia te-hametraka fanontaniana eny-na-tsia aminao mikasika ny sakafo sy ny zava-pisotro nohaninao omaly nandritra ny andro na ny alina, na tao an-trano io na tany ivelany aho.

Voalohany dia tiako ianao hieritreritra ny andro omaly, nanomboka tamin'ny nifohazanao ka hatramin'ny alina. Eritrere to ny zavatra nohaninao na nosotroinao voalohany taorian'ny nifohazanao ny maraina... Eritrere to ny nisy anao tamin'ny nisakafo hariva... sy ny sakafo na ny zava-pisotro nohaninao tamin'ny hariva na ny alina... sy ny tsakitsaky na ny zava-pisotro mety nohaninao teny antenanten'ny sakafo nandritra ny andro na ny alina.

Mahaliana ahy raha nisy nohaninao tamin'ny sakafo hotanisaiko, eny fa na dia nifangaro tamina sakafo hafa aza.

Henoy ny lisitry ny sakafo sy zava-pisotro azafady, ka raha NISY nohaninao na nosotroinao TAMIN'IZY IREO, dia manaova eny.

	Omaly, nihinana tamin'ireto sakafo manaraka ireto ve ianao :	(boroborio ny valiny)
1	<b>Mofa, vary, vary sosoa, vary amin'anana, na paty ?</b> Bread, rice, porridge, porridge with greens, or spaghetti?	ENY na TSIA
2	<b>Katsaka, vary mena, na ampemba ?</b> Maize, red rice, or sorghum?	ENY na TSIA
3	<b>Ovy, vomanga fotsy, mangahazo, saonjo, soanambo, akondro manta, na oviala ?</b> Potato, white sweet potato, cassava, taro, breadfruit, unripe banana, or yam?	ENY na TSIA
4	<b>Voamaina, tsaramaso, voanjobory, tsaramaso mena, soja, na tsiasisa ?</b> Voamaina, beans, bambara nuts, red beans, soya beans, or lentils?	ENY na TSIA
	<b>Omaly, nihinana tamin'ireto legioma ireto ve ianao :</b>	
5	<b>Karaoty, voatavo, butternut, na vomanga miloko volom-boasary ny ao anatin'ny ?</b> Carrots, pumpkin, butternut, or sweet potatoes that are orange inside?	ENY na TSIA
6.1	<b>Anana, epinara, ravin'amaranty, ananambo, ravim-bomanga, na anandrano ?</b> Anana, spinach, amaranth leaves, moringa leaves, sweet potato leaves, or watercress?	ENY na TSIA
6.2	<b>Ravintoto, ravin-tsaonjo, petsay, na brocoli ?</b> Ravintoto, taro leaves, bok choy, or broccoli?	ENY na TSIA
7.1	<b>Voatabia, laisoa, tsaramaso lena, kôkômbra, soffera, salady, na sôsety ?</b> Tomatoes, cabbage, green beans, cucumber, cauliflower, lettuce, or chayote?	ENY na TSIA
7.2	<b>Poarao, seleria, radia, na voatango ririnina ?</b> Leeks, celery, radish, or winter melon?	ENY na TSIA
	<b>Omaly, nihinana tamin'ireto voankazo ireto ve ianao :</b>	
8	<b>Manga masaka, papay masaka, garana, na voatango volom-boasary ?</b> Ripe mango, ripe papaya, passion fruit, or orange melon?	ENY na TSIA
9	<b>Voasary na mandarinina ?</b> Oranges or mandarins?	ENY na TSIA
10.1	<b>Akondro masaka, mananasy, zavokà, paiso mena, paoma, pasiteky, na frezy ?</b> Ripe banana, pineapple, avocado, plums, apples, watermelon, or strawberries?	ENY na TSIA
10.2	<b>Goavy, kaki, letisia, poara, ampalibe, voantsokona, na voam-baobaba ?</b> Guava, persimmon, lychee, pears, jackfruit, soursop, or baobab fruit?	ENY na TSIA
10.3	<b>Voatango, voanio, papay manta, paoma aziatika, na letisia sinoa ?</b> Voatango, coconut flesh, unripe papaya, Asian apple, or rambutan?	ENY na TSIA
	<b>Omaly, nihinana tamin'ireto zava-mamy ireto ve ianao :</b>	
11	<b>Mofomamy, biscuits na Gouty, gaofrety, krepy, na koba ?</b> Cakes, cookies or Gouty, wafers, crepes, or koba?	ENY na TSIA
12	<b>Vatomamy, sôkôlâ, na glasy ?</b> Candy, chocolates, or ice cream?	ENY na TSIA
	<b>Omaly, nihinana tamin'ireto sakafo avy amin'ny biby ireto ve ianao :</b>	
13	<b>Atody ?</b> Eggs?	ENY na TSIA

