



Effet immunostimulant de Physnut-HI, un aliment fonctionnel contenant les feuilles de *Moringa oleifera*, chez le rat immunodéprimé par la dexaméthasone: exploration cellulaire et cytologique

Aboubacar COULIBALY^{1,2*}, Souhalio COULIBALY², Mohamado OUEDRAOGO³,
Jean-Paul AMANI¹ et Nahounou Mathieu BLEYERE^{1,2}

¹Laboratoire de Physiologie, Pharmacologie et Pharmacopée, Université NANGUI ABROGOUA, 02 BP 801 Abidjan 02, Côte d'Ivoire.

²Laboratoire de biologie et de cytologie animale, Université NANGUI ABROGOUA, 02 BP 801 Abidjan 02, Côte d'Ivoire.

³Faculté d'agriculture, des ressources halieutiques et de l'agro-industrie, Université polytechnique de San Pedro, 01 BP 1800, San-Pedro, Côte d'Ivoire.

*Auteur correspondant ; E-mail : keith_fadel@yahoo.fr; Tel : 0757219426

Received: 21-04-2025

Accepted: 25-02-2026

Published: 28-02-2026

RESUME

Le renforcement du système immunitaire reste une solution privilégiée pour lutter contre les déficits immunitaires. L'objectif de cette étude était d'évaluer l'effet d'un aliment fonctionnel contenant des feuilles de *Moringa oleifera* sur le système immunitaire dans un modèle murin. Pour se faire, soixante-dix (70) rats ont été utilisés et répartis comme suit : les témoins sains et positifs ont été nourris avec des granulés IVOGRAIN[®], le témoin aliment a été nourri avec l'aliment L3P et les groupes expérimentaux ont été nourris avec l'aliment Physnut-HI comprenant 25, 50, 75 et 100% de poudre de feuilles de *Moringa oleifera* en substitution de la poudre de soja. Des échantillons sanguins ont été prélevés les jours 1, 3, 7, 14, 21 et 28. L'hémogramme et le protéinogramme ont été réalisés, une étude cytologique qualitative médullaire a été effectuée les jours 1, 3 et 28. La lecture des frottis médullaires a permis d'observer la population hématopoïétique. Les rats traités avec Physnut-HI ont présentés une augmentation des leucocytes, γ -globulines, des IgG totales et des cellules médullaires dès le jour 7 par rapport aux rats témoins positifs et aux rats témoins L3P. Ces résultats stipulent que Physnut-HI aurait un effet positif sur la modulation du système immunitaire des rats.

© 2026 International Formulae Group. All rights reserved.

Mots clés : protéinogramme, cellules, Physnut-HI, L3P, *Moringa oleifera*.

Immunostimulatory effect of Physnut-HI, a functional food containing *Moringa oleifera*, in rats immunocompromised by dexamethasone. Cellular and cytological investigation

ABSTRACT

Enhancing the immune system remains a preferred solution for combating immune deficiencies. The aim of this study was to evaluate effect of a functional food containing *Moringa oleifera* leaves on the immune system in a mouse model. Seventy (70) rats were used and divided as follows: healthy and positive controls were fed

IVOGRAIN® pellets, control group was fed L3P feed, and experimental groups were fed Physnut-HI feed containing 25, 50, 75 and 100% *Moringa oleifera* leaf powder as a substitute for soybean meal. Blood samples were taken on days 1, 3, 7, 14, 21 and 28. Blood counts and proteinograms were performed, and a qualitative bone marrow cytological study was carried out on days 1, 3 and 28. Bone marrow smears were examined to observe the haematopoietic population. Rats treated with Physnut-HI showed an increase in leukocytes, γ -globulins, total IgG and bone marrow cells from day 7 onwards compared to positive control rats and L3P control rats. These results suggest that Physnut-HI has a positive effect on modulating the immune system in rats.

© 2026 International Formulae Group. All rights reserved.

Keywords : proteinogram, cells, Physnut-HI, L3P, *Moringa oleifera*.

INTRODUCTION

Le système immunitaire joue un rôle inestimable dans la résistance aux infections pathogènes et le maintien de l'homéostasie. Une réponse immunitaire adéquate face à un danger rencontré est un mécanisme éligible et délibéré de sauvegarde d'équilibre (Garofalo et al., 2020). La consommation d'aliments dotés de capacités immunomodulatrices est reconnue comme un outil efficace pour prévenir la baisse des fonctions immunitaires et diminuer les risques d'infections ou de cancers, tout en stimulant les fonctions physiologiques (Ibrahim et al., 2022). Il s'agit de substance qui règle ou ajuste la réponse du système immunitaire, pouvant soit l'augmenter soit la diminuer selon les besoins thérapeutiques. Les cibles potentielles pour moduler l'immunité sont aussi multiples que les composants du système immunitaire, créant ainsi diverses possibilités d'intervention (Strzelec et al., 2023). La thérapie d'immunonutrition est un effort visant à réduire ou à éliminer les agents pathogènes et les toxines potentiels, à combler l'apport nutritionnel et à agir comme des antioxydants qui peuvent moduler les mécanismes de défense immunitaire naturels et adaptatifs (Rusnedy, 2021). De nombreux légumes feuilles sont utilisés dans le traitement et la prévention de nombreuses pathologies. C'est le cas du *Moringa oleifera* (Lam.) dont les feuilles sont utilisées en tant que plante médicinale et nutritionnelle (Houndji et al., 2013). Les feuilles contiennent une concentration élevée en acide ascorbique, des flavonoïdes, des composés phénoliques, les

caroténoïdes, du phosphore, du cuivre, les vitamines A, B et C, de riboflavine, l'acide nicotinique, des acides aminés comme la méthionine, la cystéine, la lysine (Laleye et al., 2016). Par ses nombreuses potentialités décrites dans la bibliographie, cette espèce mériterait une attention particulière en vue de son exploitation dans différents domaines (agro-alimentaire, thérapeutique et environnemental) avec des avantages socio-économiques non négligeables (Naco et al., 2024). Malgré la large utilisation des feuilles de *Moringa oleifera* dans la lutte contre les déficits immunitaires et également les insuffisances nutritionnelles, l'effet immunomodulateurs et leur mécanisme ne sont encore pas bien élucidés. Le but de ce travail était d'évaluer les potentiels effets d'un aliment fonctionnel (Physnut) sur quelques paramètres hématologiques, immunologiques et sur les cellules de la moelle osseuse chez le rat immunodéprimé expérimentalement par la dexaméthasone.

