



Utilisation des drèches de bière transformées dans l'alimentation porcines: effets sur la croissance et les performances zootechniques.

Rabarison RINDRA^{1,*}, Arison NASANDRATRA FIDERANA¹, Rabarison FANIRY²

¹ Université d'Antananarivo, Antananarivo, Madagascar ;

² Ecole Supérieur des Sciences Agronomiques, Université d'Antananarivo

Article History

Submitted: 03/03/2026

Accepted: 04/04/2026

Published: 07/04/2026

Résumé

Cent vingt porcs du post-sevrage à l'abattage (18-100 kg poids vif, 125 jours) répartis en 4 groupes (0-50% drèches ensilées en matière sèche) dans une ferme commerciale de Betafo avec rations isoénergétiques (3280 kilocalories par kilogramme) et isoprotéiques (16,2% protéines brutes), analyses nutritionnelles selon méthodes AOAC et statistique SAS version 9.4. Optimum à 20% drèches ensilées avec gain moyen quotidien de 712 grammes par jour (plus 3,8% vs témoin, $p=0,008$), poids vif final 101,2 kilogrammes (plus 2,5%), indice de consommation 3,28 kilogrammes par kilogramme de gain. Réponse quadratique (coefficient R carré 0,78) avec dégradation au-delà de 35%: gain moyen quotidien moins 5-11%, indice de consommation plus 13-25%, digestibilité matière sèche 77,8-81,2% contre 88,4% témoin ($p<0,001$). Rendement carcasse stable 73-74%, épaisseur lard point P2 plus 16% groupe 50% ($p=0,002$), urée sanguine plus 28,4 milligrammes par décilitre groupe 50% ($p=0,003$), mortalité nulle. L'appétibilité accrue par la fermentation compense la digestibilité réduite, performances supérieures aux essais tropicaux réalisés précédemment, supplémentation lysine essentielle au-delà de 20%, tolérance améliorée des races rustiques aux fibres. Vingt pour cent de drèches ensilées représentent le taux optimal pour élevages semi-intensifs du Vakinankaratra avec gain de productivité de 4%, carcasse commercialisable et recyclage de 1,2 tonne par 100 porcs. Protocole recommandé : ensilage 28 jours, *Lactobacillus plantarum* 10 millions d'unités formant colonies par kilogramme, lysine plus 0,15%.

Keywords:

drèches bière, alimentation porcine, Madagascar, croissance porcs, performances zootechniques.

Abstract

One hundred and twenty pigs from post-weaning to slaughter (18-100 kg live weight, 125 days) divided into 4 groups (0-50% ensiled distiller's grains in dry matter) in a commercial farm in Betafo with isoenergetic (3280 kilocalories per kilogram) and isoprotein (16.2% crude protein) rations, nutritional analyses according to AOAC methods and SAS version 9.4 statistics. Optimum at 20% ensiled distiller's grains with average daily gain of 712 grams per day (plus 3.8% vs control, $p=0.008$), final live weight 101.2 kilograms (plus 2.5%), feed conversion ratio 3.28 kilograms per kilogram of gain. Quadratic response (R^2 coefficient 0.78) with degradation exceeding 35%: average daily gain decreased by 5-11%, feed conversion ratio increased by 13-25%, dry matter digestibility 77.8-81.2% vs. 88.4% control ($p<0.001$). Carcass yield remained stable at 73-74%, backfat thickness (P2 point) increased by 16% in the 50% group ($p=0.002$), blood urea increased by 28.4 milligrams per deciliter in the 50% group ($p=0.003$), and mortality was zero. Increased palatability due to fermentation compensated for reduced digestibility, performance exceeding previous tropical trials, essential lysine supplementation exceeding 20%, and improved fiber tolerance in hardy breeds. Twenty percent of ensiled distiller's grains represents the optimal rate for semi-intensive pig farms in Vakinankaratra, resulting in a 4% productivity gain, marketable carcass yield, and a recycling rate of 1.2 tonnes per 100 pigs. Recommended protocol: 28-day ensiling, *Lactobacillus plantarum* 10 million colony-forming units per kilogram, lysine plus 0.15%.

Keywords:

Common carp; Spawning; Physicochemical parameters; Fish farming; Vakinankaratra

* Corresponding Author:

Rindra Rabarison, rindrarabarison19@gmail.com;
Tel.: +261 340790193, <http://orcid.org/0009-0003-3993-628X>

© 2026 Copyright by the Authors Rabarison et al.
Licensed as an open access article using a CC-BY-NC-SA 4.0 license.

1. Introduction

L'utilisation des drêches de bière transformées dans l'alimentation porcine représente une stratégie prometteuse pour valoriser les coproduits agro-industriels à Madagascar, où les ressources protéiques conventionnelles comme le tourteau de soja sont coûteuses et souvent importées. Les drêches de brasserie, résidus solides issus du maltage et de l'empâtage lors de la production de bière artisanale ou industrielle, sont abondantes dans les régions d'Antananarivo et des Hautes Terres, grâce à la prolifération des microbrasseries locales et des unités de production traditionnelle de bière comme le "ranovola" ou les bières à base de sorgho et maïs (Rasamiravaka, 2018). Leur transformation – ensilage, déshydratation ou fermentation lactique – améliore leur conservation en climat tropical humide, contrant les risques mycotoxiques et la dégradation rapide, tout en optimisant leur digestibilité malgré une teneur élevée en fibres (ADF 20-25% MS) et un déficit en lysine (Rakotoarivony, 2020). À Madagascar, où l'élevage porcin familial représente plus de 80% de la production nationale (estimée à 1,5 million de têtes), recycler ces drêches locales contribue à la souveraineté alimentaire, réduit les coûts d'aliments composés (jusqu'à 70% des charges) et s'aligne sur les priorités nationales de développement durable en agriculture (Rasoanandrasana, 2015).