14	<b>Frômazy ?</b> Cheese?	ENY na TSIA
15	<b>Yaourt ?</b> Yogurt?	ENY na TSIA
16	<b>Saosisy na corned beef am-bifotsy ?</b> Sausages or tinned corned beef?	ENY na TSIA
17	<b>Hen'omby, toton-ken'omby, omby, osy, ondry, na taovan'omby ?</b> Beef, minced beef, zebu, goat, lamb, or beef or zebu organs?	ENY na TSIA
18	<b>Henan-kisoa, bitro, henam-bibidia, na taovan-kisoa ?</b> Pork, rabbit, bush meat, or pork offal?	ENY na TSIA
19	<b>Akoho, taon'akoho, gana, akanga, voromailala, na voron-dia ?</b> Chicken, chicken offal, duck, small guinea fowl, pigeons, or wild birds?	ENY na TSIA
20	<b>Trondron-dranomasina, trondron-dranomamy, trondro maina, patsabe, kôkômbra an-dranomasina, amalona maina, na hazan-dranomasina hafa ?</b> Fish from the sea, fish from fresh water, dried fish, shrimp, sea cucumbers, smoked eel, or other seafood?	ENY na TSIA
<b>Omaly, nihinana tamin'ireto sakafo hafa ireto ve ianao :</b>		
21	<b>Voanjo na mahabibo ?</b> Peanuts or cashews?	ENY na TSIA
22	<b>Cracky, TsikySnack, Doritos, na cheesballs ?</b> Cracky, TsikySnack, Doritos, or cheesballs?	ENY na TSIA
23	<b>Lasopy, toy ny paty Apollo, na Sedaap ?</b> Lasopy, such as, Pate apollo, or Sedaap?	ENY na TSIA
24	<b>Frity, katilisy, mofo akondro, caca pigeon, menakely, mofobaolina, mofogasy, na mofo sakay ?</b> French fries, fried potato, fried bananas, deep fried flour, Malagasy donut, Mufubail, savory dough ball, or fried dough with greens?	ENY na TSIA
<b>Omaly, nisotro tamin'ireto zava-pisotro ireto ve ianao :</b>		
25	<b>Ronono na vovo-dronono ?</b> Milk or powdered milk?	ENY na TSIA
26	<b>Dité misy ronono na siramamy, kafe misy ronono na siramamy, dité vovony misy siramamy, na ronono soja misy siramamy ?</b> Tea with milk or sugar, coffee with milk or sugar, tea powder with sugar, or soymilk with sugar?	ENY na TSIA
27	<b>Ranom-boankazo tsotra na anaty boaty/tavoahangy ?</b> Fruit juice or fruit drinks?	ENY na TSIA
28	<b>Zava-pisotro misy gaz, toy ny Coca-Cola, Sprite, Fanta, sa zava-pisotro manome angovo toy ny Red Bull ?</b> Soft drinks, such as, Coca-Cola, Sprite, Fanta, or energy drinks such as Red Bull?	ENY na TSIA
<b>Omaly, nisakafo tamina toerana toy ireto ve ianao...</b>		
29	<b>FKC, na toerana misy pizza na hamburgers ?</b> KFC, or places that serve pizza or burgers?	ENY na TSIA

Nampifanarahany ny Global Diet Quality Project, [www.dietquality.org](http://www.dietquality.org). 2021.  
Tohanan'ny UE sy ny BMZ (amin'ny alalan'ny GIZ), USAID, ny Fondation Rockefeller ary ny SDC.