MATERIEL ET METHODES

Matériel

Matériel végétal

Les feuilles de *Moringa oleifera*, les graines de soja (*Glycine max*), les graines de maïs (*Zea mays*) ont été utilisés dans la composition de l'aliment Physnut-HI. Les feuilles de *Moringa oleifera* ont été récoltées aux périphéries sud-ouest de la ville de BOUAKE (Côte d'Ivoire) et ont été acheminées au laboratoire de Physiologie, Pharmacologie et Pharmacopée. Les feuilles

ont été triées et partiellement nettoyées avant d'être séchées sous climatisation à 25°C. Ces feuilles ont ensuite été broyées à l'aide d'un broyeur électrique et la poudre obtenue a été conservée dans un bocal propre. Les graines de soja et de maïs ont été achetées dans un marché local dans la commune d'Abobo (Abidjan, Côte d'Ivoire).

Matériel animal

Le matériel animal utilisé dans cette expérience a été constitué essentiellement de rats albinos *Rattus norvegicus* de souche Wistar âgés de 6 à 12 semaines et pesant entre 107 et 140 g.

Méthode

Formulation alimentaire

L'aliment expérimental a été formulé avec la poudre des feuilles de *Moringa oleifera* (PFMo), la poudre de soja (*Glycine max*), la poudre de maïs (*Zea mays*), la poudre de pain rassis de boulangerie, la poudre de poisson et de sel iodé de cuisine. Pour se faire, cent (100) grammes de la formulation alimentaire ont été constitués. L'aliment L3P a été utilisé pour servir d'aliment témoin car il ne contient pas de poudre de feuilles de *Moringa oleifera*. Quant aux aliments essai Physnut-HI25%, Physnut-HI50%, Physnut-HI75% et Physnut-HI100%, la farine des graines de soja a été substituée par la poudre de feuilles de *Moringa oleifera* à raison respectivement de 25, 50, 75 et 100%.

Les compositions alimentaires par lot ont été présentées comme suit :

- Lot témoin sain : aliment IVOGRAIN®
- Lot témoin positive : aliment IVOGRAIN®
- L3P (aliment témoin) : 44,5 g (44,5%) de Farine de pain rassis + 25 g (25%) de Concassé de maïs + 16 g (16%) de Farine de poisson + 0,5 g (0,5%) de Sel raffinée de table + 14 g (14%) de Farine de soja + 00 g (00%) de poudre de feuilles de *Moringa oleifera*.
- Physnut-HI25% (Essai) : 44,5 g (44,5%) de Farine de pain rassis + 25 g (25%) de

Concassé de maïs + 16 g (16%) de Farine de poisson + 0,5 g (0,5%) de Sel raffinée de table + 10,5 g (10,5%) de Farine de soja + 3,5 g (3,5%) de poudre de feuilles de *Moringa oleifera*.

- Physnut-HI50% (Essai) : 44,5 g (44,5%) de Farine de pain rassis + 25 g (25%) de Concassé de maïs + 16 g (16%) de Farine de poisson + 0,5 g (0,5%) de Sel raffinée de table + 7 g (7%) de Farine de soja + 7 g (7%) de poudre de feuilles de *Moringa oleifera*
- Physnut-HI75% (Essai) : 44,5 g (44,5%) de Farine de pain rassis + 25 g (25%) de Concassé de maïs + 16 g (16%) de Farine de poisson + 0,5 g (0,5%) de Sel raffinée de table + 3,5 g (3,5%) de Farine de soja + 10,5 g (10,5%) de poudre de feuilles de *Moringa oleifera*
- Physnut-HI100% (Essai) : 44,5 g (44,5%) de Farine de pain rassis + 25 g (25%) de Concassé de maïs + 16 g (16%) de Farine de poisson + 0,5 g (0,5%) de Sel raffinée de table + 00 g (00%) de Farine de soja + 14 g (14%) de poudre de feuilles de *Moringa oleifera*

Induction de l'immunodépression chez les rats.

L'immunosuppression a été réalisée selon la méthode d'Alkhedaide et al. (2017). Les rats ont reçu par administration d'une dose de 5 mg/kg de poids corporel de Dexaméthasone par voie intra-péritonéale deux fois par jour pendant trois jours. Soixante-dix (70) rats ont été repartis en sept lots de dix rats. Un prélèvement a été réalisé à J₁ avant de procéder à l'administration de la dexaméthasone chez les rats des lots Témoin positif, L3P, Physnut-HI25%, "Physnut-HI50%", "Physnut-HI75%" et "Physnut-HI100%". Tous les rats des différents lots ont reçu en alimentation les différents régimes pendant une période de 28 jours ainsi que les rats du lot témoin négatif et positif. Les prélèvements sanguins ont été réalisés aux

jours 1, 3, 7, 14, 21 et 28 à l'aide de pipette pasteur en verre au niveau du sinus rétro orbitaire de l'œil des rats. Ces prélèvements ont été recueillis dans des tubes EDTA pour la réalisation des hémogrammes et dans des tubes secs pour la détermination des protéinogrammes.

Détermination de l'hémogramme chez les rats immunodéprimés par la dexaméthasone

La réalisation de la numération formule sanguine (NFS) a été effectuée par un système automatisé, le Sysmex XN 1000 (Xn 1000, KOBE JAPON) qui a permis de déterminer le taux de globules blancs totaux, le nombre de polynucléaires (neutrophile, basophile et éosinophile), le taux de lymphocytes totaux, le taux de monocytes et le nombre de granulocytes immatures par la méthode d'impédance et de cytométrie en flux fluorescente (par diode laser) décrit par Ormerod et al. (1993).