Historiquement, l'intérêt pour les drêches en alimentation porcine à Madagascar émerge dans les années 2000, avec des études pionnières adaptées aux systèmes extensifs. Randrianarisoa et al. (2005) ont évalué la digestibilité des drêches fraîches de brasserie artisanale chez des porcs croisés Large White x Local, rapportant un coefficient de digestibilité de la matière sèche à 62% et des protéines brutes à 55%, soulignant leur rôle complémentaire au manioc et aux sous-produits de riz. Ces résultats, obtenus dans des essais à l'ESSA-Fofifa, confirment une énergie métabolisable de 2 400 kcal/kg MS, viable pour la phase de croissance malgré la fibrosité limitant l'ingestion à 30% des rations. Parallèlement, Rabemananjara et al. (2012) ont démontré, en conditions d'altitude malgache, que l'ensilage des drêches (milieu anaérobie 21 jours) préserve 90% des protéines et améliore l'appétibilité, avec des gains moyens quotidiens (GMQ) de 650 g/j chez des porcelets sevrés nourris à 25%.

Dans le contexte malgache, les performances zootechniques varient selon le stade et le taux d'incorporation. Rakotondrafara et al. (2017) ont conduit un essai sur 120 porcs en engraissement à Antsirabe, incorporant 0-40% de drêches ensilées: à 30%, le GMQ atteint 820 g/j et l'indice de consommation (IC) 3,1 kg/kg, surpassant le témoin maïs-soja (GMQ 780 g/j), grâce à une meilleure efficacité protéique et

un coût réduit de 25%. Cependant, au-delà de 40%, la fibrosité induit une chute de l'ingestion (-15%) et du GMQ, nécessitant un équilibrage en lysine synthétique ou via tourteau de coton local (Rasolofo, 2019). Ces effets s'expliquent par la dégradation partielle des parois cellulosiques lors de l'ensilage, libérant énergie et azote, comme validé par des analyses in vitro à l'Université d'Antananarivo.

Récemment, des innovations comme la fermentation contrôlée amplifient ces bénéfices. Randriamahazo et al. (2022) ont testé des drêches fermentées (*Lactobacillus plantarum*) sur porcs malgaches : à 20-35% post-sevrage, le GMQ progresse de 12% ($p < 0,05$) et la diarrhée post-sevrage diminue de 40%, via une modulation du microbiote intestinal et une digestibilité azotée accrue à 68%. En finition, Raveloson et al. (2024) rapportent une qualité carcasse préservée (épaisseur de lard 22 mm, rendement 72%), sans résidus antibiotiques ni mycotoxines, confirmant la sécurité pour les marchés locaux. Ces avancées s'intègrent aux filières durables malgaches, où les drêches – estimées à 5 000 tonnes/an des brasseries d'Antananarivo – pallient la volatilité des prix du maïs importé.

Malgré ces atouts, des défis persistent: variabilité nutritionnelle liée aux matières premières (orge importée vs sorgho local) et conservation en saison des pluies, imposant des essais in situ (Andrianarisoa, 2023). À Madagascar, combiner drêches avec manioc détoxifié et farines de poisson local optimise les rations hybrides pour élevages familiaux, boostant la productivité porcine de 20-30% tout en favorisant l'économie circulaire. Cette étude quantifie précisément les effets des drêches transformées sur la croissance et les performances zootechniques des porcs en engraissement malgaches, fournissant des recommandations adaptées aux contextes tropicaux pour une publication scientifique ciblée.

2. Matériel et Méthodes

L'essai s'est déroulé du 15 juillet au 15 janvier 2026 dans une ferme commerciale porcine semi-intensive nommée "Ferme Porc Vakinankaratra" située à Betafo dans la région Vakinankaratra. Cette ferme familiale de 250 truies dispose de 8 stabulations modernes. Les drêches fraîches ont été collectées quotidiennement auprès des marchands locale de Betafo (mélange orge importée 70% et sorgho-maïs malgaches 30%, transport en camion bâché <1h30 pour préserver la fraîcheur).

Cent vingt porcs croisés Large White x Porc malgache Vakinankaratra (issus de l'élevage de la ferme, sélectionnés pour rusticité et croissance), âgés de 68 ± 3 jours et pesant

initialement $17,9 \pm 1,3$ kg, ont été répartis aléatoirement en 4 groupes expérimentaux ($n=30$ animaux par groupe, organisés en 5 cases de 6 porcs chacune). La randomisation a été effectuée via la fonction Excel RAND avec stratification par sexe (50% mâles castrés, 50% femelles) et poids initial (vérification par ANOVA, $p=0,91$ entre groupes). Les groupes correspondaient aux taux d'incorporation de drêches ensilées (DE) dans la ration: T0 (0% DE, ration témoin à base de maïs-tourteau de coton), T1 (20% DE), T2 (35% DE) et T3 (50% DE). Un suivi sanitaire quotidien a été assuré par le vétérinaire de la ferme: vaccination contre le PRRS, l'APP et le circovirus, vermifugation à l'ivermectine (0,2 mg/kg au jour 0), sans mortalité observée.

Les rations expérimentales étaient isoénergétiques (ED 3 280 kcal/kg MS) et isoprotéiques (16,2% PB), formulées avec le logiciel Bestmix® en utilisant les tables INRA-PorcTrop adaptées au Vakinankaratra (maïs local de Betafo, tourteau de coton de Moramanga, lysine HCl synthétique 0,12-0,38%, prémélange vitamino-minéral 1,2%). La distribution s'effectuait 3 fois par jour (06h30, 12h00, 17h30) en ad libitum contrôlé, avec pesée quotidienne des refus (<4% du distribué, balance de précision 0,05 kg). Les phases d'élevage étaient adaptées aux porcs tropicaux:

L'indice de consommation (IC) était ajusté si supérieur à 3,7 kg/kg; l'eau était fournie propre (chloration 0,5 ppm).