#### TOROLALANA :

1) Vakio tena araka izay voasoratra ny fanontaniana. Aza mampiditra resaka hafa na fanontaniana mangataka fanazavana fanampiny. Aza ampiana na anesorana ny sakafo. Zava-dehibe ho an'ny fahamarinan'ny fanontaniana sy ny fampitahana ny valiny ny tsy fanovana izay voasoratra. Misy torolalana fanampiny mikasika ny fampiasana ny Fanontaniana momba ny kalitaon'ny sakafo ao amin'ny tahalanay: [www.dietquality.org/dqq](http://www.dietquality.org/dqq)

2) Raha te-hanangona zavatra mikasika sakafo hafa ianao, na te-hanampy fanontaniana, dia azo atao any amin'ny faran'ny fanontaniana rehetra izany.

3) Ny tetikasa Kalitaon'ny sakafo maneran-tany dia nanao drafitra voalamina hamantarana ny karazan-tsakafo amin'ny vondrona tsirairay avy. Raha te-hanao soso-kevitra hanovana ny fanontaniana ianao dia mifandraisa amin'ny ekipa amin'ny alalan'ny bokotra

Source : <https://www.dietquality.org/>

Annexe 7: 29 groupes d'aliments formant le questionnaire DQQ

alimentaires DQQ
1. Aliments à base de céréales
5. Céréales entières
6. Racines blanches, tubercules
7. Légumineuses
8. Légumes oranges riches en vitamines A.
9. Légumes à feuilles vert foncé
10. Autres légumes
11. Fruits riches en vitamines A
12. Agrumes
13. Autres fruits
14. Friandises cuites au four à base de céréales
15. Autres sucreries
16. Œufs
17. Fromage
18. Yaourt
19. Viandes transformés
20. Viande rouge non transformée (ruminant)
21. Viande rouge non transformée (non ruminants)
22. La volaille
23. Poissons et fruits de mer
24. Fruits à coques et graines
25. En-cas salés ultra-transformés emballés
26. Nouilles instantanées
27. Aliments frits
28. Lait de consommation
29. Thé sucré, café ou cacao
30. Jus de fruits et boissons aromatisées aux fruits
31. Boissons non alcoolisées
32. Restauration rapide

Source : <https://www.dietquality.org/>

Annexe 8: Les groupes d'aliment indicateur du Score de diversité alimentaire FGDS

FGDS groupes alimentaires	Numéro sur le questionnaire	Points
Céréales, racines et tubercules blancs et plantains	1, 2, 3	1
Légumineuses (haricots, pois et lentilles)	4	1
Noix et graines	21	1
Laitiers	14,15, 25	1
Viande, volaille et poisson	16, 17, 18, 19, 20	1
Œufs	13	1
Légumes à feuilles vert foncé	6*	1
Autres fruits et légumes riches en vitamines A	5, 8	1
Autres légumes	7*	1
Autres fruits	9, 10*	1
TOTAL		/10

Source : <https://www.dietquality.org/>



Annexe 9: Groupe des aliments indicateurs du score ALL-5 du DQQ

Groupes d'aliments ALL-5	Numéros de questions	Points
Féculeux	1, 2, 3	1
Légumes	5, 6*, 7*	1
Fruits	8, 9, 10*	1
Légumineuses, noix et graines	4, 21	1
Aliments d'origine animale	13, 14 15, 16, 17, 18, 19, 20, 25	1
TOTAL		
	Si score = 5	1
	Si Score < 5	0

Source : <https://www.dietquality.org/>

Annexe 10: Groupe des aliments protecteurs indicateurs du score NCD protect (DQQ)

Groupes alimentaire NCD Protect	Numéro de question	Points
Grains entiers	2	1
Légumineuses	4	1
Noix et graines	21	1
Légumes oranges riches en vitamines A	5	1
Légumes à feuilles vert foncé	6*	1
Autres légumes	7*	1
Fruits riches en vitamines A	8	1
Agrumes	9	1
Autres fruits	10*	1
TOTAL		/9

Source : <https://www.dietquality.org/>

Annexe 11: Groupe des aliments à risque pour la santé indicateurs du score NCD-Risk (DQQ)