Détermination du protéinogramme

L'électrophorèse des protéines sériques a été réalisée avec le test Hydragel 5 (Sebia, Fulda, Allemagne) en utilisant la machine Hydrasys 2 (Sebia). Vingt microlitres de diluant ont été mélangés à 80 µL de sérum et vortexés pendant 5 secondes. Cinq microlitres de sérum traitée ont ensuite été appliqués dans le puits de départ du gel d'agarose. Dans le gel d'agarose, les complexes formés ont été séparés selon leur poids moléculaire par électrophorèse (Palizzotto et al., 2024)

Dosage plasmatique de l'immunoglobuline G (IgG)

L'étude de la concentration plasmatique en IgG a été faite à l'aide d'un lecteur OLYMPUS sur une longueur d'onde 570 nm et le dosage des IgG a été réalisé par la méthode d'immunoturbidimétrie.

Evaluation cytologique

Les prélèvements du suc médullaire ont été réalisés au premier jour afin d'observer la population cellulaire médullaire chez le sujet sain. Ensuite au troisième jour après

l'administration de la dexaméthasone, un second prélèvement a été réalisé à l'effet d'observer l'action de la substance immunosuppressive sur les différentes cellules médullaires. Un troisième prélèvement a été réalisé au 28^{ème} jours pour voir l'effet des différents types d'aliment sur les cellules hématopoïétiques. Pour ce faire, les rats ont été anesthésiés, ensuite les prélèvements sanguins ont été faits et enfin le fémur a été isolé. A l'aide d'une aiguille montée sur une seringue, la moelle osseuse a été aspirée au niveau de la tête du fémur. Elle a été étalée sur des lames afin de réaliser des frottis médullaires. Les frottis ont été fixés avec du méthanol pur avant de procéder à leurs colorations avec du May-Grunwald et du Giemsa. La coloration a permis l'identification des cellules souches hématopoïétique de la lignée blanche grâce à leurs caractéristiques propres mises en évidence. Le frottis a été examiné au microscope optique à immersion (objectif x100).

Analyse statistique

L'analyse statistique des résultats ainsi que les graphiques ont été réalisées à l'aide du logiciel Graph Pad prism Version 8.4.3 (San Diego, Californie, USA). Les résultats ont été exprimés en moyenne suivie de l'erreur standard sur la moyenne ($M \pm ESM$). La comparaison des moyennes entre les rats témoins et les rats traités a été effectuée avec le T de Student, ensuite les multiples comparaisons réalisées avec ANOVA suivie du test post hoc de Tukey. Le seuil de signification a été fixé à $p < 0,05$.

RESULTATS

Effet curatif de *Moringa oleifera* sur le système immunitaire

Cette administration a induit également une diminution hautement significative ($p < 0,001$) au jour 3 du nombre de globules blancs, du nombre de polynucléaires

basophiles, de polynucléaires éosinophiles, de lymphocytes totaux, de monocytes, de granulocytes immatures et de plaquettes sanguines. Cette diminution a été très significative ($p=0,009$) au niveau du taux de polynucléaires neutrophiles (Figure 1). La dexaméthasone a aussi provoqué chez les rats une diminution significative du poids corporel (Figure 2). La Figure 1 illustre cette diminution au jour 3 de l'induction de l'immunodépression. En effet, la dexaméthasone inhibe la prolifération lymphocytaire. Cette inhibition conduit également à une diminution du taux de lymphocyte (Figure 1). La Figure 2.I montre l'évolution pondérale chez le lot de rats sain et expérimentaux. L'administration de la dexaméthasone a causé la diminution pondérale au niveau des rats expérimentaux. Aucune variation significative ($p>0,05$) n'a été observé au niveau du lot témoin sain. L'administration de la dexaméthasone a induit une diminution de toutes les fractions de globulines à J₃. Cette diminution a été hautement significative ($p<0,001$) au niveau de l' α 2-globuline, β -globuline et de γ -globuline. Cette diminution a été significative ($p=0,017$) au niveau de α 1-globuline. Par contre, il n'y a eu aucune variation significative de ces paramètres au niveau des rats du lot témoin sain au troisième jour (Figure 2.II).

Evolution pondéral des rats soumis à l'aliment Physnut-HI

La Figure 4 indique l'évolution pondérale des rats traités par l'aliment Physnut-HI, des rats du lot témoin L3P et des rats du lot témoin positif au cours de la période de traitement. Aucune différence significative ($p>0,05$) n'a été observée au niveau du poids corporel entre les lots témoin positif, témoin L3P et celui des lots de rats soumis au Physnut-HI au jour 3. A partir du jour 7, le poids corporel des rats soumis aux aliments Physnut-HI25% Physnut-HI50% Physnut-HI75% et Physnut-HI100% a connu une augmentation

hautement significative ($p<0,001$) comparativement aux rats des lots témoins L3P et positif. Au 14^{ième}, 21^{ième} et 28^{ième} jour, le poids des rats des lots traités par les aliments supplémentés par la poudre de feuilles de moringa a augmenté significativement.

Evolution des paramètres hématologiques chez les rats soumis au Physnut-HI

Le traitement avec Physnut-HI de l'immunosuppression induite par la dexaméthasone chez les rats a entraîné une différence hautement significative ($p<0,001$) du nombre de leucocytes totaux entre les différents lots de rats au septième jour. Cette différence s'est traduite par une augmentation des leucocytes totaux au niveau des lots traités avec Physnut-HI par rapport au lot témoin positif. Au cours de la période de traitement, le nombre de leucocytes totaux a continué d'augmenter de façon hautement significative au niveau des lots de rats traités par Physnut-HI par rapport aux témoins positif et L3P. il en est de même pour le nombre de polynucléaires neutrophiles, basophiles et éosinophiles où une augmentation hautement significative ($p<0,001$) a été noté au niveau de tous les lots traités par Physnut-HI contrairement au lot témoin positif et le lot témoin L3P (Tableau 1).

Les résultats relatifs à l'évolution des lymphocytes ont indiqué une augmentation en fonction du temps. Cette augmentation du nombre de lymphocytes totaux a été hautement significative ($p<0,001$) au niveau de tous les lots traités par Physnut-HI par rapport au témoin positif du 7^{ième} au 28^{ième} jour de l'expérimentation. Les concentrations les plus importantes ont été enregistrées au niveau des lots Physnut-HI50%, Physnut-HI75%, Physnut-HI100% contrairement aux témoins positifs et L3P. Pour ce qui est du nombre de monocytes et de granulocytes immatures, une différence hautement significative ($p<0,001$) chez les rats traités par rapport aux rats du lot témoin positif a été noté tout au long de la période de traitement. Le nombre de plaquettes

sanguine a également augmenté au cours de l'expérimentation. Une différence hautement significative ($p<0,001$) a été noté au niveau des lots traités par rapport aux rats du lot témoin positif.