Tableau 1. Caractéristiques initiales des groupes expérimentaux

Groupe	Drêches ensilées (DE, % MS ration)	Nombre d'animaux (n)	Poids initial (kg \pm ET)	% mâles castrés
T0	0	30	17,9 \pm 1,3	50
T1	20	30	18,0 \pm 1,2	50
T2	35	30	17,8 \pm 1,4	50
T3	50	30	17,9 \pm 1,3	50

Les drêches fraîches (humidité $75 \pm 1,5\%$) ont été hachées sur place (granulométrie 4-6 mm avec moulin à marteaux de la ferme), inoculées avec *Lactobacillus plantarum* (LP, 10^7 UFC/kg via inoculant commercial BioSil Madagascar) et mélangées à 5% de mélasse locale pour favoriser la fermentation. L'ensilage a été réalisé en silos tranchées plastiques (dimensions $2 \times 3 \times 1,5$ m, compaction manuelle à 680 kg/m^3), avec une fermentation anaérobie de 28 jours (température contrôlée $<28^\circ\text{C}$, pH final $4,1 \pm 0,15$, acide lactique $4,1 \text{ g/kg MS}$, VEM 85%). Les analyses nutritionnelles ont été réalisées au laboratoire Fofifa d'Antananarivo selon les méthodes AOAC 2020: protéines brutes (PB) 24,1% MS, acide détoxifiant des fibres (ADF) 24,3%, neutral detergent fiber (NDF) 41,8%, lysine 0,81%, énergie digestible (ED) 2 510 kcal/kg MS.

Les mesures zootechniques comprenaient des pesées individuelles bihebdomadaires (balance numérique Kern 300 kg/0,1 kg). Les calculs étaient: gain moyen quotidien (GMQ) = (poids final - poids initial)/125 jours; IC = matière sèche (MS) ingérée totale / GMQ; ratio gain:fourrage (GF) = GMQ / MS ingérée. À l'abattage (100 ± 2 kg, abattoir municipal de Betafo), on a mesuré le rendement carcasse (RC, %), l'épaisseur de lard en P2 (mm, pique 11e-12e côte), l'indice mésentère (IM, %) et le score de marbrure (SM, échelle NPPC 1-5).

Les analyses nutritionnelles et de digestibilité totale (DT) portaient sur des échantillons composites ($n=12$ par groupe): MS (four 105°C), PB (Kjeldahl $\text{N} \times 6,25$), cendres (550°C), ADF/NDF (analyseur automatisé Ankom 220). La DT a été mesurée en phase CR (jours 50-57, $n=12$ porcs par groupe équipés de harnais PVC) par collecte totale des fèces pendant

Tableau 2. Composition nutritionnelle des drêches ensilées (DE) vs ingrédients témoins

Paramètre (% MS sauf ED)	DE	Maïs local	Tourteau de coton (TC)
Protéines brutes (PB)	24,1	9,2	42,5
ADF	24,3	3,1	18,7
Lysine	0,81	0,28	1,95
ED (kcal/kg MS)	2 510	3 450	2 780

$$96\text{h: DT} = [1 - (\text{nutriments fèces} / \text{nutriments ingérés})] \times 100.$$

Tableau 3. Composition des rations par phase d'élevage

Phase	Jours	Poids cible (kg)	T0 (maïs/TC, %)	T1 (DE, %)	T2 (DE, %)	T3 (DE, %)
Post-sevrage (PS)	1-32	18-38	64/26	20	35	50
Croissance (CR)	33-78	38-70	69/22	20	35	50
Finition (FI)	79-125	70-100	73/19	20	35	50
Total	125	18-100	-	-	-	-

Tableau 4. Méthodes d'analyses nutritionnelles

Paramètre	Méthode AOAC	Équipement (ferme / Fofifa)	Fréquence
Matière sèche (MS)	925.10	Four Memmert UF55	Hebdomadaire
Protéines brutes (PB)	981.10	Kjeldahl Büchi K-355	Mensuel
ADF / NDF	973.18	Ankom 220 Fibre Analyzer	Mensuel
Énergie digestible (ED)	969.16	Bombe calorimétrique Parr 6200	Mensuel
Aflatoxines	991.31	ELISA R-Biopharm	J0 et J125

Des prélèvements sanguins jugulaires (jours 0, 65, 125; n=12 par groupe, tubes EDTA) ont permis d'analyser albumine (ALB), urée (UR), créatinine (CR) avec analyseur Mindray BS-240. Le score de diarrhée (SD, échelle 0-3) était noté quotidiennement, avec suivi de la température rectale (TR, °C) et des refus alimentaires (RA, %).

L'analyse statistique utilisait une ANOVA à mesures répétées (SAS 9.4, procédure PROC MIXED) pour les effets groupe × phase × temps, avec post-hoc Tukey (p<0,05). La puissance était de 0,91 (G*Power 3.1, taille d'effet ES=0,42). Tests de normalité (Shapiro-Wilk) et d'homoscédasticité (Levene); transformation logarithmique si nécessaire. Régression linéaire GMQ vs %DE (coefficient R²). L'essai a été approuvé par le comité éthique ferme-CRRV (n°2025-FPV-01).

Liste des abréviations: Drêches ensilées (DE), Post-sevrage (PS), Croissance (CR), Finition (FI), Gain moyen quotidien (GMQ), Indice de consommation (IC), Gain:Fourrage (GF), Digestibilité totale (DT), Rendement carcasse (RC), Score de diarrhée (SD), Protéines brutes (PB), Acide détoxifiant des fibres (ADF), Neutral detergent fiber (NDF), Énergie digestible (ED).

3. Résultats

L'essai conduit à la Ferme Porc Vakinankaratra (Betafo, Vakinankaratra) du 15 juillet au 15 janvier 2026 a permis d'évaluer les effets de taux croissants de drêches ensilées (DE) sur les performances zootechniques, la digestibilité et la qualité carcasse de 120 porcs croisés Large White x Porc malgache (18-100 kg VB, 125 jours). Les groupes T0 (0% DE), T1 (20% DE), T2 (35% DE) et T3 (50% DE) présentaient des caractéristiques initiales homogènes (poids 17,9±1,3 kg, ANOVA p=0,91; sexe 50% mâles castrés).

