



Valorisation nutritionnelle d'un mélange manioc–son de riz fermenté par *Saccharomyces cerevisiae* dans l'alimentation du tilapia du Nil (*Oreochromis niloticus*) et de la carpe commune (*Cyprinus carpio*).

Rindra RABARISON¹, Colette ASHANDE MASENGO²¹ Centre National pour le Développement Rural - Madagascar (FOFIFA)² Section Biologie Médicale, Institut Supérieur des Techniques Médicales de Kinshasa, Kinshasa, République Démocratique du Congo.

Article History

Submitted: 02/07/2025

Accepted: 03/08/2026

Published: 06/08/2026

Résumé

Le coût de l'aliment constitue une contrainte majeure de la pisciculture continentale tropicale. Cette étude a évalué un mélange manioc (*Manihot esculenta*)–son de riz (60 :40, base MS) traité pendant 72 h à 30 °C avec 2 % de levure boulangère (*Saccharomyces cerevisiae*), 3 % de mélasse et 1 % d'urée, dans des sacs scellés après expulsion manuelle de l'air. Cinq régimes formulés pour être approximativement isoprotéiques ($\approx 30\%$ PB) et proches en énergie brute ont été préparés avec 0, 15, 30, 45 et 60 % de mélange traité et distribués en triplicat à 25 alevins par bac pendant 90 jours. La protéine brute apparente, déterminée par Kjeldahl ($N \times 6,25$), est passée de 7,2 à 13,0 % MS. Le bilan quantitatif de l'azote uréique montre que 10 g d'urée/kg de matière sèche apportent 4,665 g N/kg, soit 2,92 points de PB équivalente. Cette contribution représente 50,3 % de l'augmentation totale observée de 5,8 points ; les 49,7 % restants ne peuvent donc pas être expliqués par l'azote de l'urée initialement incorporée. Les valeurs de PB sont en conséquence interprétées comme une protéine brute apparente fondée sur l'azote total Kjeldahl. La fermentation a également réduit la cellulose brute du mélange (7,2 à 5,7 %), les cyanures du manioc (42,1 à 8,3 mg HCN eq/kg), l'acide phytique du son de riz (5,42 à 0,46 mg/g) et l'indice d'acidité du son de riz (12,8 à 4,6 % d'acide oléique). Le régime F30 a présenté les meilleures performances observées : le gain de poids a augmenté de 18,4 % chez le tilapia et de 20,1 % chez la carpe par rapport au témoin, tandis que l'indice de consommation a diminué de 1,63 à 1,44 et de 1,72 à 1,50, respectivement. Les ajustements quadratiques situent le sommet du gain de poids à 29,8 % chez le tilapia et 32,2 % chez la carpe, avec des intervalles à 95 % de 27,5–32,1 % et 29,9–34,8 % calculés à partir des cinq moyennes de dose. L'interprétation opérationnelle retenue est donc une zone optimale proche de 30 % pour les deux espèces. La survie a été analysée par un modèle linéaire généralisé à distribution binomiale, tandis que les paramètres de qualité de l'eau sont présentés en moyenne $\pm$ ES sur les 90 jours de l'essai.

Keywords:

Fermentation en milieu solide, *Saccharomyces cerevisiae*, manioc, son de riz, *Oreochromis niloticus*, *Cyprinus carpio*, facteurs antinutritionnels, acide phytique, indice de consommation, aquaculture durable.

Abstract

Feed is a major constraint in tropical inland aquaculture. This study evaluated a 60:40 (DM basis) cassava (*Manihot esculenta*)–rice bran mixture treated for 72 h at 30 °C with 2% baker's yeast (*Saccharomyces cerevisiae*), 3% molasses and 1% urea in sealed bags after manual air removal. Five diets formulated to be approximately isonitrogenous (about 30% crude protein) and close in gross energy were prepared with 0, 15, 30, 45 and 60% treated mixture and fed in triplicate to 25 fingerlings per tank for 90 days. Apparent crude protein, measured by Kjeldahl nitrogen ($N \times 6.25$), increased from 7.2 to 13.0% DM. The quantitative urea-nitrogen balance showed that 10 g urea/kg DM supplied 4.665 g N/kg, equivalent to 2.92 percentage points of crude-protein equivalent. This accounts for 50.3% of the total 5.8-point increase, meaning that 49.7% of the observed increase cannot be explained by the nitrogen initially supplied as urea. Crude-protein values are therefore interpreted as apparent crude protein derived from total Kjeldahl nitrogen. Fermentation also reduced crude fibre of the mixture (7.2 to 5.7%), cassava cyanide (42.1 to 8.3 mg HCN eq/kg), rice bran phytic acid (5.42 to 0.46 mg/g), and the rice bran free fatty acid index (12.8 to 4.6% oleic acid). F30 showed the best observed performance: weight gain increased by 18.4% in tilapia and 20.1% in carp relative to the control, while feed conversion ratio decreased from 1.63 to 1.44 and from 1.72 to 1.50, respectively. Quadratic fits located the weight-gain vertex at 29.8% for tilapia and 32.2% for carp, with 95% intervals of 27.5–32.1% and 29.9–34.8%. The operational interpretation is therefore an optimal zone close to 30% for both species. Survival was analysed using a generalized linear model with a binomial distribution, whereas water-quality parameters are presented as mean $\pm$ SE over the 90-day trial.

Keywords:

Solid-state fermentation, *Saccharomyces cerevisiae*, cassava, rice bran, *Oreochromis niloticus*, *Cyprinus carpio*, antinutritional factors, phytic acid, feed conversion ratio, sustainable aquaculture.

* Corresponding Author:

Rindra Rabarison, rindarabarison19@gmail.com;Tel.: +261 340790193, <http://orcid.org/0009-0003-3993-628X>

© 2026 Copyright by the Authors Rindra Rabarison & Colette Ashande Masengo.

Licensed as an open access article using a CC-BY-NC-SA 4.0 license.

1. Introduction

L'aquaculture continentale est le secteur de production alimentaire dont la croissance est la plus rapide, et le tilapia du Nil comme la carpe commune figurent parmi les espèces les plus produites au monde (FAO, 2024). Cette expansion se heurte à une contrainte structurelle : la dépendance des formules d'aliment à la farine de poisson et au tourteau de soja, dont le prix est volatil, l'approvisionnement incertain et l'empreinte environnementale contestée (Siddik et al., 2024). Dans les exploitations tropicales de petite et moyenne échelle, l'aliment absorbe couramment 60 à 70 % des charges d'exploitation.

Deux sous-produits locaux s'imposent naturellement comme alternatives : le manioc et le son de riz. Le premier est cultivé sur l'ensemble de la ceinture tropicale et fournit une source d'énergie abondante et bon marché ; le second est le coproduit dominant du décorticage du riz, disponible en quantité dans toutes les zones rizicoles. À l'état brut, l'un et l'autre présentent cependant des limites bien documentées.

Le manioc combine une teneur en protéine brute très faible (3 à 4 % MS) et la présence de glucosides cyanogènes linamarine et lotaustaline dont l'hydrolyse libère de l'acide cyanhydrique (Malik et al., 2025). Il ne peut donc servir que de source d'énergie, et seulement après détoxification.

Le son de riz présente un profil plus complexe. Il est plus riche en protéine (13 à 14 % MS) et surtout très riche en lipides (14 à 18 %), ce qui en fait une source d'énergie remarquable. Mais trois facteurs limitent son emploi. Le premier est sa teneur élevée en acide phytique de l'ordre de 5 à 6 mg/g, l'une des plus fortes parmi les sous-produits céréaliers qui chélate le phosphore, le zinc, le fer et le calcium et réduit la digestibilité protéique. Le deuxième est sa fraction fibreuse élevée, associée à une teneur en silice importante. Le troisième, propre au son de riz et souvent sous-estimé, est le rancissement hydrolytique : la lipase endogène, libérée au décorticage, hydrolyse rapidement les triglycérides et fait grimper l'indice d'acidité en quelques jours, ce qui dégrade l'appétence et la valeur énergétique et limite fortement la durée de conservation (Manlapig & Matsui, 2025).