Le Tableau 4 relatif à la variation des concentrations de protéines sériques chez les rats ont montré une différence significative ($p<0,001$) entre les rats traités et les rats témoins en ce qui concerne la concentration de α_1 -globuline du septième jour au 28^{ième} jour de traitement. Quant à la concentration de α_2 -globuline, aucune différence significative ($p=0,670$) n'a été observé au septième jour bien que la concentration ait diminué chez tous les rats de tous les lots. Cependant, il y a eu une différence hautement significative entre les différents lots traités et le témoin positif du 14^{ième} au 28^{ième} jour. La concentration de β -globuline a augmenté chez tous les rats expérimentaux et une différence significative a été noté entre les rats traités et les rats témoin positif du septième au 21^{ième} jour. Au niveau de la concentration de γ -globuline, le traitement a induit une augmentation chez l'ensemble des rats traités et cette augmentation a été plus importantes au niveau des rats des lots Physnut-HI50%, Physnut-HI75%, Physnut-HI100% avec une différence hautement significative ($p<0,001$) par rapport aux rats des lots témoin positif sur toute la période du traitement. En ce qui concerne la concentration d'immunoglobuline (IgG) total, il n'y pas eu de différence significative entre les différents lots expérimentaux sur une période de 14 jours de traitement. Par contre, une différence significative a été observé à J₂₁ ($p=0,023$) et J₂₈ ($p<0,001$) par rapport au lot témoin positif.

Effet de Physnut-HI sur les cellules hématopoïétiques

Les Figures 5 et 6 présentent les populations des cellules hématopoïétiques

avant et après induction et de l'insuffisance immunitaire chez les rats ainsi qu'au vingt-huitième jour. Au jour 1, aucune répartition significative n'a été observé au niveau de la population de promyélocytes, myélocytes, métamyélocytes chez les tous les rats. En revanche, ces différentes cellules ont significativement diminué ($p<0,001$) au troisième jour d'induction par rapport au jour un. Cependant après le traitement par Physnut-HI, ces cellules hématopoïétiques ont connu une augmentation hautement significative ($p<0,001$).

Les cellules myéloïdes sont caractérisées par des noyaux clairs et un cytoplasme rose rougeâtre.

Les cellules érythroïdes quant à elles se caractérisent par la présence de noyaux plus dense avec peu de cytoplasme. La Figure A, a montré une microphotographie de la moelle osseuse du rat du lot témoin positif à J₂₈ avec une cellularité réduite et des cellules adipeuses abondantes. La Figure B indique une microphotographie de la moelle osseuse du rat du lot témoin sain avec une cellularité normale. Cellules myéloïdes et différent stade de maturation cellulaire (myéloblaste, promyélocyte, myélocyte et métamyélocyte) observé. La Figure C a présenté une microphotographie de la moelle osseuse du rat traité par le témoin L3P avec un microenvironnement hématopoïétique normal. Les Figures D, E, F et G ont indiqué des microphotographies de la moelle osseuse du rat des lots traités respectivement par l'aliment Physnut-HI25% Physnut-HI50% Physnut-HI75% et Physnut-HI100% caractérisé par un microenvironnement hématopoïétique riche en cellules myéloïdes à différents stades de maturation et de cellules érythroïdes à J₂₈.