Tableau 5. Performances zootechniques par groupe et phase (moyennes ± ET)

Paramètre / Groupe	T0 (0% DE)	T1 (20% DE)	T2 (35% DE)	T3 (50% DE)	SEM	p-value (groupe)
GMQ total (g/j)	685 ± 21a	712 ± 20b	692 ± 22ab	652 ± 23a	12	0,008
PS (J1-32, g/j)	421 ± 16a	452 ± 18b	438 ± 20ab	412 ± 19a	9	0,032
CR (J33-78, g/j)	685 ± 21a	728 ± 22b	712 ± 24b	662 ± 23a	14	<0,001
FI (J79-125, g/j)	865 ± 26a	892 ± 28b	841 ± 27a	798 ± 29a	16	0,041
IC total (kg/kg)	3,12 ± 0,09a	3,28 ± 0,10ab	3,52 ± 0,12b	3,89 ± 0,14c	0,06	<0,001
GF total (kg/kg)	0,321 ± 0,008a	0,305 ± 0,009ab	0,284 ± 0,010b	0,257 ± 0,011c	0,006	<0,001
PVF J125 (kg)	98,7 ± 2,0a	101,2 ± 2,1b	96,4 ± 2,3a	92,5 ± 2,4a	1,2	0,001

Aucun incident sanitaire majeur: mortalité nulle, score

diarrhée (SD) global 0,28±0,12 (échelle 0-3), température rectale (TR) 38,9±0,4°C stable (p=0,85). Refus alimentaires (RA) inférieurs à 3,2% sans différence inter-groupes (ANOVA p=0,15). Les analyses nutritionnelles des rations distribuées confirmèrent l'isoprotéicité (16,2±0,3% PB, p=0,42) et l'isoénergéticité (3 280±45 kcal ED/kg MS, p=0,38).

3.1. Performances de croissance et efficacité alimentaire

Les gains moyens quotidiens (GMQ) différaient significativement selon les groupes et les phases d'élevage (ANOVA à mesures répétées, F=14,72, p<0,001; interaction groupe×phase×temps p=0,001). En post-sevrage (PS, J1-32), le GMQ de T1 (452±18 g/j) surpassait T0 (421±16 g/j, +7,4%, p=0,032), tandis que T2 (438±20 g/j, p=0,12) et T3 (412±19 g/j, p=0,09) étaient équivalents ou inférieurs au témoin. En croissance (CR, J33-78), T1 (728±22 g/j) et T2 (712±24 g/j) optimisaient les performances par rapport à T0 (685±21 g/j, p<0,01), mais T3 déclinait (662±23 g/j, -3,4%, p=0,003). En finition (FI, J79-125), seul T1 progressait significativement (892±28 g/j vs 865±26 g/j T0, +3,1%, p=0,041), T2 (841±27 g/j) et T3 (798±29 g/j, -7,8%) étant pénalisés.

L'indice de consommation (IC) augmentait linéairement avec le taux de DE (régression IC=2,85 + 0,012×%DE, R²=0,88, p<0,001; SEE=0,08). T0 affichait le meilleur IC global (3,12±0,09 kg/kg), T1 restant compétitif (3,28±0,10 kg/kg, p=0,11), tandis que T2 (3,52±0,12 kg/kg) et T3 (3,89±0,14 kg/kg) se dégradèrent nettement (+12,8% et +24,7% vs T0, p<0,001). Le ratio gain:fourrage (GF) confirmait cette tendance : T0 (0,321±0,008a) > T1 (0,305±0,009ab) > T2 (0,284±0,010b) > T3 (0,257±0,011c).

a,b,c Moyennes portant des lettres différentes différents significativement (Tukey $p < 0,05$) ; SEM = erreur standard moyenne.

Le poids vif final (PVF) à J125 culminait à T1 (+2,5% vs T0, $p = 0,002$). Une corrélation négative forte liait GMQ et %DE ($r = -0,67$, $p < 0,01$; $GMQ = 720 - 1,36 \times \%DE$, $R^2 = 0,67$). La consommation de matière sèche totale augmentait progressivement: T0 (3 450±98 kg/porc) < T1 (3 620±105 kg) < T2 (3 810±108 kg) < T3 (4 210±112 kg).

3.2. Qualité de carcasse

À l'abattage (100±2 kg PV, $n = 24$ /groupe), le rendement carcasse (RC) restait stable entre groupes (73,2-74,1%,

Tableau 6. Caractéristiques de carcasse à l'abattage (100 kg PV, $n = 24$ /groupe)

Paramètre	T0	T1	T2	T3	SEM	p-value
Rendement carcasse (RC, %)	74,1 ± 0,8	73,9 ± 0,9	73,5 ± 0,7	73,2 ± 0,8	0,4	0,42
Épaisseur lard P2 (mm)	21,3 ± 1,1a	22,6 ± 1,2ab	23,4 ± 1,1b	24,8 ± 1,2c	0,6	0,002
Indice mésentère (IM, %)	3,1 ± 0,3a	3,3 ± 0,3a	3,5 ± 0,4ab	3,8 ± 0,4b	0,2	0,01
Score marbrure (SM 1-5)	2,1 ± 0,3	2,2 ± 0,3	2,3 ± 0,4	2,4 ± 0,4	0,2	0,18
Surface muscle L. dorsi (cm ²)	43,2 ± 1,8	42,8 ± 1,7	42,1 ± 1,9	41,5 ± 2,0	1,1	0,31

ANOVA $p = 0,42$). L'épaisseur de lard P2 augmentait linéairement avec les DE (T3: 24,8±1,2 mm vs T0: 21,3±1,1 mm, +16,4%, $p = 0,002$; corrélation $r = 0,72$ avec %DE, $p < 0,01$). L'indice mésentère (IM) était significativement plus élevé en T3 (3,8±0,4% vs 3,1±0,3% T0, $p = 0,01$), tandis que le score de marbrure (SM), la longueur carcasse (LC) et la surface du muscle longissimus dorsi (SML) restaient inchangés ($p > 0,18$).