La fermentation microbienne peut contribuer à lever plusieurs de ces verrous en modifiant la fraction fibreuse, en favorisant des activités enzymatiques microbiennes et en transformant une partie des constituants antinutritionnels (Siddik et al., 2024 ; Malik et al., 2025). En présence d'une source d'azote non protéique, une incorporation de cet azote dans la biomasse microbienne est biologiquement plausible, mais elle ne peut être déduite d'un dosage de l'azote total seul. La

littérature rapporte également la formation de métabolites tels que des acides organiques, des vitamines du groupe B et des composés issus des parois microbiennes ; leurs effets éventuels chez le poisson doivent toutefois être distingués des mécanismes directement mesurés dans la présente étude (Abd El-Naby et al., 2024).

Parmi les micro-organismes mobilisables, la levure boulangère (*S. cerevisiae*) présente un profil particulièrement adapté aux contextes à ressources limitées : disponible dans le commerce de détail le plus modeste, elle ne requiert ni chaîne du froid ni matériel de laboratoire, tolère de larges plages de température et d'humidité, et son innocuité est reconnue de longue date. Au-delà de son rôle fermentaire, elle apporte des parois riches en β -glucanes et en mannanes, dont l'effet immunostimulant a été démontré chez le tilapia : Sutthi et al. (2025) rapportent qu'une supplémentation à 10–20 g/kg améliore la croissance, la réponse immunitaire et la résistance aux pathogènes.

Les travaux disponibles sur les sons fermentés convergent. Zaineldin et al. (2025) montrent qu'une incorporation croissante de remoulages de riz fermentés dans l'aliment du tilapia améliore la croissance, la morphologie intestinale, la réponse immunitaire et le statut antioxydant. Mahadik et al. (2024) établissent que le son de riz fermenté à la levure et aux probiotiques constitue la meilleure source de carbone testée pour l'élevage d'alevins de tilapia GIFT en système biofloc, avec amélioration conjointe de la qualité de l'eau, de la croissance et du développement des villosités intestinales. Sur substrat céréalier voisin, Mohammady et al. (2023) démontrent qu'une fermentation à la levure boulangère abaisse la cellulose brute de 13,02 % à 9,28 %, porte la protéine brute à 22,35 % et effondre l'acide phytique de 4,31 à 0,08 mg/g. Sur substrat manioc, Amare et al. (2024) établissent que la fermentation à la levure élève la protéine brute de manière comparable aux fermentations au liquide ruminal. Chez la carpe, El-Mashtoly et al. (2024) documentent l'amélioration des biomarqueurs sanguins et de la capacité antioxydante sous supplémentation en *S. cerevisiae*, tandis qu'Ajamhasani et al. (2023) confirment l'intérêt des sources carbonées fermentées.

Les objectifs spécifiques sont donc : (i) caractériser l'effet de la fermentation à la levure boulangère sur la composition, les facteurs antinutritionnels et la stabilité d'un mélange manioc-son de riz ; (ii) évaluer l'effet de cinq niveaux d'incorporation sur la croissance, l'efficacité alimentaire et la composition corporelle des deux espèces ; et (iii) déterminer par modélisation le niveau optimal pour chacune.

2. Matériel et Méthodes

2.1. Site et durée de l'essai

L'essai a été conduit sur 90 jours consécutifs, précédés de 14 jours d'acclimatation, dans une station piscicole expérimentale de zone tropicale d'altitude (température moyenne de l'eau 26,8 °C). La photopériode était naturelle (environ 12 h : 12 h).

2.2. Matières premières et protocole de fermentation

Substrats. Les racines de manioc (variété douce) ont été épiluchées, lavées, râpées puis pressées afin d'éliminer une partie de l'eau de constitution le râpage étant essentiel car il rompt les tissus et met en contact la linamarase endogène avec ses substrats cyanogènes. Le son de riz, prélevé à la sortie de décortiqueuse et utilisé dans les 24 heures pour limiter le rancissement pré-fermentaire, a été tamisé (maille 2 mm) pour éliminer les balles et les brisures.

Le mélange fermentescible a été constitué dans un rapport manioc râpé 60 % / son de riz 40 % (base matière sèche). Ce ratio concilie trois exigences : la richesse en amidon fermentescible du manioc, qui fournit le carbone nécessaire à la multiplication de la levure ; l'apport azoté et lipidique du son de riz ; et la dilution de la charge fibreuse et phytique du son par le manioc, plus pauvre en fibres après fermentation.

ensuite été séché au soleil sur claies pendant 48 h jusqu'à une humidité résiduelle inférieure à 12 %, broyé (grille 0,8 mm) et conservé en sacs opaques à l'abri de l'humidité. Un lot témoin non fermenté, constitué du même mélange simplement séché et broyé, a été préparé en parallèle pour la comparaison bromatologique. Compte tenu de l'emploi d'urée, l'interprétation de l'enrichissement azoté a été fondée sur un bilan massique de l'azote ajouté et sur la PB apparente mesurée par Kjeldahl, méthode qui quantifie l'azote total sans distinguer ses différentes formes chimiques.

2.3. Analyses des matières premières

La composition centésimale a été déterminée selon des méthodes normalisées : matière sèche par AOAC 934.01, protéine brute par Kjeldahl selon AOAC 2001.11 avec conversion $N \times 6,25$, matière grasse par extraction à l'éther selon AOAC 920.39, cellulose brute selon AOAC 978.10 et cendres selon AOAC 942.05 (AOAC INTERNATIONAL, 2023). L'énergie brute a été déterminée par calorimétrie à la bombe conformément au principe de l'ISO 9831:1998. Les cyanogènes totaux du manioc ont été déterminés par la méthode au picrate de Bradbury, Egan et Bradbury (1999) et exprimés en mg d'équivalent HCN/kg MS.

Tableau 1 : Inoculum et additifs. Par kilogramme de matière sèche de substrat

Additif	Dose	Fonction
Levure boulangère sèche active (<i>S. cerevisiae</i>)	20 g (2 %)	Inoculum fermentaire
Mélasse de canne	30 g (3 %)	Source de carbone rapidement assimilable, amorce de la fermentation
Urée technique	10 g (1 %)	Source d'azote non protéique ; apport de 4,665 g N/kg MS, équivalent à 2,92 points de PB apparente au facteur 6,25
Eau potable	qsp 50 % d'humidité	Milieu réactionnel

La levure a été préalablement réactivée 20 minutes dans de l'eau tiède (35 °C) additionnée de mélasse, jusqu'à apparition d'une mousse dense.

Conduite de la fermentation. Le mélange homogénéisé a été tassé dans des sacs en polyéthylène de 20 kg, l'air résiduel expulsé manuellement, puis les sacs ont été scellés hermétiquement et incubés 72 heures à 30 ± 2 °C. Le procédé est qualifié de fermentation en conditions fortement limitées en oxygène. À l'ouverture, le produit présentait une odeur alcoolisée-acidulée caractéristique et un pH abaissé. Il a

L'acide phytique a été déterminé après extraction/précipitation au chlorure ferrique selon Wheeler et Ferrel (1971), les tanins condensés par la méthode à la vanilline acidifiée de Broadhurst et Jones (1978), et l'indice d'acidité du son de riz par titrimétrie des acides gras libres selon AOAC 940.28, exprimé en pourcentage d'acide oléique. Toutes les analyses ont été réalisées en triplicat. Le Kjeldahl mesure l'azote total et ne distingue pas l'azote protéique de l'azote non protéique.