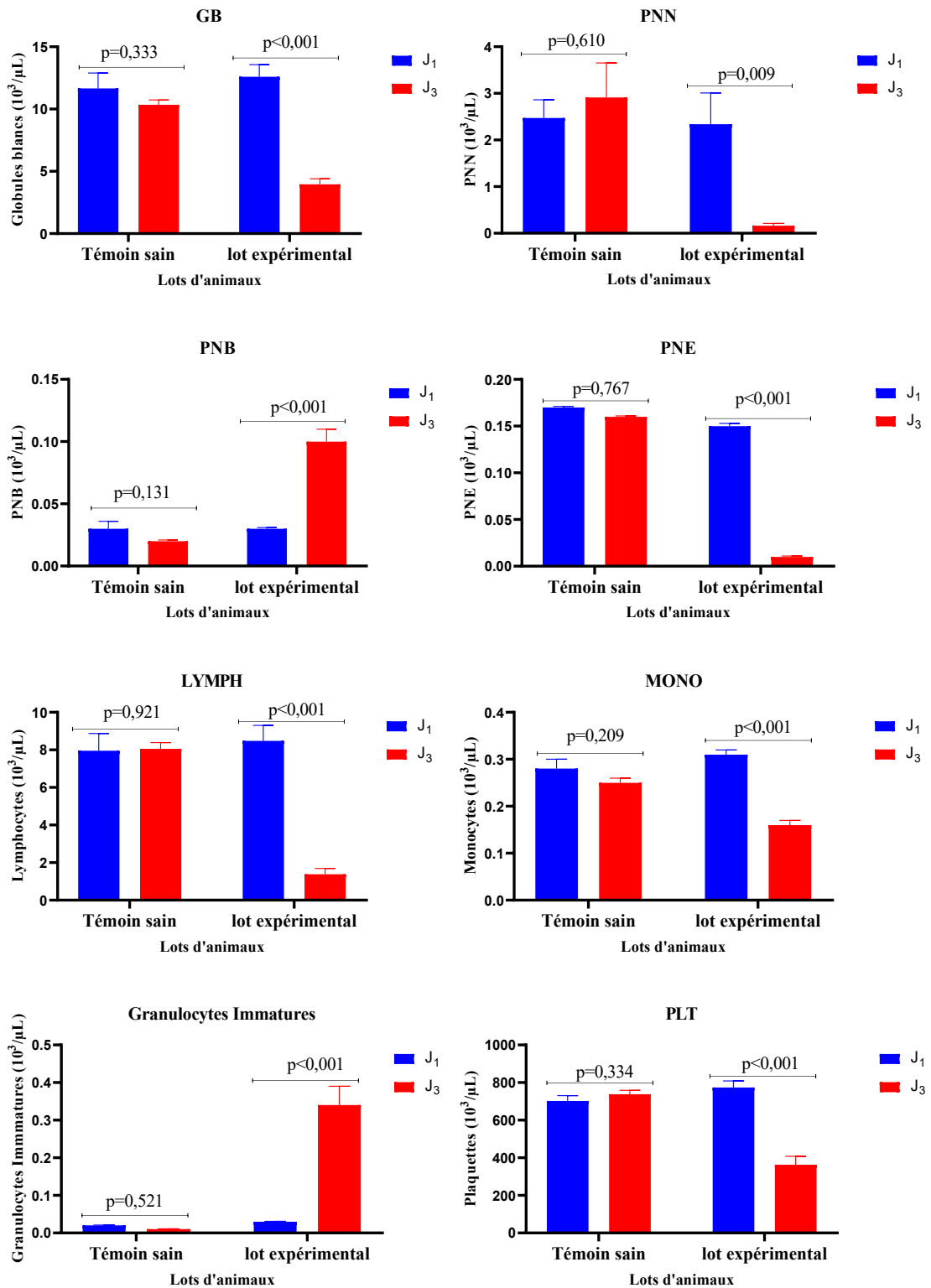


Figure 1 : variation des paramètres leucocytaires au cours de l'immunosuppression chez les rats.

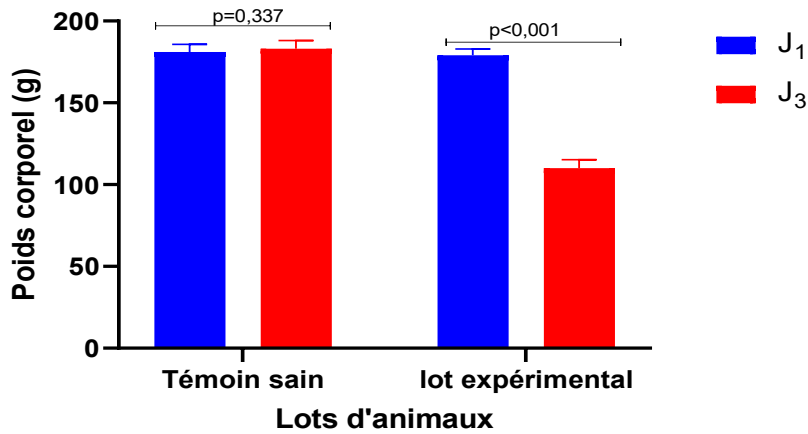


Figure 2 : variation pondérale après induction de l’immunodépression.

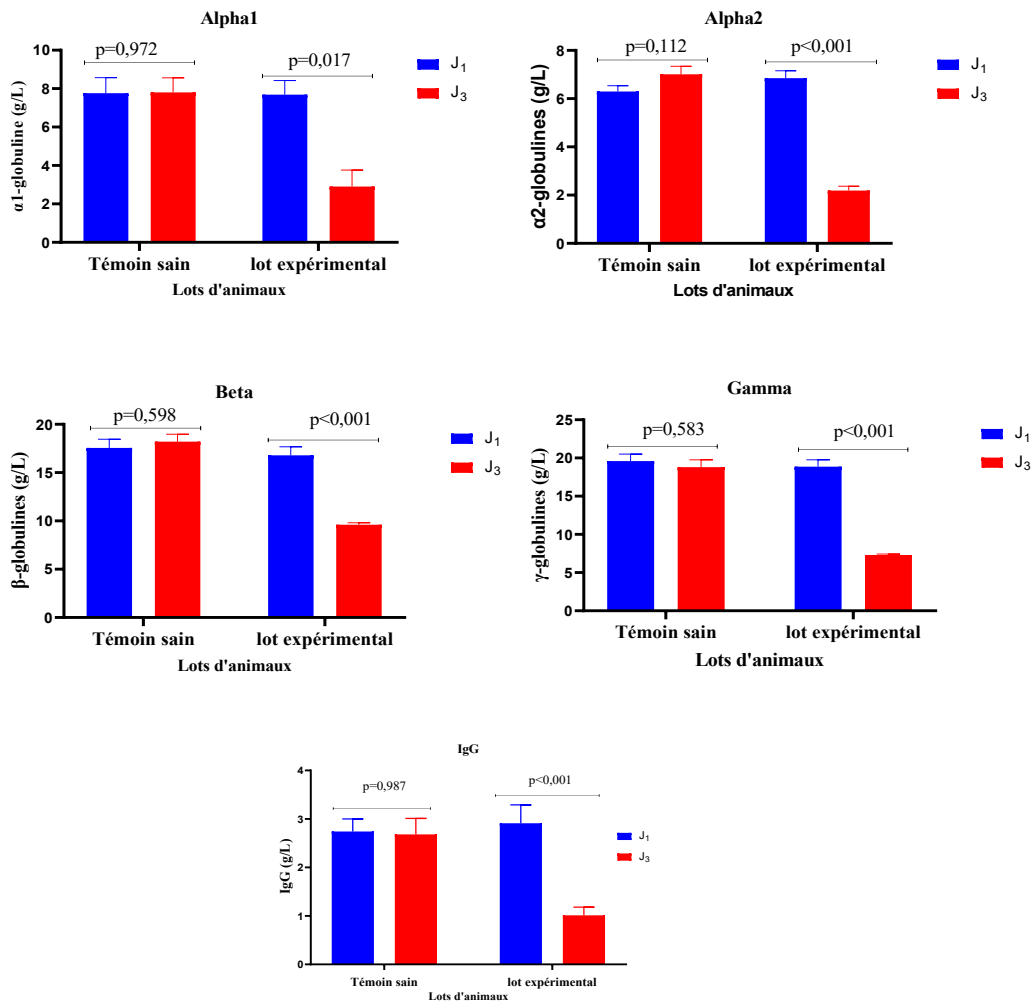


Figure 3 : variation des concentrations de globulines au cours de l’immunosuppression.