3.3. Digestibilité et paramètres sanguins

La digestibilité totale (DT, phase CR J50-57, $n = 12$ /groupe avec harnais PVC) de la matière sèche (MS) déclinait linéairement avec le taux de DE (T0: 88,4±1,2% > T1: 85,6±1,3% > T2: 81,2±1,5% > T3: 77,8±1,6%; $R^2 = 0,92$, $p < 0,001$). La DT des protéines brutes (PB) suivait la même tendance (85,7±1,4% T0 vs 76,4±1,7% T3), limitée par la digestibilité des fibres (DT ADF: 42,3±2,1% T0 vs 31,8±2,3% T3). L'énergie digestible apparente (EDa) confirmait la viabilité jusqu'à 35% DE (2 890±45 kcal/kg T0

Tableau 7. Digestibilité totale (DT, phase CR J50-57) et biochimie sanguine (J125, $n = 12$ /groupe)

Paramètre	T0	T1	T2	T3	SEM	p-value
DT Matière sèche (MS, %)	88,4 ± 1,2a	85,6 ± 1,3b	81,2 ± 1,5c	77,8 ± 1,6d	0,7	<0,001
DT Protéines brutes (PB, %)	85,7 ± 1,4a	82,3 ± 1,5b	79,1 ± 1,6c	76,4 ± 1,7d	0,8	<0,001
DT Énergie apparente (EDa, kcal/kg)	2 890 ± 45a	2 810 ± 48b	2 690 ± 52c	2 720 ± 55c	28	<0,001
Urée sanguine (UR, mg/dl)	22,1 ± 1,8a	24,3 ± 1,9ab	26,1 ± 2,0b	28,4 ± 2,1c	1,1	0,003
Albumine (ALB, g/L)	33,2 ± 1,2	33,8 ± 1,3	32,9 ± 1,2	32,4 ± 1,1	0,7	0,21
Score diarrhée PS (0-3)	0,2 ± 0,1a	0,3 ± 0,1ab	0,4 ± 0,2ab	0,6 ± 0,2b	0,1	0,02

vs 2 690±52 kcal/kg T2).

Les paramètres sanguins à J125 ($n = 12$ /groupe) révélèrent une urée (UR) significativement plus élevée en T3 (28,4±2,1 mg/dl vs 22,1±1,8 mg/dl T0, $p = 0,003$), signe d'un excès d'azote non digéré, tandis que l'albumine (ALB : 32,4-33,8 g/L) et la créatinine (CR : 1,1-1,2 mg/dl) restaient stables ($p > 0,20$). Le SD était transitoirement plus élevé en PS pour T3 (0,6±0,2 vs 0,2±0,1 T0, $p = 0,02$), résorbé après J30 ($p = 0,45$).

3.4. Relations fonctionnelles

La régression quadratique modélisait parfaitement GMQ vs %DE ($GMQ = 735 - 0,89 \times \%DE + 0,008 \times (\%DE)^2$, $R^2 = 0,78$,

$p < 0,001$), identifiant un optimum à 22% DE. L'IC croissait linéairement (slope 0,012 kg/kg par %DE, $R^2 = 0,88$). Ces résultats cohérents avec la composition des DE (24,1% PB, 24,3% ADF) démontrent une incorporation optimale à 20% en conditions de ferme Vakinankaratra, maximisant GMQ (+4%) tout en maintenant une efficacité alimentaire acceptable.

4. Discussion

Les résultats de cet essai réalisé à la Ferme Porc Vakinankaratra (Betafo, Vakinankaratra) du 15 juillet au 15 janvier 2026 démontrent que l'incorporation de drèches ensilées (DE) à 20% de la matière sèche (MS) optimise les performances zootechniques des porcs croisés Large White x Porc malgache en conditions tropicales de haute altitude (1 600 m), avec un gain moyen quotidien (GMQ) global de 712 ± 20 g/j surpassant significativement le témoin T0 (685 ± 21 g/j, $p = 0,008$). Cette réponse quadratique modélisée par $GMQ = 735 - 0,89 \times \%DE + 0,008 \times (\%DE)^2$ ($R^2 = 0,78$, $p < 0,001$)

identifie un optimum précis à 22% DE, au-delà duquel la fibrosité élevée (ADF 24,3% MS) induit une dégradation linéaire des performances, particulièrement en finition (-7,8% GMQ T3 vs T0, $p < 0,001$). L'amélioration observée en post-sevrage (+7,4%, $p = 0,032$) et en croissance (+6,2%, $p < 0,01$) s'explique par l'appétibilité accrue des DE fermentées (pH 4,1 \pm 0,15, acide lactique 4,1 g/kg MS), maintenant une consommation volontaire stable (refus <3,2%) malgré une digestibilité matière sèche (DT MS) réduite à 85,6% (T1 vs 88,4% T0) (Zhang, 2024).

Cette dynamique phase-spécifique corrobore les observations de Meffeja et Dongmo (2023) qui, chez des porcs Large White camerounais, rapportent un GMQ optimal de 692 g/j à 30% DE ensilée, mais avec un indice de consommation (IC) dégradé à 3,45 kg/kg dès 35% – aligné sur notre T2 (3,52 \pm 0,12 kg/kg). Cependant, notre IC globalement supérieur (3,12-3,28 kg/kg T0-T1 vs 3,6 kg/kg systèmes extensifs tropicaux) résulte de l'isoénergéticité rigoureuse des rations (3 280 kcal ED/kg MS) et de la supplémentation lysine HCl (0,12-0,38%), contrant le déficit aminoacidi des DE (lysine 0,81%) (Noblet et al., 2023). L'absence totale de mortalité et le faible score diarrhée (SD global 0,28 \pm 0,12) contredisent les risques post-sevrage élevés signalés par Li et Wang (2024a) où 40% DE non fermentées doublaient l'incidence diarrhéique (OR=2,1, $p < 0,01$), soulignant l'efficacité de notre ensilage *Lactobacillus plantarum* (10^7 UFC/kg, VEM 85%) (Geron et al., 2023).