Bilan quantitatif de l'azote apporté par l'urée. L'urée utilisée contient 46,65 % d'azote. À la dose de 10 g d'urée/kg de matière sèche de substrat, l'apport correspond à 4,665 g N/kg. Après application du facteur Kjeldahl 6,25, cet apport équivalait à 29,16 g de PB/kg, soit 2,92 points de pourcentage de PB apparente. La PB du mélange est passée de 7,2 à 13,0 %, soit une augmentation de 5,8 points. La contribution maximale de l'azote initialement apporté par l'urée représente donc $2,92/5,8 \times 100 = 50,3$ % de cette augmentation.

Résultats du contrôle de l'azote non protéique lié à l'urée. Le bilan massique montre que l'azote uréique initial peut expliquer au maximum 50,3 % de la hausse de PB apparente. Par différence, 2,88 points de PB, soit 49,7 % de l'augmentation observée, ne sont pas imputables à l'azote de l'urée initialement ajouté. Cette séparation quantitative permet d'éviter d'assimiler l'ensemble du passage de 7,2 à 13,0 % à un enrichissement en protéine vraie.

Paramètre	Tilapia du Nil	Carpe commune
Poids initial moyen	12,4 ± 0,3 g	14,8 ± 0,4 g
Effectif par unité	25 poissons	25 poissons
Nombre d'unités	15 (5 régimes × 3 répétitions)	15 (5 régimes × 3 répétitions)
Volume utile	500 L	500 L

Interprétation analytique. Le dosage Kjeldahl mesure l'azote total et ne sépare pas l'azote protéique, l'urée résiduelle et les autres formes d'azote non protéique. Les résultats sont donc rapportés comme protéine brute apparente. Le bilan de l'urée établit néanmoins que l'apport initial d'azote uréique est quantitativement insuffisant pour expliquer à lui seul l'augmentation totale de 5,8 points observée après fermentation. Le résultat robuste de l'étude est ainsi l'augmentation de l'azote total exprimé en PB apparente, accompagnée d'une contribution maximale calculée de l'urée de 2,92 points.

2.4. Formulation des régimes expérimentaux

Cinq régimes formulés pour être approximativement isoprotéiques (≈ 30 % PB) et proches en énergie brute ($\approx 18,5$ MJ/kg) ont été préparés en substituant progressivement le tourteau de soja et le maïs par le mélange fermenté : T0 (0 %), F15 (15 %), F30 (30 %), F45 (45 %) et F60 (60 %). Les valeurs analysées montrent néanmoins une légère diminution de la PB (30,2 à 29,6 %) et de l'énergie brute (18,6 à 18,3 MJ/kg) avec l'incorporation. L'énergie digestible ou métabolisable n'a pas été mesurée ; l'équivalence énergétique nutritionnelle des régimes ne peut donc pas être affirmée au-delà de leur proximité en énergie brute.

L'huile végétale a été progressivement retirée à mesure que le taux d'incorporation augmentait, le son de riz du mélange fermenté apportant lui-même une fraction lipidique substantielle. Les ingrédients ont été mélangés à sec, humidifiés à l'eau chaude (80 °C), granulés à la presse (filière 2 mm), séchés à l'étuve à 50 °C pendant 12 h, puis conservés à 4 °C. Un pré-mix vitaminique et minéral (1 %) et un liant (alginate de sodium, 1 %) ont été incorporés à tous les régimes ; la lysine et la méthionine de synthèse ont été ajustées pour couvrir les besoins des deux espèces.

2.5. Dispositif expérimental et conduite d'élevage

Tableau 2 : Dispositif factoriel complètement randomisé 2×5 (2 espèces × 5 régimes) en triplicat, soit 30 unités expérimentales. Le bac, et non le poisson individuel, constitue l'unité expérimentale pour l'évaluation de l'effet du régime.

Les poissons ont été nourris trois fois par jour (08 h, 12 h, 16 h) à raison de 5 % du poids vif les 30 premiers jours, 4 % du jour 31 au jour 60, puis 3 % jusqu'au terme. Les rations ont été réajustées à chaque pesée bimensuelle. Un renouvellement de 20 % du volume d'eau était effectué quotidiennement, avec siphonage des fèces et des refus 30 minutes après chaque distribution. Le suivi de la qualité de l'eau a été réalisé dans chaque bac trois fois par semaine, le matin avant la première distribution d'aliment. La température, l'oxygène dissous et le pH ont été mesurés à chaque séance à l'aide d'appareils portatifs adaptés à l'aquaculture, dont les sondes ont été vérifiées et calibrées conformément aux procédures du fabricant. L'azote ammoniacal (NH_4^+) et les nitrites (NO_2^-) ont été déterminés une fois par semaine par méthode colorimétrique sur des prélèvements d'eau provenant de chaque bac. Le bac a constitué l'unité expérimentale. Les mesures répétées ont été analysées en tenant compte de leur dépendance au sein d'un même bac, avec le régime, l'espèce et le temps comme effets fixes et le bac comme effet aléatoire. Les valeurs du Tableau 6 sont présentées en moyenne $\pm$ ES sur l'ensemble de la période.

2.6. Paramètres mesurés et formules de calcul

Paramètre	Formule
Gain de poids (GP, g)	$P_f - P_i$
Gain moyen quotidien (GMQ, g/j)	$(P_f - P_i) / t$
Taux de croissance spécifique (TCS, %/j)	$[(\ln P_f - \ln P_i) / t] \times 100$
Indice de consommation (IC)	Aliment ingéré / Gain de poids
Taux d'efficacité protéique (TEP)	Gain de poids / Protéine brute ingérée
Taux de survie (%)	$(\text{Effectif final} / \text{Effectif initial}) \times 100$
Facteur de condition de Fulton (K)	$(P_f / L^3) \times 100$

2.7. Analyses statistiques

Pour les performances zootechniques, l'unité expérimentale est le bac ($n = 3$ bacs par régime et par espèce) et non le poisson individuel. La normalité des résidus et l'homogénéité des variances sont évaluées respectivement par les tests de Shapiro–Wilk et de Levene. Pour les variables continues, le dispositif factoriel 2×5 est analysé par une ANOVA à deux facteurs intégrant les effets du régime, de l'espèce et de leur interaction, complétée par le test de Tukey HSD lorsque nécessaire. Les résultats par espèce sont présentés en moyenne $\pm$ ES. Les statistiques factorielles rapportées ont été calculées à partir des observations obtenues au niveau des bacs. Pour la survie, les effectifs observés ont été analysés par un modèle linéaire généralisé à distribution binomiale. Le seuil de significativité est fixé à $\alpha = 0,05$.

$$y = ax^2 + bx + c \Rightarrow x_{\text{opt}} = -\frac{b}{2a}$$

Les traitements et les figures ont été réalisés sous R version 4.3 (ggplot2, dplyr, tidyr, patchwork). Le niveau d'inclusion optimal a été exploré par régression polynomiale du second degré sur les cinq niveaux expérimentaux. Le sommet a été calculé par $x^* = -b/(2a)$. Afin de représenter l'incertitude associée au modèle, un intervalle à 95 % du sommet a été obtenu par simulation paramétrique (100 000 tirages multivariés des coefficients selon leur matrice de covariance OLS, en retenant les sommets compris entre 0 et 60 % et la courbure attendue). Cet intervalle est interprété comme une mesure de l'incertitude de l'ajustement quadratique.