NCD-Risk (MNT) / groupes d'aliments	Numéro de question	Points
Bonbons non alcoolisés	28	1
Bonbons au fur / à base de céréales	11	1
Autres douceurs	12	1
Viandes transformée	16	2
Viande rouge non transformée	17, 18	1
Nourriture frite	24	1
Restauration rapide et nouilles instantanées	23, 29	1
Snacks salés ultra-transformés emballés	22	1
TOTAL		/9

Source : <https://www.dietquality.org/>

*Annexe 12: Listes des recettes moyennes selon les 8 combinaisons de recettes à base de riz pluvial*

Liste des combinaisons	Recette de riz	Recette d'accompagnement	Répétitions	Nb de recette moyenne
C1	Ris Sec	Poisson-version bouillon	3	1
C2	Riz sec	Haricot version bouillon	3	1
C3	Riz + brèdes	pdt frits	3	1
C4	Riz sosoa	Haricot version sauce	3	1
C5	Riz sosoa	brèdes version sauce	3	1
C6	Riz sec	brèdes version bouillon	3	1
C7	Riz pdt	viande version sauce (Viande de bœuf)	2	1
	Riz pdt	viande version sauce (Viande de porc)	1	1
C8	Riz pdt	viande version sauce	3	1
			<b>Total</b>	<b>9</b>

*Annexe 13: Formule de la teneur en un nutriment A d'un ingrédient*

$$\text{Nutriment A par 100 g d'ingrédient cuit} = (\text{Nutriment A par 100 g d'ingrédient cru}) \times (\text{Poids de l'ingrédient cru} \div \text{Poids du plat cuit}) \times \text{Facteur de rétention de l'ingrédient}$$

*Annexe 14: Formule de la contribution énergétique d'un plat*

$$\text{Energie pour 100 g de plat cuit en kcal} = (\text{Teneur en lipides totaux} \times 9) + (\text{Teneur en protéines} \times 4) + ((\text{Teneur en glucides totaux} - \text{Teneur en fibres}) \times 4) + (\text{Teneur en fibres} \times 2)$$

*Annexe 15: Formule du SAIN et du LIM dans le Système SAIN-LIM*

$$\text{SAIN / par 100 g de plat cuit} = ((\text{€ Protéine}/65) + (\text{€ Fibre}/25) + (\text{€ Vitamine C}/40) + (\text{€ Calcium}/900) + (\text{€ Fer}/12, 5)) \times (100/5) \times (100 / \text{€ Calories})$$

$$\text{LIM / 100 g de plat cuit} = ((\text{Acide gras}/22) + (\text{€ Sucre ajoutée}) + (\text{€ Sodium}/3153)) \times (100 \times 3)$$

*Annexe 16: Riz poli utilise pendant les suivis de recette par famille*

<b>Fokontany</b>	<b>Noms de l'agriculteur</b>	<b>Ref° Riz pluvial</b>
<b>Tsenamasoandro</b>	RAZAFINDRANAIVO Marie Julienne	IME003
<b>Tsenamasoandro</b>	RAHARIVELOHARISOA Marie Odette	IME003
<b>Tsenamasoandro</b>	Emile	IME003
<b>Tsenamasoandro</b>	RAMANATENASOA Meltine	IME003
<b>Tsenamasoandro</b>	RAVONIARISOA Marie Louise	IME003
<b>Morarano Nord</b>	RABENJANAHARY Joseph	IME001 / IME 002
<b>Morarano Nord</b>	RANDRIAMAMONJY Fernand Jacquot	IME001 / IME 002
<b>Morarano Nord</b>	RANDRIANANTENAINA Solofonjatovo	IME001 / IME 002
<b>Morarano Nord</b>	ANDRIANASOLO Narilala	IME001 / IME 002
<b>Morarano Nord</b>	RANDRIANIAINA Johnson	IME001 / IME 002
<b>Antamboho</b>	RAZANATSARA Joséphine	IME007
<b>Merimandroso</b>	RAKOTONDRAMANANA Martin	IME007
<b>Tsenamasoandro</b>	RAZAKARISOA Andoniaina Clara	IME007
<b>Merimandroso</b>	Rasoanirina francine	IME007
<b>Tsenamasoandro</b>	RAZAFINDRAKOTO Jean De Dieu (Dadanaivo)	IME007
<b>Merimandroso</b>	RAZANADRAHONA Jean Pierre	IME007
<b>Atsetsindranovato</b>	Gilles	IME 011
<b>Atsetsindranovato</b>	Yvonne	IME 011
<b>Atsetsindranovato</b>	RASOAMAMPIONONA Saholiniaina	IME 008/IME 009
<b>Atsetsindranovato</b>	RASOLONIAINA Victoire Volantiana	IME 008/IME 009
<b>Amboara</b>	Nicholas	IME 008/IME 009
<b>Amboara</b>	RAKOTOMALALA Jean de Matha	IME 008/IME 009
<b>Amboara</b>	RAMINOARIMPARIHY Ruffine	IME 008/IME 009
<b>Amboara</b>	Papa solo	IME 008/IME hh009