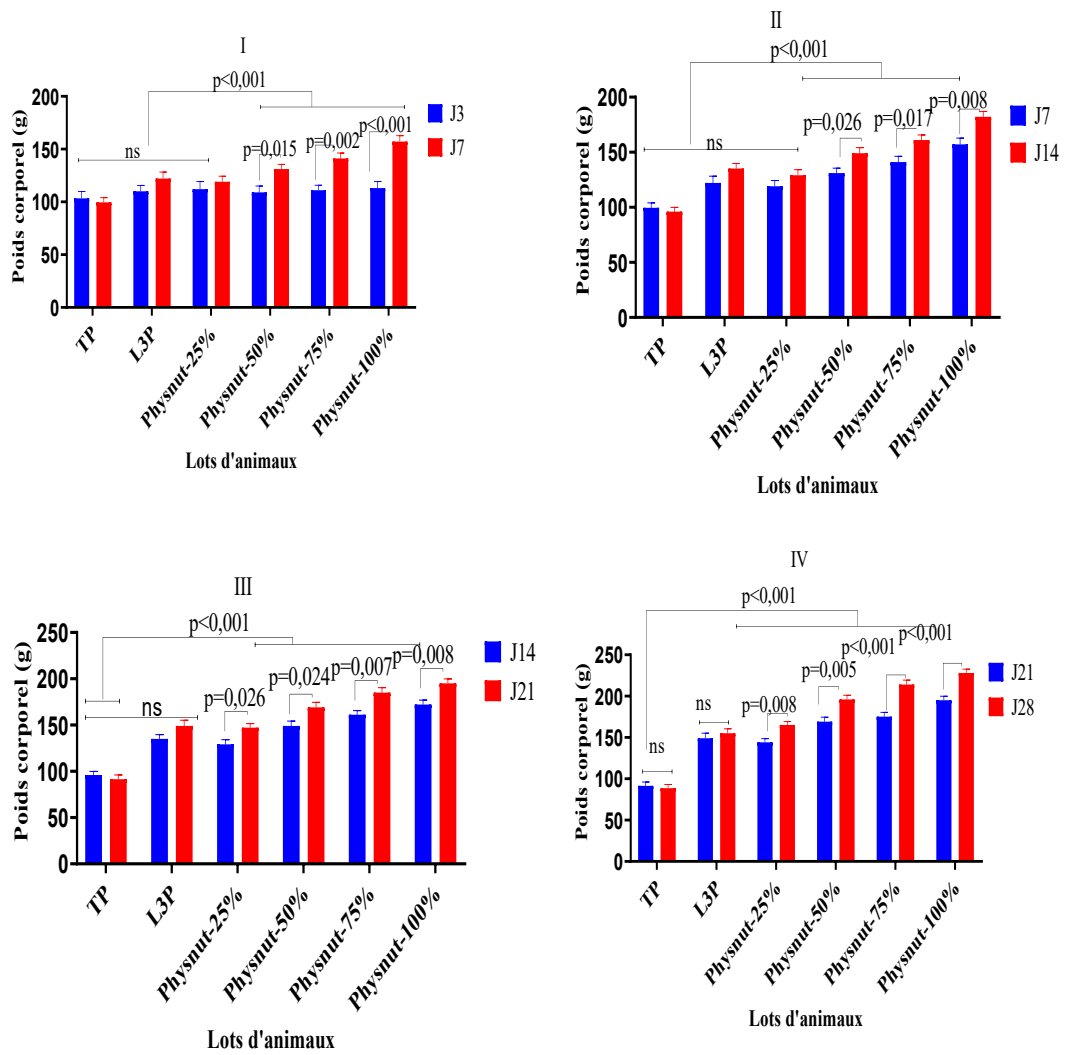


Figure 4 : variation pondérale au cours du traitement au Physnut-HI chez les rats.

Tableau 1 : Evolution des paramètres leucocytaires au cours de l'expérimentation.

Paramètres	Périodes	Témoin positif	L3P	Physnut-HI25%	Physnut-HI50%	Physnut-HI75%	Physnut-HI100%	P
Globules Blancs ($10^3/\mu\text{L}$)	J3	3,32±0,21	3,08±0,11	2,97±0,15	3,12±0,24	3,11±0,15	2,94±0,19	0,729
	J7	2,48±0,33 ^a	8,28±0,73 ^c	9,06±0,43 ^{eb}	10,61±0,76 ^b	13,87±0,92 ^c	14,07±0,69 ^c	<0,001
	J14	2,14±0,26 ^a	12,23±0,79 ^b	12,92±1,21 ^b	13,26±0,90 ^b	14,55±0,79 ^b	15,06±0,77 ^b	<0,001
	J21	2,03±0,44 ^a	10,90±0,53 ^b	14,67±0,79 ^c	14,74±0,88 ^c	15,37±0,85 ^c	16,40±0,94 ^c	<0,001
	J28	3,06±0,44 ^a	9,84±0,76 ^b	17,12±0,58 ^c	18,14±0,59 ^c	19,24±0,96 ^c	19,95±0,87 ^c	<0,001
Polynucléaires neutrophiles ($10^3/\mu\text{L}$)	J3	0,94±0,05 ^a	0,64±0,03 ^b	0,52±0,04 ^b	0,64±0,06 ^b	0,62±0,01 ^b	0,54±0,06 ^b	<0,001
	J7	0,55±0,28 ^a	1,57±0,29 ^{ab}	2,18±0,62 ^{ab}	1,77±0,33 ^{ab}	3,20±0,63 ^b	2,97±0,35 ^b	0,002
	J14	0,85±0,19 ^a	3,53±0,63 ^{ab}	3,21±0,79 ^{ab}	3,31±0,72 ^{ab}	5,35±0,87 ^b	2,30±0,55 ^{ab}	0,002
	J21	1,35±0,12 ^{ac}	1,08±0,77 ^c	6,96±0,87 ^b	4,29±0,64 ^a ^b	5,50±0,91 ^{ab}	5,78±0,84 ^{ab}	<0,001
	J28	1,60±0,38 ^a	2,52±0,55 ^a	7,83±0,29 ^b	6,68±0,58 ^b	6,29±0,77 ^b	6,16±0,33 ^b	<0,001
Polynucléaires basophiles ($10^3/\mu\text{L}$)	J3	0,02±0,001 ^a	0,02±0,001 ^a	0,01±0,001 ^b	0,02±0,001 ^a	0,02±0,001 ^a	0,01±0,001 ^b	0,030
	J7	0,01±0,003 ^a	0,02±0,001 ^b	0,02±0,001 ^b	0,01±0,001 ^a	0,03±0,001 ^c	0,04±0,001 ^d	<0,001
	J14	0,01±0,001 ^a	0,01±0,001 ^a	0,03±0,001 ^b	0,05±0,002 ^c	0,02±0,001 ^d	0,04±0,002 ^c	<0,001
	J21	0,01±0,001 ^a	0,02±0,002 ^a	0,17±0,05 ^b	0,02±0,002 ^a	0,04±0,002 ^a	0,02±0,001 ^a	<0,001
	J28	0,02±0,001 ^a	0,01±0,002 ^b	0,06±0,002 ^c	0,02±0,003 ^a	0,05±0,001 ^d	0,05±0,001 ^d	<0,001
Polynucléaires éosinophiles ($10^3/\mu\text{L}$)	J3	0,01±0,001 ^a	0,00±0,00 ^b	0,01±0,001 ^a	0,02±0,001 ^c	0,01±0,001 ^a	0,02±0,001 ^{cd}	<0,001
	J7	0,35±0,02 ^a	0,25±0,07 ^{ac}	0,60±0,05 ^b	0,08±0,002 ^c	0,70±0,05 ^d	0,10±0,05 ^{ce}	<0,001
	J14	0,09±0,002 ^a	0,25±0,001 ^a	0,17±0,06 ^a	0,23±0,05 ^a	0,51±0,07 ^b	0,15±0,05 ^a	<0,001
	J21	0,01±0,001 ^a	0,01±0,001 ^a	0,05±0,001 ^a	0,01±0,001 ^a	0,46±0,05 ^b	0,01±0,001 ^a	<0,001
	J28	0,05±0,001 ^a	0,44±0,01 ^b	0,21±0,02 ^a	0,12±0,05 ^a	0,48±0,06 ^b	0,18±0,06 ^a	<0,001