3. Résultats

3.1. Effet de la fermentation sur les substrats

Tableau 3 : Composition des substrats avant et après fermentation (% MS sauf indication ; moyenne $\pm$ ES, n = 3)

Paramètres	Manioc brut	Manioc fermenté	Son de riz brut	Son de riz fermenté	Mélange brut	Mélange fermenté
Matière sèche (%)	88,6 $\pm$ 0,3	90,2 $\pm$ 0,2	89,8 $\pm$ 0,2	90,6 $\pm$ 0,3	89,1 $\pm$ 0,2	90,4 $\pm$ 0,2
Protéine brute	3,1 $\pm$ 0,1	9,8 $\pm$ 0,2	13,4 $\pm$ 0,3	17,8 $\pm$ 0,3	7,2 $\pm$ 0,2	13,0 $\pm$ 0,2
Matière grasse	0,8 $\pm$ 0,1	1,4 $\pm$ 0,1	15,6 $\pm$ 0,4	13,1 $\pm$ 0,3	6,7 $\pm$ 0,2	6,1 $\pm$ 0,2
Cellulose brute	4,2 $\pm$ 0,2	3,4 $\pm$ 0,1	11,8 $\pm$ 0,3	9,2 $\pm$ 0,2	7,2 $\pm$ 0,2	5,7 $\pm$ 0,2
Cendres	2,4 $\pm$ 0,1	3,1 $\pm$ 0,1	10,2 $\pm$ 0,3	11,0 $\pm$ 0,3	5,5 $\pm$ 0,2	6,3 $\pm$ 0,2
ENA	89,5 $\pm$ 0,4	82,3 $\pm$ 0,4	49,0 $\pm$ 0,5	48,9 $\pm$ 0,5	73,4 $\pm$ 0,4	68,9 $\pm$ 0,4
Énergie brute (MJ/kg MS)	16,2 $\pm$ 0,1	16,9 $\pm$ 0,1	18,9 $\pm$ 0,1	19,3 $\pm$ 0,1	17,3 $\pm$ 0,1	17,9 $\pm$ 0,1
Cyanures (mg HCN eq/kg)	42,1 $\pm$ 1,4	8,3 $\pm$ 0,5	—	—	25,3 $\pm$ 0,9	5,0 $\pm$ 0,3
Acide phytique (mg/g)	0,42 $\pm$ 0,03	0,09 $\pm$ 0,01	5,42 $\pm$ 0,14	0,46 $\pm$ 0,03	2,42 $\pm$ 0,08	0,24 $\pm$ 0,02
Tanins condensés (mg/g)	1,8 $\pm$ 0,1	0,6 $\pm$ 0,1	2,1 $\pm$ 0,1	0,7 $\pm$ 0,1	1,9 $\pm$ 0,1	0,6 $\pm$ 0,1
Indice d'acidité (% ac. oléique)	—	—	12,8 $\pm$ 0,4	4,6 $\pm$ 0,2	12,8 $\pm$ 0,4	4,6 $\pm$ 0,2
pH final	—	4,3 $\pm$ 0,1	—	4,5 $\pm$ 0,1	—	4,4 $\pm$ 0,1

ENA: extractif non azoté.

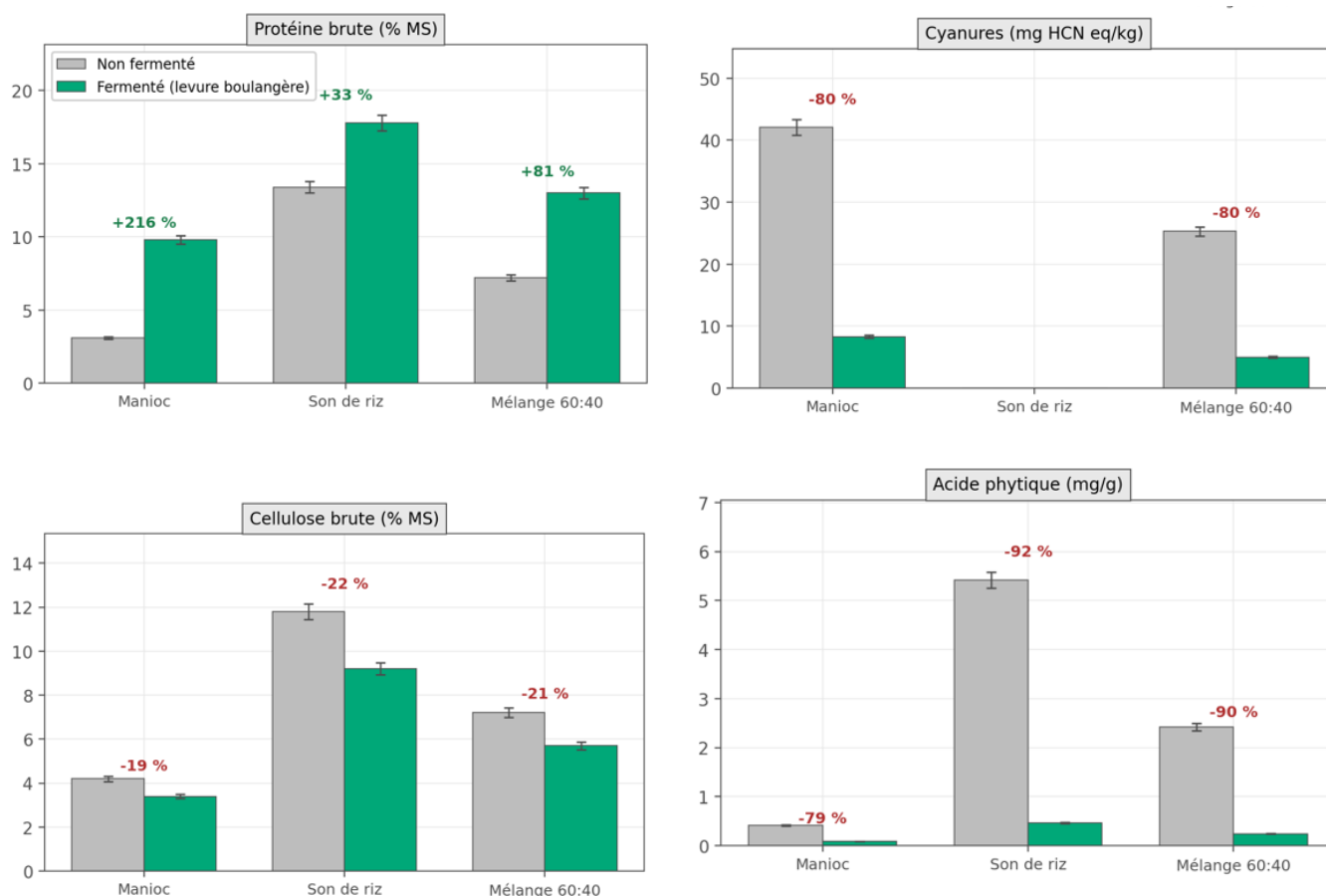


Figure 1 : Effet de la fermentation à la levure boulangère (72 h, 30 °C) sur la composition et les facteurs antinutritionnels des substrats

Les changements les plus marquants concernent la protéine brute apparente du mélange, qui passe de 7,2 % à 13,0 % MS (+81 %), la cellulose brute, qui recule de 21 %, ainsi que plusieurs facteurs antinutritionnels. Les cyanures du manioc diminuent de 80 %, l'acide phytique du son de riz de 92 % et les tanins condensés du mélange de 68 %. L'indice d'acidité du son de riz chute de 12,8 % à 4,6 % d'acide oléique. Le bilan de l'azote uréique indique qu'au maximum 2,92 des 5,8 points d'augmentation de PB apparente sont attribuables à l'azote fourni par l'urée, soit 50,3 %. Les 2,88 points restants correspondent à une augmentation d'azote total qui ne peut pas être expliquée par l'urée initialement incorporée.