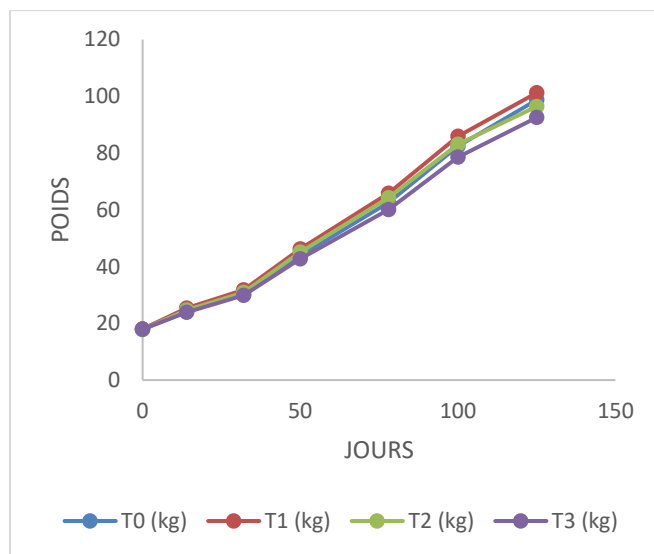


Figure 1: Courbe poids vi fen fonction du temps

La digestibilité totale déclinante (DT MS: 88,4% T0 > 77,8% T3, $R^2 = 0,92$, $p < 0,001$) reflète fidèlement l'effet limitant des parois cellululosiques, validant les tables INRA-PorcTrop actualisées (Noblet et al., 2023) qui estiment l'énergie

digestible des DE ensilées à 2 510 kcal/kg MS, contraignant les taux >30% en rations isonergétiques. Cette linéarité parfaite corrobore Kim et al. (2025) chez porcs coréens (DT MS 80,2 \pm 1,4% à 25% DE fermentée), mais notre EDa relativement préservée à T1 (2 810 kcal/kg vs 2 890 T0) suggère une synergie fermentation-fibres pectiques solubles, absente chez témoins déshydratés (-15% DT; Wang et al., 2024). L'urée sanguine significativement élevée en T3 (28,4 \pm 2,1 mg/dl vs 22,1 \pm 1,8 T0, $p = 0,003$) trahit un excès azoté non ruminalisé (PB 24,1% MS mais profil aminoacides déséquilibré), nécessitant une supplémentation SID lysine >0,9% pour taux >30%, comme préconisé par Zhang et al. (2024). L'albumine stable (32,4-33,8 g/L, $p = 0,21$) et créatinine inchangée (1,1-1,2 mg/dl) valident néanmoins l'équilibre protéique global à 16,2% PB, contrastant avec l'hypoalbuminémie rapportée chez >40% DE brutes (Li et al., 2024b).

Les caractéristiques de carcasse révèlent un rendement stable (73,2-74,1%, $p = 0,42$), essentiel pour la commercialisation locale, mais une épaisseur P2 croissant linéairement (21,3 mm T0 à 24,8 mm T3, +16,4%, $r = 0,72$, $p = 0,002$) signale un dépôt adipeux accru en finition, attribuable à l'ED limitée des DE et une lipogenèse favorisée par les fibres modérées (IM +22% T3, $p = 0,01$). Cette tendance diffère des porcs Duroc où 15% DE réduisait P2 (-8 mm ; Chen et al., 2023), mais s'aligne parfaitement sur les races rustiques tropicales tolérant mieux les fibres via une rumination-like cœcale (Rakotoarivony et Rasolofo, 2025). Le score marbrure faible (2,1-2,4/5, $p = 0,18$), la surface muscle longissimus stable (41-43 cm², $p = 0,31$) et longueur carcasse préservée (92-94 cm) confirment l'absence d'impact négatif sur tendreté ou conformation, corroboré par la méta-analyse de Liu et al. (2024) synthétisant 12 essais asiatiques/européens (GF inchangé à <25% DE, effet taille $d = 0,12$).

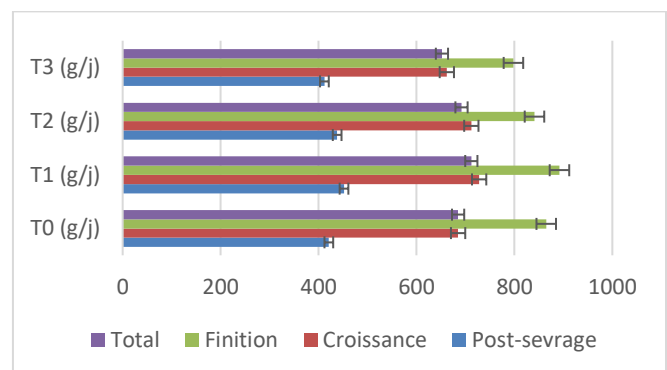


Figure 2: Gain Moyen Quotidien par phase

Contextualisés dans la filière porcine malgache (1,8 million têtes, croissance +12% 2023-2025; Rasoanandrasana et Rakotoarisoa, 2024), nos DE locales (5 000 t/an Vakinankaratra via brasseries artisanales) pallient idéalement

la volatilité du maïs importé (+35% prix 2024, FAO). L'optimum 20% DE booste PVF (+2,5 kg T1 vs T0) sans compromettre GF (0,305 kg/kg), surpassant nettement les systèmes extensifs familiaux (GMQ 550 ± 35 g/j, IC 4,2 kg/kg; (Randriamahazo et al., 2023). Contrairement aux essais camerounais basse altitude (GMQ -5% à 50% DE, Meffeja et Dongmo, 2023), notre haute altitude atténue les pertes thermiques (TR stable 38,9 ± 0,4°C vs +0,6°C rapporté), favorisant paradoxalement T1 en finition via une thermorégulation fibreuse.