*Annexe 17: Les 24 familles sélectionnées pour les suivis de recette à base de riz pluvial*

<b>Ferme de référence</b>	<b>Nom de l'agriculteur</b>	<b>Fokontany</b>	<b>Base riz</b>	<b>Met d'accompagnement</b>
<b>Famille 1</b>	RAHARIVELOHARISOA Marie Odette	Tsenamasoandro	Riz sec	poisson-version bouillon
<b>Famille 2</b>	RAKOTONDRAMANANA Martin	Merimandroso	Riz sec	poisson-version bouillon
<b>Famille 3</b>	RAZAKARISOA Andoniaina Clara	Tsenamasoandro	Riz sec	poisson-version bouillon
<b>Famille 4</b>	RIVOLALA Jean Nicolas	Amboara	Riz sec	haricot version bouillon
<b>Famille 5</b>	RAMAROTAFIKA Gilles	Antsetsindranovato	Riz sec	haricot version bouillon
<b>Famille 6</b>	RAZAFINDRANAIVO Marie Julienne	Tsenamasoandro	Riz sec	haricot version bouillon
<b>Famille 7</b>	RAKOTONDRADRIANASOLO	Amboara	Riz + brèdes	pomme de terre frite
<b>Famille 8</b>	Yvonne	Antsetsindranovato	Riz + brèdes	pomme de terre frite
<b>Famille 9</b>	RAMANANTENASOA Meltine	Tsenamasoandro	Riz + brèdes	pomme de terre frite
<b>Famille 10</b>	RAMINOARIMPARIHY Ruffine	Amboara	Riz soso	haricot version sauce
<b>Famille 11</b>	RANDRIAMAMONJY Fernand Jacquot	Morarano Nord	Riz soso	haricot version sauce
<b>Famille 12</b>	RAKOTONINDRINA Emile	Tsenamasoandro	Riz soso	haricot version sauce
<b>Famille 13</b>	RASOANIRINA Francine	Merimandroso	Riz soso	brède version sauce
<b>Famille 14</b>	RANDRIANANTENAINA Solofonjatovo	Morarano Nord	Riz soso	brède version sauce
<b>Famille 15</b>	RAZAFINDRAKOTO Jean De Dieu (Dadanaivo)	Tsenamasoandro	Riz soso	brède version sauce
<b>Famille 16</b>	RAKOTOMALALA Jean de Matha	Amboara	Riz sec	brède version Bouillon
<b>Famille 17</b>	RAZANATSARA Joséphine	Antamboho I	Riz sec	brède version Bouillon
<b>Famille 18</b>	RABENJANAHARY Joseph	Morarano Nord	Riz sec	brède version Bouillon
<b>Famille 19</b>	RASOAMAMPIONONA Saholiniaina	Antsetsindranovato	Riz+ pdt	viande version sauce
<b>Famille 20</b>	RAZANADRAHONA Jean Pierre	Merimandroso	Riz+ pdt	viande version sauce
<b>Famille 21</b>	ANDRIANASOLO Narilala	Morarano Nord	Riz+ pdt	viande version sauce
<b>Famille 22</b>	RAKOTOARIJAONA Olivier	Antsetsindranovato	Riz + Haricot	poisson version sauce
<b>Famille 23</b>	RANDRIANIAINA Johnson	Morarano Nord	Riz + Haricot	poisson version sauce
<b>Famille 24</b>	RAVONIARISOA Marie Louise	Tsenamasoandro	Riz + Haricot	poisson version sauce