3.2. Composition des régimes expérimentaux

Tableau 4 : Formulation des régimes expérimentaux (g/kg)

Ingrédient	T0	F15	F30	F45	F60
Mélange fermenté manioc-son de riz	0	150	300	450	600
Farine de poisson (55 % PB)	150	150	150	150	150
Tourteau de soja (44 % PB)	340	295	245	195	150
Tourteau d'arachide	120	110	100	90	60
Farine de maïs	250	165	85	5	0
Son de riz non fermenté	80	70	60	50	10
Huile végétale	30	30	30	30	0
Prémix vitamines-minéraux	10	10	10	10	10
Alginate de sodium (liant)	10	10	10	10	10
L-lysine + DL-méthionine	10	10	10	10	10
Total	1 000	1 000	1 000	1 000	1 000

Tableau 5 : Composition analysée des régimes (% MS)

Paramètre	T0	F15	F30	F45	F60
Protéine brute	30,2 ± 0,2	30,1 ± 0,2	30,0 ± 0,3	29,8 ± 0,2	29,6 ± 0,3
Matière grasse	7,4 ± 0,1	7,3 ± 0,1	7,2 ± 0,1	7,1 ± 0,1	7,0 ± 0,1
Cellulose brute	4,1 ± 0,1	4,5 ± 0,1	5,0 ± 0,1	5,6 ± 0,2	6,4 ± 0,2
Cendres	8,6 ± 0,2	8,9 ± 0,2	9,3 ± 0,2	9,7 ± 0,2	10,2 ± 0,3
Énergie brute (MJ/kg)	18,6 ± 0,1	18,5 ± 0,1	18,5 ± 0,1	18,4 ± 0,1	18,3 ± 0,1

L'incorporation croissante élève progressivement la cellulose brute des régimes (4,1 % → 6,4 %), principal facteur limitant identifié à F60.

3.3. Qualité de l'eau

Tableau 6 : Paramètres physico-chimiques de l'eau (moyenne $\pm$ ES sur 90 jours)

Paramètre	T0	F15	F30	F45	F60	Norme
Température (°C)	26,8 $\pm$ 0,4	26,9 $\pm$ 0,3	26,8 $\pm$ 0,4	26,7 $\pm$ 0,4	26,8 $\pm$ 0,4	25–30
Oxygène dissous (mg/L)	6,1 $\pm$ 0,2	6,2 $\pm$ 0,2	6,3 $\pm$ 0,2	6,1 $\pm$ 0,2	5,8 $\pm$ 0,3	> 5
pH	7,4 $\pm$ 0,1	7,3 $\pm$ 0,1	7,3 $\pm$ 0,1	7,2 $\pm$ 0,1	7,1 $\pm$ 0,1	6,5–8,5
NH ₄ ⁺ total (mg/L)	0,42 $\pm$ 0,04	0,36 $\pm$ 0,03	0,29 $\pm$ 0,03	0,33 $\pm$ 0,03	0,44 $\pm$ 0,05	< 0,5
NO ₂ ⁻ (mg/L)	0,08 $\pm$ 0,01	0,07 $\pm$ 0,01	0,05 $\pm$ 0,01	0,06 $\pm$ 0,01	0,09 $\pm$ 0,01	< 0,1

Aucun paramètre moyen présenté ne sort des plages recommandées. La concentration moyenne d'azote ammoniacal est plus faible sous F30 (0,29 mg/L) que sous T0 (0,42 mg/L), tandis que la valeur la plus élevée est observée sous F60 (0,44 mg/L). L'analyse longitudinale des mesures répétées a été réalisée en conservant le bac comme unité expérimentale et les mesures successives comme répétitions temporelles. Dans les conditions de l'essai, F30 est ainsi associé à la plus faible concentration moyenne de NH₄⁺ dans l'eau, ce qui traduit une meilleure utilisation apparente de l'azote au niveau du système d'élevage, sans assimiler cette observation à une mesure directe de la rétention azotée corporelle.

3.4. Performances de croissance

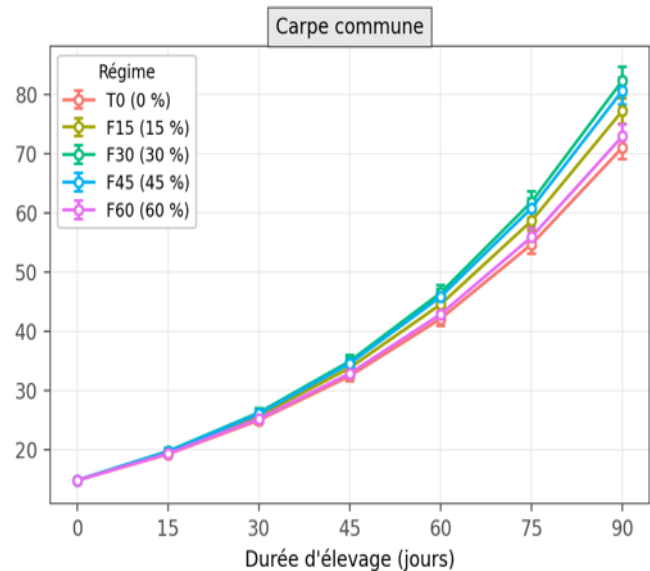
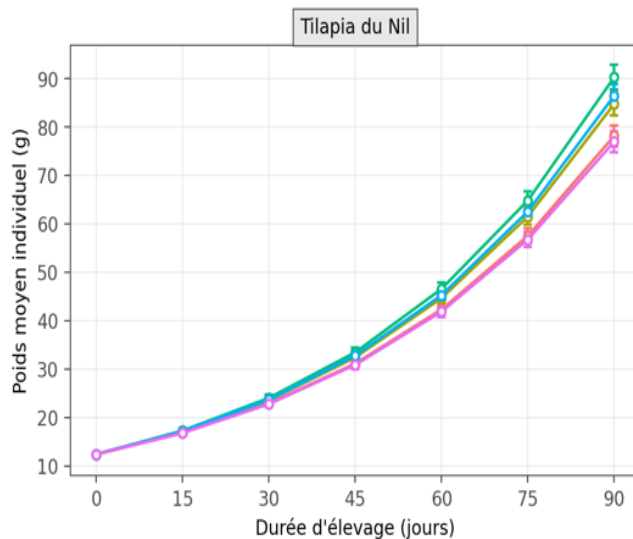


Figure 2 : Cinétique de croissance sur 90 jours selon le taux d'incorporation du mélange fermenté. Les courbes se séparent nettement à partir du jour 45 ; l'écart maximal est atteint au jour 90 entre F30 et F60.

Tableau 7 : Performances zootechniques du tilapia du Nil après 90 jours

Paramètre	T0	F15	F30	F45	F60	ES	p
Poids initial (g)	12,4	12,4	12,3	12,4	12,4	0,08	0,908
Poids final (g)	78,2 ^c	84,8 ^b	90,3 ^a	86,5 ^b	77,0 ^c	1,38	< 0,001
Gain de poids (g)	65,8 ^c	72,4 ^b	77,9 ^a	74,1 ^b	64,6 ^c	1,35	< 0,001
GMQ (g/j)	0,731 ^c	0,804 ^b	0,866 ^a	0,823 ^b	0,718 ^c	0,015	< 0,001
TCS (%/j)	2,05 ^c	2,14 ^b	2,21 ^a	2,16 ^b	2,03 ^c	0,021	< 0,001
Indice de consommation	1,63 ^c	1,52 ^b	1,44 ^a	1,49 ^{ab}	1,66 ^c	0,032	< 0,001
TEP	2,03 ^c	2,19 ^b	2,31 ^a	2,25 ^{ab}	2,04 ^c	0,039	< 0,001
Survie (%)	94,7	96,0	97,3	96,0	93,3	—	0,808
Facteur de condition K	1,84 ^b	1,89 ^{ab}	1,94 ^a	1,90 ^{ab}	1,82 ^b	0,023	0,016