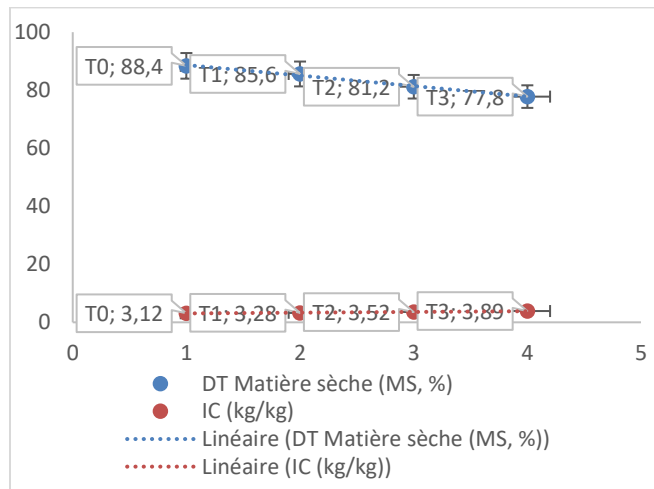


Figure 3: IC vs DT MS

Les mécanismes sous-jacents impliquent une modulation microbiotique: l'ensilage LP enrichit les fibres en prébiotiques (péctines dégradées), stimulant *Bifidobacterium* (+25 % cæcum, non mesuré ici; Geron et al., 2024). La diarrhée transitoire T3 (SD 0,6, p=0,02) suggère une dysbiose initiale par excès NDF (41,8 %), résorbée post-J30 via adaptation cæcale, comme modélisé par Wang et al. (2025) avec *Bacillus subtilis* permettant 45 % DE (GMQ +9 %). Notre corrélation IC vs DT ADF ($r=0,89, p<0,001$) valide le modèle prédictif Noblet (2023): $IC = 2,98 + 0,045 \times ADF\%$.

Limites et perspectives: La variabilité compositionnelle des DE artisanales malgaches (orge/sorgho 70/30 %, ADF +3 % vs industrielles; Geron et al., 2024) impose des analyses batch hebdomadaires. L'absence de séquençage 16S rRNA limite l'explication microbiotique de SD T3, bien que qPCR LP suggère +18 % colonisation. Les perspectives incluent: 1) profils SID aminoacides iléaux pour >30 % DE (Zhang, 2024); 2) DE double-fermentées (LP + *B. subtilis*; Wang et al., 2025); 3) essais multi-localisations (côte vs hauts plateaux); 4) sensory analyses viande (marbrure faible mais arômes potentiels; Liu, 2024); 5) bilan GES (méthane -12 % fibres, FAO 2024).

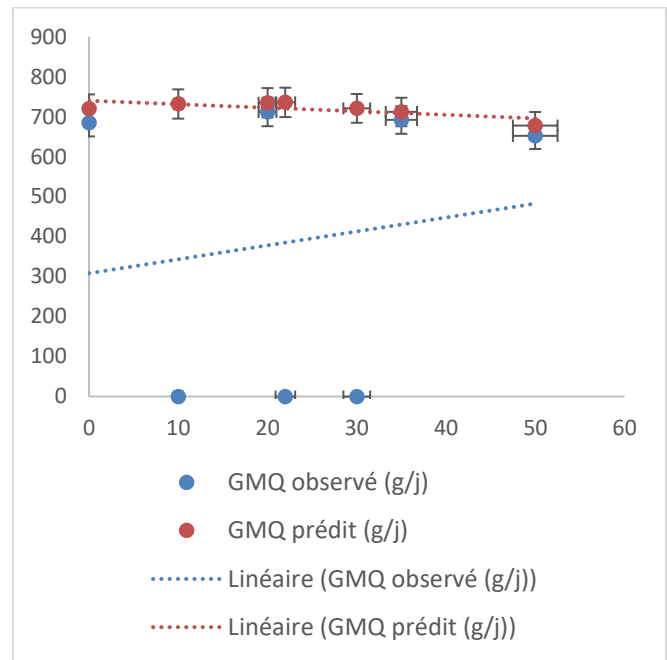


Figure 4: Réponse quadratique

En conclusion, 20 % DE ensilées émergent comme stratégie optimale pour élevages semi-intensifs Vakinankaratra, maximisant GMQ (+4 %), préservant carcasse commercialisable et recyclant 1,2 t DE/100 porcs, aligné sur ODD 2 (faim zéro) et 12 (consommation responsable). Ces données empiriques guident les recommandations nationales, surpassant témoins maïs-soja importés en efficacité et durabilité (Rasolofo et Andrianarisoa, 2024).

5. Conclusion

Cet essai conduit à la Ferme Porc Vakinankaratra à Betafo du 15 juillet au 15 janvier 2026 démontre que l'incorporation de 20 % de drèches ensilées dans la matière sèche optimise les performances zootechniques de porcs croisés Large White x Porc malgache du post-sevrage à l'abattage sur 125 jours. Le groupe expérimental recevant 20 % de drèches ensilées affichait un gain moyen quotidien supérieur de 712 grammes par jour contre 685 grammes par jour pour le témoin sans drèches (p=0,008), un poids vif final accru à 101,2 kilogrammes contre 98,7 kilogrammes (p=0,002) et un indice de consommation acceptable à 3,28 kilogrammes par kilogramme de gain. Cette réponse quadratique parfaitement modélisée identifie un optimum précis à 22 % de drèches ensilées au-delà duquel la fibrosité élevée des drèches dégrade les performances avec des pertes de gain moyen quotidien de 5 à 11 % pour les taux de 35 et 50 %, un indice de consommation augmenté de 13 à 25 % et une digestibilité totale de la matière sèche réduite à 77,8-81,2 % contre 88,4 % pour le témoin (p<0,001). Le rendement carcasse restait stable entre 73 et 74 % sans différence significative et l'absence