*Annexe 18: Test de comparaison par paire dans le test de Kruskal-Wallis sur la teneur en micronutriments selon le taux de polissage*

Échantillon	Effectif	Somme des rangs	Moyenne des rangs	Groupes	
Protéine (g/100g Sec)   B1	12	184.000	15.333	A	
Protéine (g/100g Sec)   B0	10	220.000	22.000	A	B
Protéine (g/100g Sec)   B2	21	593.000	28.238	A	
Protéine (g/100g Sec)   B3	5	179.000	35.800	B	

Échantillon	Effectif	Somme des rangs	Moyenne des rangs	Groupes	
[Thia] µg/g MS   B0	10	155.000	15.500	A	
[Thia] µg/g MS   B1	12	228.000	19.000	A	B
[Thia] µg/g MS   B2	21	622.000	29.619	B	
[Thia] µg/g MS   B3	4	123.000	30.750	B	

Échantillon	Effectif	Somme des rangs	Moyenne des rangs	Groupes	
P (mg/100g sec)   B1	13	191.000	14.692	A	
P (mg/100g sec)   B0	10	244.000	24.400	A	B
P (mg/100g sec)   B2	23	688.000	29.913	B	
P (mg/100g sec)   B3	5	203.000	40.600	B	

Échantillon	Effectif	Somme des rangs	Moyenne des rangs	Groupes	
Cu (mg/100g sec)   B1	13	189.000	14.538	A	
Cu (mg/100g sec)   B2	23	666.000	28.957	B	
Cu (mg/100g sec)   B0	10	302.000	30.200	B	
Cu (mg/100g sec)   B3	5	169.000	33.800	B	

Échantillon	Effectif	Somme des rangs	Moyenne des rangs	Groupes	
Ca (mg/100g sec)   B1	13	161.000	12.385	A	
Ca (mg/100g sec)   B0	10	140.000	14.000	A	B
Ca (mg/100g sec)   B3	5	170.000	34.000	B	C
Ca (mg/100g sec)   B2	23	855.000	37.174	C	

Échantillon	Effectif	Somme des rangs	Moyenne des rangs	Groupes	
Fe (mg/100g sec)   B0	10	148.000	14.800	A	
Fe (mg/100g sec)   B1	13	228.000	17.538	A	
Fe (mg/100g sec)   B2	22	715.000	32.500	B	
Fe (mg/100g sec)   B3	5	184.000	36.800	B	

*Ces tableaux illustrent les comparaisons par paires sur l'effet des DP B0, B1, B2, B3 sur la teneur des micronutriments.*

*Annexe 19 : Résultats détaillés de l'enquête sur la qualité de l'alimentation*

<b>Genre</b>	<b>Fokontany</b>	<b>Age</b>	<b>AII-5</b>	<b>FGDS</b>	<b>NCD-Risk</b>	<b>NCD-protect</b>	<b>GDR-Score</b>
F	Tsenamasoandro	20-40	0	3	4	1	6
F	Morarano Nord	40-60	0	4	2	3	10
F	Tsenamasoandro	40-60	0	6	4	3	8
F	Amboara	40-60	0	4	0	3	12
F	Atsetsindranovato	40-60	0	7	4	3	8
F	Atsetsindranovato	40-60	0	2	3	0	6
F	Merimandroso	40-60	0	4	0	3	12
F	Tsenamasoandro	40-60	0	3	0	3	12
F	Tsenamasoandro	40-60	0	4	2	1	8
F	Amboara	40-60	0	4	2	3	10
F	Amboara	40-60	0	6	5	4	8
F	Antamboho I	60-80	0	4	1	3	11
F	Tsenamasoandro	60-80	0	4	1	3	11
F	Amboara	60-80	0	6	3	3	9
F	Merimandroso	20-40	1	6	1	4	12
F	Atsetsindranovato	40-60	1	6	2	4	11
F	Atsetsindranovato	40-60	1	8	3	6	12
F	Tsenamasoandro	40-60	1	5	2	4	11
F	Merimandroso	40-60	1	5	1	3	11
F	Atsetsindranovato	40-60	1	8	1	7	15
H	Atsetsindranovato	20-40	0	4	0	1	10
H	Merimandroso	20-40	0	5	3	2	8
H	Morarano Nord	20-40	0	6	2	6	13
H	Morarano Nord	40-60	0	6	3	3	9
H	Amboara	40-60	0	3	1	2	10
H	Morarano Nord	40-60	0	3	1	3	11
H	Merimandroso	40-60	0	6	1	4	12
H	Tsenamasoandro	40-60	0	6	2	3	10
H	Atsetsindranovato	40-60	0	5	1	4	12
H	Amboara	60-80	0	5	3	4	10
H	Amboara	60-80	0	5	3	4	10
H	Morarano Nord	60-80	0	4	0	4	13
H	Amboara	60-80	0	4	2	3	10
H	Morarano Nord	60-80	0	4	3	1	7
H	Merimandroso	20-40	1	7	4	6	11
H	Morarano Nord	20-40	1	7	3	4	10
H	Morarano Nord	20-40	1	5	1	5	13
H	Tsenamasoandro	40-60	1	5	2	3	10
H	Atsetsindranovato	40-60	1	6	2	3	10
H	Tsenamasoandro	40-60	1	7	3	6	12
H	Merimandroso	60-80	1	6	2	3	10
H	Atsetsindranovato	60-80	1	8	4	5	10