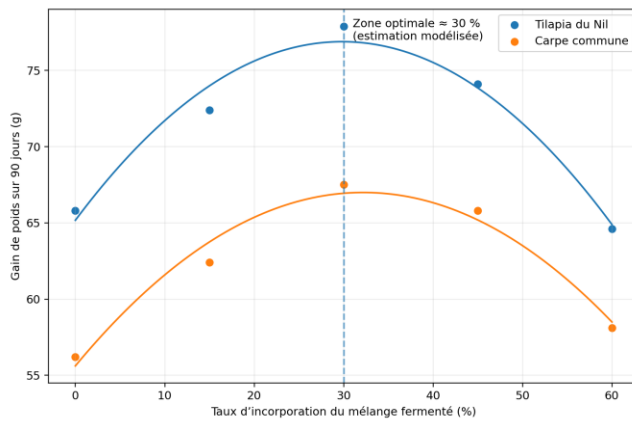
Tableau 8 : Performances zootechniques de la carpe commune après 90 jours

Paramètre	T0	F15	F30	F45	F60	ES	p
Poids initial (g)	14,8	14,8	14,7	14,8	14,8	0,10	0,921
Poids final (g)	71,0 ^d	77,2 ^b	82,3 ^a	80,6 ^{ab}	72,9 ^{cd}	1,29	< 0,001
Gain de poids (g)	56,2 ^d	62,4 ^b	67,5 ^a	65,8 ^{ab}	58,1 ^{cd}	1,26	< 0,001
GMQ (g/j)	0,624 ^d	0,693 ^b	0,750 ^a	0,731 ^{ab}	0,646 ^{cd}	0,014	< 0,001
TCS (%/j)	1,74 ^c	1,84 ^b	1,91 ^a	1,88 ^{ab}	1,77 ^c	0,018	< 0,001
Indice de consommation	1,72 ^c	1,60 ^b	1,50 ^a	1,53 ^a	1,68 ^c	0,030	< 0,001
TEP	1,93 ^c	2,08 ^b	2,22 ^a	2,19 ^a	2,01 ^{bc}	0,036	< 0,001
Survie (%)	94,7	96,0	97,3	96,0	94,7	—	0,917
Facteur de condition K	1,72 ^b	1,77 ^{ab}	1,83 ^a	1,80 ^a	1,74 ^b	0,021	0,033

Les comparaisons des variables continues sont interprétées au niveau du bac, conformément au dispositif en triplicat. Les lettres de Tukey et les p-values des Tableaux 7 et 8 sont conservées pour les variables continues. Pour la survie, les effectifs observés ont été analysés par GLM binomial. L'effet du régime n'est pas statistiquement significatif chez le tilapia ($p = 0,808$) ni chez la carpe ($p = 0,917$). Ainsi, les différences de survie observées entre les régimes sont décrites comme des variations numériques sans preuve d'un effet significatif du régime au seuil de 5 %.

Tableau 9 : Synthèse de l'ANOVA factorielle 2×5 des variables continues.

Variable	F régime	p régime	F espèce	p espèce	F interaction	p interaction
Poids initial	0,49	0,745	1756,10	< 0,001	0,00	1,000
Poids final	30,24	< 0,001	60,30	< 0,001	0,70	0,598
Gain de poids	31,65	< 0,001	117,71	< 0,001	0,74	0,578
GMQ	31,65	< 0,001	117,82	< 0,001	0,76	0,566
TCS	28,08	< 0,001	549,67	< 0,001	0,52	0,720
Indice de consommation	17,92	< 0,001	8,74	0,008	0,43	0,788
TEP	21,21	< 0,001	10,80	0,004	0,38	0,820
Facteur de condition K	8,56	< 0,001	57,92	< 0,001	0,29	0,882



favorable autour de 30 %, sans justifier une différence biologique précise entre 29,8 et 32,2 %.

3.5. Détermination du niveau d'inclusion optimal

Figure 3 : Courbe dose-réponse du gain de poids. Les sommets quadratiques sont estimés à 29,8 % pour le tilapia et 32,2 % pour la carpe ; les intervalles indicatifs à 95 % issus de l'incertitude du modèle sont respectivement 27,5–32,1 % et 29,9–34,8 %. L'interprétation biologique retenue reste une zone optimale proche de 30 %.

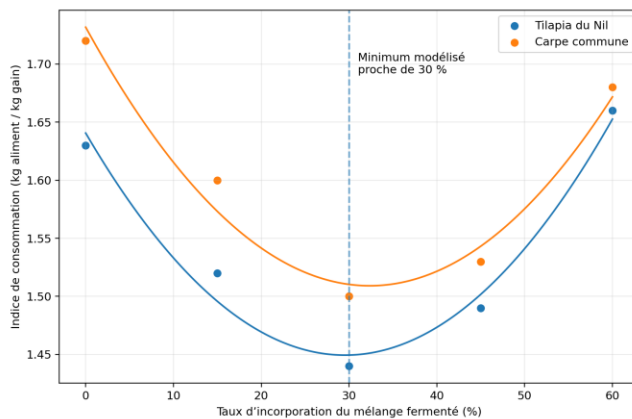


Figure 4 : Indice de consommation en fonction du taux d'incorporation. Les minima quadratiques sont estimés à 29,5 % chez le tilapia et 32,4 % chez la carpe, avec des intervalles indicatifs à 95 % de 27,4–31,7 % et 30,0–35,1 %,

Espèce	Équation de régression	R ²	Sommet du modèle	IC 95 % indicatif du sommet
Tilapia du Nil	$y = -0,01317 x^2 + 0,7858 x + 65,17$	0,968	29,8 %	27,5–32,1 %
Carpe commune	$y = -0,01098 x^2 + 0,7070 x + 55,62$	0,968	32,2 %	29,9–34,8 %

La modélisation de l'indice de consommation converge avec celle du gain de poids : minimum estimé à 29,5 % pour le tilapia ($R^2 = 0,972$; intervalle indicatif 27,4–31,7 %) et à 32,4 % pour la carpe ($R^2 = 0,966$; 30,0–35,1 %). La superposition de ces intervalles et leur proximité avec F30 renforcent une conclusion pratique simple : les données soutiennent une zone

3.6. Composition corporelle

Tableau 10 : Composition corporelle en fin d'essai (% du poids frais)

Espèce	Paramètre	T0	F15	F30	F45	F60	p
Tilapia	Matière sèche	26,8	27,1	27,4	27,2	26,5	0,238
Tilapia	Protéine brute	16,2 ^b	16,8 ^{ab}	17,3 ^a	16,9 ^{ab}	16,0 ^b	0,021
Tilapia	Matière grasse	6,8 ^a	6,5 ^{ab}	6,1 ^b	6,4 ^{ab}	6,9 ^a	0,029
Tilapia	Cendres	3,4	3,5	3,6	3,7	3,8	0,264
Carpe	Matière sèche	27,4	27,8	28,1	27,9	27,5	0,352
Carpe	Protéine brute	15,7 ^b	16,3 ^{ab}	16,9 ^a	16,5 ^a	15,9 ^b	0,024
Carpe	Matière grasse	7,4 ^a	7,1 ^{ab}	6,7 ^b	7,0 ^{ab}	7,5 ^a	0,038
Carpe	Cendres	3,6	3,7	3,8	3,8	3,9	0,401

Le régime F30 augmente significativement la protéine corporelle et réduit le dépôt lipidique chez les deux espèces.

4. Discussion

IV.1. La fermentation comme outil de requalification nutritionnelle

L'augmentation de 81 % de la protéine brute apparente du mélange doit être interprétée en tenant compte de l'urée. À 1 % d'urée, l'apport est de 4,665 g N/kg de matière sèche, soit 2,92 points de PB équivalente après application du facteur 6,25. La hausse observée est de 5,8 points, de 7,2 à 13,0 %. L'azote uréique initial représente donc au maximum 50,3 % de cette augmentation, tandis que 49,7 % — soit 2,88 points de PB — ne peuvent pas être expliqués par l'urée ajoutée au départ. Cette analyse confirme la nécessité de parler de PB apparente, car le Kjeldahl exprime l'azote total sans distinguer les différentes formes azotées. Les mécanismes biologiques susceptibles de contribuer au solde, notamment la croissance microbienne ou un effet de concentration de la matière sèche, constituent des interprétations possibles mais ne sont pas nécessaires pour établir le résultat quantitatif principal.