Les moyennes suivies des lettres identiques ne sont pas différentes statistiquement au seuil de 0,05 P : P : p-values, L3P : nom de l'aliment témoin, Physnut-HI : nom de l'aliment expérimental contenant la poudre de feuille de *Moringa oleifera*.

Tableau 2 : Evolution des paramètres leucocytaires au cours de l'expérimentation.

Paramètres		Périodes	Témoin positif	L3P	Physnut-HI 25%	Physnut-HI 50%	Physnut-HI 75%	Physnut-HI 100%	P
Lymphocytes (10 ³ /μL)		J3	2,05±0,03 ^a	1,97±0,03 ^a	0,33±0,01 ^b	1,32±0,04 ^c	1,64±0,07 ^d	0,83±0,01 ^c	<0,001
		J7	1,37±0,02 ^a	5,64±0,53 ^b	5,64±0,49 ^b	8,05±0,65 ^{cd}	8,70±0,63 ^c	6,04±0,26 ^d	<0,001
		J14	1,00±0,03 ^a	8,18±0,91 ^{bd}	5,12±0,43 ^c	6,55±0,59 ^c	7,06±0,48 ^c	9,51±0,39 ^d	<0,001
		J21	1,36±0,20 ^a	6,77±0,93 ^b	6,75±0,86 ^b	9,59±0,81 ^b	8,52±0,61 ^b	7,70±0,55 ^b	<0,001
		J28	1,99±0,77 ^a	5,31±0,62 ^b	7,65±0,43 ^{bc}	10,54±0,68 ^{ce}	10,87±0,89 ^c	12,94±0,76 ^c	<0,001
Monocytes (10 ³ /μL)		J3	0,30±0,02 ^a	0,45±0,06 ^a	1,61±0,05 ^b	0,48±0,03 ^a	0,51±0,07 ^c	0,56±0,04 ^c	<0,001
		J7	0,20±0,01 ^a	0,80±0,08 ^a	0,62±0,05 ^a	0,70±0,02 ^a	1,24±0,33 ^a	4,92±0,78 ^b	<0,001
		J14	0,19±0,05 ^a	0,26±0,05 ^b	4,39±0,65 ^c	3,12±0,14 ^c	0,61±0,11 ^a	3,06±0,42 ^c	<0,001
		J21	0,10±0,06 ^a	3,02±0,55 ^b	0,74±0,09 ^a	0,88±0,05 ^a	0,85±0,07 ^a	2,29±0,31 ^b	<0,001
		J28	0,40±0,05 ^a	1,56±0,17 ^b	1,37±0,12 ^b	0,98±0,03 ^a	1,55±0,32 ^b	0,62±0,05 ^a	<0,001
Granulocytes (10 ³ /μL)	Immatures	J3	0,32±0,07	0,53±0,01	0,49±0,03	0,64±0,02	0,55±0,03	0,39±0,04	0,655
		J7	0,06±0,001 ^a	0,01±0,001 ^b	0,00±0,00 ^c	0,03±0,001 ^d	0,08±0,002 ^c	0,03±0,002 ^d	<0,001
		J14	0,11±0,04 ^a	0,03±0,002 ^b	0,00±0,00 ^b	0,00±0,00 ^b	0,02±0,003 ^b	0,02±0,001 ^b	<0,001
		J21	0,25±0,03 ^a	0,03±0,001 ^b	0,88±0,05 ^c	0,03±0,002 ^{bd}	0,10±0,03 ^d	0,25±0,05 ^a	<0,001
		J28	0,11±0,03 ^a	0,01±0,001 ^b	0,01±0,001 ^b	0,01±0,001 ^b	0,32±0,02 ^c	0,06±0,005 ^a	<0,001
Plaquette (10 ³ /μL)		J3	472±54,32	356±39,22	437±29,56	377±53,28	333±26,93	428±33,77	0,164
		J7	549±92,50 ^a	444±28,54 ^a	701±45,28 ^a	802±47,55 ^b	610±73,21 ^a	745±67,43 ^b	0,004
		J14	494±66,73 ^{ab}	370±29,55 ^a	676±45,91 ^b	588±43,28 ^b	696±58,26 ^b	507±36,14 ^{ab}	<0,001
		J21	318±29,18 ^a	370±34,99 ^a	802±32,17 ^b	736±59,11 ^b	774±65,42 ^b	688±49,55 ^b	<0,001
		J28	710±48,55 ^a	440±48,22 ^b	539±41,86 ^a	575±32,64 ^a	642±44,17 ^a	975±64,32 ^c	<0,001

Les moyennes suivies des lettres identiques ne sont pas différentes statistiquement au seuil de 0,05 P : P : p-values, L3P : nom de l'aliment témoin, Physnut-HI : nom de l'aliment expérimental contenant la poudre de feuille de *Moringa oleifera*.