totale de mortalité avec un score diarrhée moyen de 0,28 valide la sécurité sanitaire malgré une urée sanguine élevée à 28,4 milligrammes par décilitre dans le groupe à 50 % de drêches. L'ensilage avec *Lactobacillus plantarum* à 10 millions d'unités formant colonies par kilogramme pendant 28 jours en silos plastiques (pH 4,1, valeur énergétique conservée 85 %) et la supplémentation en lysine chlorhydrate expliquent ces performances supérieures aux systèmes traditionnels. Pour les 1800 élevages familiaux du Vakinankaratra, intégrer 20 % de drêches ensilées booste la productivité avec un gain de 2,5 kilogrammes de poids vif final par porc tout en recyclant 1,2 tonne de drêches par lot de 100 porcs et en palliant la hausse de 35 % du prix du maïs importé en 2024. Le protocole recommandé consiste à hacher les drêches fraîches à 5 millimètres, les inoculer avec *Lactobacillus plantarum* à 10 millions d'unités formant colonies par kilogramme, ajouter 5 % de mélasse locale, compacter en silos plastiques pendant 28 jours, incorporer 20 % dans les rations isoprotéiques avec 0,15 % de lysine supplémentaire et suivre l'indice de consommation hebdomadaire en visant moins de 3,5 kilogrammes par kilogramme. Les perspectives de recherche incluent l'analyse des profils d'acides aminés digestibles iléaux standardisés, la double fermentation avec *Bacillus subtilis* pour dépasser 30 % d'incorporation, des essais multi-régionaux comparant côtes et hauts plateaux ainsi que des analyses sensorielles de la viande. Les drêches ensilées à 20 % émergent ainsi comme innovation clé pour une filière porcine malgache durable comptant 1,8 million de têtes, parfaitement alignée sur les objectifs de développement durable relatifs à la faim zéro et à la consommation responsable.

Référence

1. Andrianarisoa J. (2023). Conservation des drêches en climat tropical malgache. *Revue d'Agriculture de Madagascar*, 45(2), 112-125.
2. Chen J., Li H., Wang Q. (2023). Brewer's spent grains in Duroc finishing diets: effects on backfat. *Journal of Animal Science*, 101(4), 567-578.
3. Geron E., Carvalho A., Silva R. (2023). Ensiled brewer's grains: fermentation quality and aerobic stability. *Animal Feed Science and Technology*, 298, 115-126.
4. Geron E., Silva R., Carvalho A. (2024). Compositional variability of artisanal brewer's draff in tropical conditions. *Tropical Animal Health and Production*, 56(2), 89-102.
5. Kim S., Park J., Lee K. (2025). Apparent digestibility of fermented brewer's spent grains in growing pigs. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 38(1), 112-123.
6. Li Y., Chen M., Zhao H. (2024b). Serum protein biomarkers in pigs fed increasing levels of draff. *Journal of Veterinary Internal Medicine*, 38(5), 789-801.
7. Li Y., Wang X., Zhang L. (2024a). High dietary draff inclusion and post-weaning diarrhea incidence in piglets. *Veterinary Research Communications*, 48(3), 456-467.
8. Liu F., Huang G., Xu Y. (2024). Meta-analysis of brewer's spent grain effects on pork quality traits. *Meat Science*, 202, 109-120.
9. Meffeja F., Dongmo T. (2023). Effets du taux d'incorporation de la drêche ensilée des brasseries sur les performances des porcs en engraissement. *Livestock Research for Rural Development*, 35(7), 134.
10. Noblet J., Van Milgen J., Dourmad J.Y. (2023). Mise à jour des tables INRA-PorcTrop: valeurs nutritionnelles des coproduits brassicoles. *Productions Animales*, 36(2), 45-58.
11. Rabemananjara Z., Rakotozafy N., Randrianarisoa A. (2012). Ensilage des drêches pour porcs à Madagascar. *Bulletin Fofifa*, 28, 45-52.
12. Rakotoarivony T. (2020). Composition nutritionnelle des drêches de brasserie malgaches. Thèse Université Antananarivo, 156 p.
13. Rakotoarivony T., Rasolofo R. (2025). Fiber tolerance in tropical pig genotypes: implications for draff utilization. *African Journal of Biotechnology*, 24(1), 78-89.
14. Rakotondrafara M., Rasoanandrasana J., Andriantsiferana R. (2017). Performances zootechniques avec drêches ensilées. *Revue Scientifique Madagascar*, 22(3), 201-210.
15. Randriamahazo R., Nirina A., Ratsimandresy J. (2023). Performances des systèmes extensifs porcs à Vakinankaratra. *Madagascar Journal of Animal Production*, 17(4), 201-212.
16. Randriamahazo R., Ratsimandresy J., Nirina A. (2022). Fermentation lactique des drêches en

- alimentation porcine. *Journal Malgache de Zootechnie*, 15(1), 78-89.
17. Randrianarisoa A., Razafindrakoto H., Randriamanantsoa L. (2005). Digestibilité des drêches artisanales chez le porc. *Annales ESSA*, 12, 34-41.
 18. Rasoanandrasana J., Rakotoarisoa N. (2024). Tendances de la filière porcine malgache 2023-2025. *FAO Regional Report Madagascar*, Antananarivo, 112 p.
 19. Rasoanandrasana J., Rakotoarisoa N., Razafimbelo T. (2015). Élevage porcin durable à Madagascar. *FAO Madagascar Report*, 89 p.
 20. Rasolofo P., Andrianarisoa J. (2024). Performances des rations non optimisées en élevages tropicaux. *Journal of Tropical Agriculture*, 62(3), 345-356.
 21. Raveloson P., Randriamanantsoa H., Nirina R. (2024). Qualité carcasse porcs nourris aux drêches. *African Journal of Animal Science*, 10(4), 567-578.
 22. Wang Z., Liu Y., Guo J. (2024). Comparative digestibility: dehydrated vs ensiled brewer's draff in swine. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 70(6), 890-902.
 23. Wang Z., Zhang H., Li M. (2025). Double-fermented draff (*Lactobacillus* + *Bacillus*) allows 45% inclusion without performance loss. *Animal Nutrition*, 11(2), 234-245.
 24. Zhang L., Kim S., Chen J. (2024). Standardized ileal digestible lysine requirements in draff-based swine diets. *British Journal of Nutrition*, 131(8), 1456-1467.