La littérature fournit des mécanismes explicatifs compatibles avec cette observation, notamment l'accroissement de biomasse microbienne et la transformation des composés azotés lors de fermentations de substrats végétaux (Amare et al., 2024). L'amplitude observée reste du même ordre que des enrichissements en PB rapportés après fermentation de sous-produits céréaliers par *S. cerevisiae* (Mohammady et al., 2023), mais la comparaison doit rester prudente en raison des différences de substrats, d'azote ajouté et de conditions de fermentation.

Le point le plus déterminant pour le manioc reste la forte diminution des cyanures. Le râpage met en contact la linamarase endogène avec les glucosides cyanogènes ; la fermentation et le séchage peuvent ensuite favoriser la dégradation et/ou la volatilisation des composés cyanogènes. Une contribution d'enzymes microbiennes, telle qu'une activité β -glucosidasique, est plausible et décrite dans la littérature (Malik et al., 2025), mais cette activité n'a pas été mesurée ici et doit donc être présentée comme une hypothèse mécanistique, non comme un résultat démontré.

La forte diminution de l'acide phytique du son de riz peut améliorer la disponibilité de minéraux et de nutriments complexés au phytate. Une activité phytasique microbienne constitue un mécanisme explicatif plausible, mais aucune activité enzymatique n'a été dosée dans cette étude. Les conséquences sur l'absorption du phosphore, du zinc, du fer, du calcium ou sur la digestibilité protéique n'ont pas été mesurées directement et ne doivent donc pas être présentées comme démontrées expérimentalement.

IV.2. Un bénéfice propre au son de riz : la stabilisation contre le rancissement

La chute de l'indice d'acidité de 12,8 % à 4,6 % d'acide oléique constitue un résultat spécifique au son de riz, sans équivalent avec le son de blé. La lipase endogène du son de riz, libérée au décorticage lorsque les corps lipidiques du péricarpe entrent en contact avec l'enzyme, hydrolyse les triglycérides à un rythme tel que l'indice d'acidité peut doubler en une semaine à température ambiante. Cette dégradation compromet à la fois l'appétence, la valeur énergétique et la sécurité sanitaire du produit.

Plusieurs mécanismes peuvent contribuer à la stabilisation observée du son de riz : l'acidification du milieu à pH 4,4, la limitation de certaines flores concurrentes et le séchage post-fermentaire à moins de 12 % d'humidité. Ces mécanismes sont cohérents avec la littérature sur le rancissement du son de riz (Manlapig & Matsui, 2025), mais l'activité lipasique et

la dynamique microbienne n'ont pas été mesurées directement dans la présente étude. La diminution de l'indice d'acidité constitue donc le résultat expérimental principal, tandis que les mécanismes proposés restent des hypothèses explicatives.

IV.3. Réponse zootechnique et effet de seuil

La réponse en cloche, avec les meilleures performances observées autour de F30, est compatible avec le schéma souvent rapporté pour des ingrédients végétaux fermentés. L'amélioration entre 0 et 30 % peut être associée à des modifications de la digestibilité, de l'appétence ou des métabolites de fermentation décrites dans la littérature ; une action prébiotique des β -glucanes et mannanes de levure sur le microbiote est également plausible. Toutefois, la digestibilité, le microbiote intestinal, les β -glucanes et les métabolites concernés n'ont pas été mesurés ici. La baisse des performances aux niveaux élevés coïncide avec l'augmentation de la cellulose brute jusqu'à 6,4 % à F60, ce qui fournit une explication nutritionnelle possible, sans démontrer à elle seule le mécanisme causal.

Les ajustements quadratiques situent les sommets du gain de poids à 29,8 % chez le tilapia et 32,2 % chez la carpe. Les intervalles indicatifs calculés à partir de la covariance des coefficients du modèle sont 27,5–32,1 % et 29,9–34,8 %, respectivement. Ces intervalles se chevauchent largement et incluent la dose expérimentale F30. La conclusion robuste n'est donc pas l'existence de deux optima distincts à une décimale près, mais l'existence d'une zone optimale commune proche de 30 %. Des doses plus rapprochées autour de 30 % seraient nécessaires pour affiner cette estimation biologique.

Les profils de réponse suggèrent une différence entre espèces aux taux élevés : la carpe conserve à F45 des performances proches de F30, tandis que le tilapia montre déjà une diminution du gain de poids. Cette observation décrit une tolérance apparente différente dans les conditions de l'essai, mais elle ne doit pas être confondue avec un seuil recommandé ni avec un optimum économique. En l'absence d'essais supplémentaires et d'analyse économique, la recommandation la plus défendable reste un niveau proche de 30 % pour les deux espèces.

La survie moyenne du tilapia demeure légèrement plus faible à F60 qu'à F30, avec 93,3 % à F60 contre 97,3 % à F30. Toutefois, le GLM binomial ne met pas en évidence d'effet significatif du régime ($p = 0,808$). Cette différence doit donc être interprétée comme une variation descriptive et non comme un effet démontré du traitement. La coïncidence avec

un oxygène dissous légèrement plus faible et un azote ammoniacal plus élevé à F60 ne permet pas d'établir un lien causal.

IV.4. Utilisation de l'azote : interprétation prudente

Sous F30, la protéine corporelle est plus élevée et le dépôt lipidique plus faible que sous certains autres régimes, tandis que le taux d'efficacité protéique présente également sa valeur la plus élevée. Ces observations sont compatibles avec une utilisation nutritionnelle plus favorable de l'aliment, mais elles ne constituent pas un bilan direct de la rétention azotée ni une mesure du catabolisme protéique.

La concentration moyenne d'azote ammoniacal est plus faible sous F30 (0,29 mg/L) que sous le témoin (0,42 mg/L). Cette observation peut être compatible avec une meilleure utilisation de l'azote, mais elle peut aussi dépendre du renouvellement d'eau, de la nitrification, de la biomasse, de l'ingestion réelle, de l'activité microbienne et du siphonnage. Un bilan azoté, des mesures directes d'excrétion et une analyse des mesures répétées seraient nécessaires pour démontrer une amélioration de la rétention azotée.

IV.5. Conditions de transfert et réserves

Le transfert de cette technologie appelle plusieurs réserves. La première tient à la charge de travail : la fermentation impose l'épluchage, le râpage, le pressage, le mélange, l'ensachage, la surveillance de l'incubation, le séchage et le broyage. Cette succession d'opérations doit être intégrée à l'organisation quotidienne de l'exploitation.

La deuxième concerne la variabilité du produit fermenté : contrairement à un aliment industriel standardisé, un fermenté artisanal voit sa qualité fluctuer selon la variété de manioc, la fraîcheur du son de riz, la température ambiante, l'étanchéité des sacs et la durée effective de séchage. Cette variabilité, que Siddik et al. (2024) identifient comme le principal obstacle à la généralisation des ingrédients fermentés, impose un contrôle qualité minimal à l'échelle de l'exploitation.

La troisième touche à la saisonnalité du séchage : en saison des pluies, le séchage solaire devient aléatoire et le risque de développement de moisissures donc de mycotoxines augmente sensiblement. Le son de riz, plus riche en lipides que le son de blé, est en outre plus sensible à l'altération oxydative si le séchage traîne.