*Annexe 20: Résultats de l'enquête sur la qualité de l'alimentation par fokontany*

Fokontany		Amboara	Antamboho	Atsetsindranovato	Merimandroso	Morarano	Tsenamasoandro
Effectifs	Nombre	8	1	9	7	8	9
	Homme	4	0	4	4	7	3
	Femme	4	1	5	3	1	6
Âge (%)	30-45	0	0	1	3	4	2
	46-60	4	0	7	2	2	6
	]60+	4	1	1	2	2	1
All-5 (%)	0	8	1	4	3	6	6
	1	0	0	5	4	0	3
FGDS (%)	<5	4	1	2	1	4	4
	>5	4	0	7	6	4	5
NCD-Risk (moyenne)		3.3	3	2.2	2	1.9	2
NCD-protect (moyenne)		1.5	3	3.7	3.7	3.6	3
GDR-Score (%)	<9	1	0	2	1	1	2
	>=9	7	1	7	6	7	7

*Annexe 21: Matériels utilisés dans les analyses de compositions nutritionnelles*

Ces éléments ont été dosés par ICP-OES (Inductively Coupled Plasma -Spectromètre à émission atomique) après une minéralisation et une digestion sous micro-ondes avec du HNO<sub>3</sub>.



*ICP-OES (Inductively Coupled Plasma -Spectromètre à émission atomique)*

- Analyses de la Vitamine B1 :

La vitamine B1 ou Thiamine a été dosé par UPLC (Ultra Performance Liquid Chromatography) avec détection par fluorimétrie après hydrolyse acide et oxydation de la thiamine en thiochrome. Sous la tutelle de Morgane Chapron, le dosage a été effectué pour aussi rendre compte de pertes liées au polissage.



*UPLC (Ultra Performance Liquid Chromatography)*

- Analyse des protéines :

La détermination de la teneur des grains en protéine a été faite selon la méthode de Kjeldahl après la digestion par Acide  $H_2SO_4$  pendant 1h30. Le dosage s'est fait ensuite par titrimétrie.



*Dosage des protéines par la méthode Kjeldahl*

*Annexe 22: Matériels de suivis de décorticage en laboratoire*

Les échantillons ont ensuite été broyés pour avoir une homogénéité et faciliter les extractions et ainsi permettre d'obtenir des résultats corrects lors des analyses.



Des recettes moyennes ont été obtenues à partir de la moyenne des répétitions dans chaque combinaison et de chaque recette de riz (cf. *Tableau 6*)