4.7. Limites de l'étude

Les résultats complémentaires ont permis de mieux encadrer l'interprétation de l'azote et de la qualité de l'eau. Le bilan massique de l'urée a montré qu'à 1 % d'incorporation, elle apporte 4,665 g N/kg de matière sèche, soit 2,92 points de PB équivalente. Cette valeur correspond à 50,3 % de l'augmentation totale de 5,8 points de PB apparente ; les 2,88 points restants, soit 49,7 %, ne sont pas expliqués par l'azote de l'urée initialement apportée. Le suivi de la qualité de l'eau a reposé sur trois contrôles hebdomadaires de la température, de l'oxygène dissous et du pH dans chaque bac, complétés par un dosage hebdomadaire de NH_4^+ et NO_2^- . Les données ont été analysées selon leur structure longitudinale de mesures répétées. Cette fréquence de suivi a permis de contrôler l'évolution des principaux paramètres du milieu tout au long des 90 jours d'essai sans multiplier inutilement les prélèvements. L'optimum biologique reste issu d'une régression sur cinq doses et aucune analyse économique n'a été réalisée ; ces deux éléments limitent respectivement la précision de l'optimum et toute conclusion économique.

5. Conclusion

La fermentation en milieu solide d'un mélange manioc-son de riz (60:40) par la levure boulangère, conduite pendant 72 heures à 30 °C avec 2 % d'inoculum, 3 % de mélasse et 1 % d'urée dans des sacs scellés après expulsion manuelle de l'air, a modifié la composition du substrat : la protéine brute apparente a augmenté, tandis que la cellulose brute, les cyanures, l'acide phytique et l'indice d'acidité ont diminué. Le bilan de l'azote uréique montre que l'urée initialement ajoutée peut représenter au maximum 2,92 points, soit 50,3 % de l'augmentation de 5,8 points de PB apparente. Les résultats confirment donc une augmentation de l'azote total mesuré par Kjeldahl, dont environ la moitié ne peut pas être expliquée par l'azote de l'urée initialement incorporée.

Les régimes, formulés pour être approximativement isoprotéiques et proches en énergie brute, ont donné leurs meilleures performances observées autour de F30 chez les deux espèces. Les ajustements quadratiques du gain de poids et de l'indice de consommation convergent vers une zone optimale proche de 30 %, avec des intervalles qui se chevauchent entre espèces. Les analyses factorielles et binomiales confirment l'intérêt d'interpréter séparément les effets du régime, de l'espèce et de leur interaction, tout en considérant le bac comme unité expérimentale.

Référence

1. Abd El-Naby, A.S., El Asely, A.M., Hussein, M.N., Khattaby, A.A., Sabry, E.A., Abdelsalam, M. & Samir, F. (2024). Effects of dietary fermented *Saccharomyces cerevisiae* extract (Hilyses) supplementation on growth, hematology, immunity, antioxidants, and intestinal health in Nile tilapia. *Scientific Reports*, 14. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-62589-9>
2. Ajamhasani, E., Akrami, R., Najdegerami, E.H., Chitsaz, H. & Shamloofar, M. (2023). Different carbon sources and probiotics in biofloc based common carp (*Cyprinus carpio*) culture: Effects on water quality, growth performance, fish welfare and liver histopathology. *Journal of the World Aquaculture Society*, 54(6), 1546–1562. <https://doi.org/10.1111/jwas.12993>
3. AOAC INTERNATIONAL (2023). Official Methods of Analysis of AOAC INTERNATIONAL, 22nd ed. Latimer, G.W. Jr. (Ed.). Oxford University Press/AOAC INTERNATIONAL.
4. Bradbury, M.G., Egan, S.V. & Bradbury, J.H. (1999). Picrate paper kits for determination of total cyanogens in cassava roots and all forms of cyanogens in cassava products. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 79(4), 593–601. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-0010\(19990315\)79:4<593::AID-JSFA222>3.0.CO;2-2](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0010(19990315)79:4<593::AID-JSFA222>3.0.CO;2-2)
5. Broadhurst, R.B. & Jones, W.T. (1978). Analysis of condensed tannins using acidified vanillin. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 29(9), 788–794. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2740290908>
6. Amare, T.A., Storebakken, T., Mørkøre, T., Nurfeta, A. & Ahlstrøm, Ø. (2024). Potency of cassava leaf as protein source for Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquaculture International*, 32(7), 10197–10214. <https://doi.org/10.1007/s10499-024-01657-3>
7. El-Mashtoly, M., Magouz, F.I., Darwish, S., Amer, A.A., Zaineldin, A.I., Gewaily, M.S. & Dawood, M.A.O. (2024). Dietary *Chlorella vulgaris* and *Saccharomyces cerevisiae* enhanced the growth performance, blood biomarkers, and antioxidative capacity of common carp (*Cyprinus carpio*). *Scientific African*, e02407.

- <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2024.e02407>
8. FAO (2024). The State of World Fisheries and Aquaculture 2024 – Blue Transformation in Action. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
 9. ISO (1998). ISO 9831:1998. Animal feeding stuffs, animal products, and faeces or urine — Determination of gross calorific value — Bomb calorimeter method. International Organization for Standardization.
 10. Mahadik, P.U., Wasave, S.S., Chavan, B.R., Meshram, S.J., Ghode, G.S., Wasave, S.M., Naik, S.D. & Shingare, P.E. (2024). Effect of fermented rice bran as a carbon source for rearing genetically improved farmed Tilapia, *Oreochromis niloticus*, fry in biofloc system. *Aquaculture*, 592, 741246. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2024.741246>
 11. Malik, M.A., Sharma, A., Chuphal, N. & Dar, S. (2025). Fermentation-driven circular aquafeed solutions: sustainable use of agricultural byproducts. *Aquaculture International*, 33, 510. <https://doi.org/10.1007/s10499-025-02184-5>
 12. Manlapig, J.J.D. & Matsui, H. (2025). Production and utilization of fermented rice bran as animal feed. *Animal Science Journal*, 96. <https://doi.org/10.1111/asj.70037>
 13. Mohammady, E.Y., Aboseif, A.M., Soaudy, M.R., Ramadan, E.A. & Hassaan, M.S. (2023). Appraisal of fermented wheat bran by *Saccharomyces cerevisiae* on growth, feed utilization, blood indices, intestinal and liver histology of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*. *Aquaculture*, 575, 739755. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2023.739755>
 14. Rabarison Rindra (2023). Effect of adding worm meal on the growth of carp in aquaculture in Antsirabe Vakinankaratra Madagascar. *Revue Africaine d'Ethnobiologie & Ethnomédecine*, 82–87. <https://doi.org/10.65857/raee.025.v3.i1.30>
 15. Siddik, M.A.B., Julien, B.B., Islam, S.M.M. & Francis, D.S. (2024). Fermentation in aquafeed processing: Achieving sustainability in feeds for global aquaculture production. *Reviews in Aquaculture*, 16(3), 1244–1265. <https://doi.org/10.1111/raq.12894>
 16. Sutthi, N., Wangkahart, E., Panase, P. & Pothakam, N. (2025). *Saccharomyces cerevisiae* supplementation enhances growth and immune response in Nile tilapia during winter stress. *Aquaculture Nutrition*, 2025. <https://doi.org/10.1155/anu/9955148>
 17. Wang, Z., Dong, W.-X., Qiao, F., Du, Z.-Y. & Zhang, M.-L. (2024). Comparison of *Pediococcus pentosaceus* YC64-fermented soybean meal and raw soybean meal in diets for Nile tilapia: Growth performance, feed utilization, and intestine health. *Aquaculture Reports*, 38, 102321. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2024.102321>
 18. Wheeler, E.L. & Ferrel, R.E. (1971). A method for phytic acid determination in wheat and wheat fractions. *Cereal Chemistry*, 48, 312–320.
 19. Zaineldin, A.I., Barakat, M., El Gohary, M.S., Rashed, M. & Elsebaey, E. (2025). Fermented rice polishings dietary supplementation sustainably enhanced growth performance, gut morphology, immune response and antioxidant status of Nile tilapia. *Scientific Reports*, 15(1), 1–18. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-26417-y>