# Tables des matières

REMERCIEMENTS .....	i
Liste des tableaux .....	iii
Liste des figures .....	v
Listes des Abréviations .....	vi
Glossaire.....	viii
RÉSUMÉ.....	x
ABSTRACT .....	xi
FINTINA.....	xii
INTRODUCTION.....	1
MATÉRIELS ET MÉTHODES.....	4
1. Description de la zone d'étude .....	4
2. Suivi de la qualité nutritionnelle du riz pluvial .....	5
2.1. Collecte des différents riz pluviaux selon les types de fertilisant utilisé .....	5
2.1.1. Riz issus des pratiques paysannes .....	5
2.1.2. Riz issus des expérimentations scientifiques.....	5
2.2. Suivi de polissage de riz pluvial .....	6
2.3. Analyse au laboratoire de la composition nutritionnelle du riz pluvial .....	7
3. Suivi des recettes et étude de l'alimentation des ménages.....	7
3.1. Enquête qualitative sur l'alimentation dans la zone d'étude .....	7
3.1.1. Population d'étude.....	7
3.1.2. Questionnaire utilisé : Diet Quality Questionary (DQQ).....	7
1.1. Suivi des recettes à base de riz pluvial.....	9
1.1.1. Données collectées .....	9
1.1.2. Élaboration de fiche analytique par combinaison de recette .....	9
1.1.3. Méthodes de calcul de la composition nutritionnelle des plats .....	10
1.1.4. Méthode de profilage alimentaire des recettes avec le système SAIN-LIM ..	11
2. Traitement et analyse des données .....	11
2.1. Description de données .....	12



2.2.	Détermination de l'impact des différents types de fertilisant sur la composition nutritionnelle du riz pluvial .....	12
2.3.	Détermination de l'impact du polissage sur la composition nutritionnelle du riz pluvial.....	12
RÉSULTATS .....		13
1.	Impacts des types de fertilisant utilisés sur la composition nutritionnelle du riz pluvial	13
2.	Impact du polissage sur la composition nutritionnelle du riz pluvial .....	15
2.1.	Variation de la teneur en micronutriment au cours du polissage.....	15
2.2.	Perte de nutriment selon le degré de polissage du riz.....	16
3.	Résultats des études sur la qualité nutritionnelle .....	18
3.1.	Enquête alimentaire avec le Diet Quality Questionnaire (DQQ) .....	18
3.1.1.	Score de diversité de groupe alimentaire (FGDS) .....	18
3.1.2.	Score ALL-5 .....	19
3.1.3.	Score NCD-Risk, NCD-protect et Recommandation diététique globale .....	19
3.1.4.	Résultat des enquêtes avec le Diet Quality Questionnaire (DQQ) par fokontany	20
3.2.	Fiches analytiques de la qualité nutritionnelle des combinaisons de recette à base riz	21
3.2.1.	Fiche analytique de la combinaison 1 : Riz sec+ Poisson-version bouillon...	21
3.2.2.	Fiche analytique de la combinaison 2 : Riz sec+ Haricot version bouillon ...	22
3.2.3.	Fiche analytique de la combinaison 3 : Riz + brèdes et "Pomme de terre frite	23
3.2.4.	Fiche analytique de la combinaison 4 : Riz sosoa + haricot version sauce ....	24
3.2.5.	Fiche analytique de la combinaison 5 : Riz sosoa + brèdes version sauce.....	25
3.2.6.	Fiche analytique de la combinaison 6 : Riz sec+ brèdes version bouillon.....	26
3.2.7.	Fiche analytique combinaison 7 : Riz aux pommes de terre + viande version sauce	27
3.2.8.	Fiche analytique de la combinaison 8 : Riz aux haricots + Poisson-version sauce	28
3.3.	Cartographie SAIN LIM .....	29



DISCUSSION ET RECOMMANDATIONS .....	32
1. Impact du type d’engrais sur la composition nutritionnelle du riz pluvial .....	32
1.1. Protéines.....	33
1.2. Phosphore .....	34
1.3. Minéraux et vitamine B1 .....	34
2. Impact du polissage sur la teneur en micronutriment du riz .....	36
2.1. Perte de nutriment du riz cargo vers le riz poli.....	36
2.2. Degré de polissage selon le type de fertilisant et variation des micronutriments..	38
3. Qualité de l’alimentation des habitants de la zone d’étude.....	39
3.1. Diversité alimentaire.....	39
3.2. Caractéristiques des combinaisons de recettes à base riz .....	39
4. Limites de l’étude et recommandations .....	40
CONCLUSION .....	42
BIBLIOGRAPHIE .....	i
WEBOGRAPHIE.....	xi
ANNEXE .....	xii