Tableau 3 : Evolution des protéines sériques au cours du traitement.

Paramètres	Périodes	Témoïn positif	L3P	Physnut-HI 25%	Physnut-HI 50%	Physnut-HI 75%	Physnut-HI 100%	P
α_1 -globuline (g/L)	J3	5,50±0,94 ^a	7,21±0,43 ^{ab}	8,5±0,72 ^b	7,1±0,81 ^{ab}	8,8±0,54 ^b	9,11±0,63 ^b	0,009
	J7	8,30±0,83 ^a	7,8±0,59 ^a	11,3±0,77 ^b	9,23±0,79 ^{ab}	10,12±0,83 ^{ab}	11,2±0,72 ^b	<0,001
	J14	8,60±0,64 ^{ad}	9,2±0,62 ^{ad}	11,9±0,63 ^{bd}	10,3±0,54 ^d	8,2±0,73 ^{acd}	7,4±0,50 ^{ac}	<0,001
	J21	6,00±0,33 ^a	5,9±0,77 ^c	10,2±0,81 ^b	10,8±0,63 ^b	6,7±0,68 ^{ac}	6,9±0,98 ^{ac}	<0,001
	J28	7,50±0,88 ^a	11,7±0,93 ^b	8,8±0,71 ^c	13,1±1,18 ^c	9,2±1,13 ^c	7,4±0,76 ^c	0,003
α_2 -globuline (g/L)	J3	26,60±3,79	22,5±4,33	25,8±4,33	20,7±1,09	22,9±0,31	21,4±0,40	0,674
	J7	6,90±0,61	8,4±0,91	5,5±0,65	5,8±0,64	6,7±0,39	6,2±0,33	0,670
	J14	8,50±0,73 ^{af}	5,3±0,66 ^b	10,2±0,74 ^{fc}	8,3 ±0,71 ^{ac}	10,1±0,44 ^{fc}	7,3±0,27 ^{ab} _c	<0,001
	J21	15,50±0,84 ^a	9,4±0,47 ^b	5,6±0,33 ^{cd}	6,2±0,59 ^{cd}	7,1±0,38 ^d	4,3±0,33 ^c	<0,001
	J28	11,40±0,52 ^a	6,7±0,34 ^b	4,3±0,26 ^d	8,9±0,32 ^c	8,3±0,77 ^{bc}	5,2±0,25 ^{cd}	<0,001
β -globuline (g/L)	J3	8,50±0,93	8,6±0,72	8,2±0,94	6,7±0,81	6,4±0,83	8,5±0,51	0,209
	J7	10,80±0,70 ^a	6,2±0,67 ^b	9,9±0,96 ^{ac}	8,3±0,85 ^{abc}	9,1±0,77 ^{abc}	9,9±0,71 ^c	0,005
	J14	13,00±0,85 ^a	25,6±0,93 ^b	25,1±1,33 ^b	26,9±0,64 ^b	25,3±0,61 ^b	23,8±0,55 ^b	<0,001
	J21	10,90±0,76 ^a	26,7±1,46 ^d	21,9±0,69 ^b	24,2±0,77 ^{bd}	25,6±0,57 ^{bd}	21,4±0,60 ^b	<0,001
	J28	12,90±1,33	22,4±4,16	22,1±1,52	22,2±3,14	26,3±2,8	21,5±3,19	0,061
γ -globuline (g/L)	J3	3,20±0,17 ^{abc}	3,1±0,19 ^{abc}	2,2±0,31 ^b	3,5±0,29 ^c	2,9±0,44 ^{abc}	3,9±0,30 ^{ac}	<0,001
	J7	4,00±0,36 ^a	8,6±0,28 ^b	8,6±0,66 ^b	9,7±0,58 ^{bc}	8,9±0,19 ^{bc}	10,5±0,45 ^c	<0,001
	J14	4,32±0,44 ^a	8,5±0,54 ^b	8,9±0,94 ^b	10,9±0,63 ^b	12,5±0,23 ^c	14,8±0,41 ^c	<0,001
	J21	4,10±0,27 ^a	9,9±0,86 ^b	9,4±0,70 ^b	11,6±0,52 ^b	13,1±0,44 ^c	15,9±0,58 ^d	<0,001
	J28	4,04±0,29 ^a	10,1±0,83 ^b	10,7±0,96 ^b	12,8±1,04 ^{bc}	13,9±0,99 ^{cb}	16,3±0,94 ^c	<0,001
IgG (g/L)	J3	1,83±0,25	1,01±0,32	1,04±0,26	0,93±0,41	1,01±0,30	0,94±0,28	0,302
	J7	1,21±0,36	1,94±0,24	1,82±0,38	2,19±0,73	2,22±0,56	2,61±0,18	0,420
	J14	1,26±0,29	2,01±0,45	1,96±0,22	2,27±0,59	2,74±0,69	2,99±0,36	0,114
	J21	1,18±0,46 ^a	1,77±0,38 ^{ab}	1,99±0,45 ^{ab}	2,89±0,72 ^{ab}	3,01±0,75 ^{ab}	3,78±0,37 ^b	0,023
	J28	1,12±0,21 ^a	2,02±0,49 ^a	2,55±0,25 ^{ab}	2,94±0,63 ^b	3,92±0,42 ^b	4,28±0,33 ^b	<0,001

Les moyennes suivies des lettres identiques ne sont pas différentes statistiquement au seuil de 0,05 P : P : p-values, L3P : nom de l'aliment

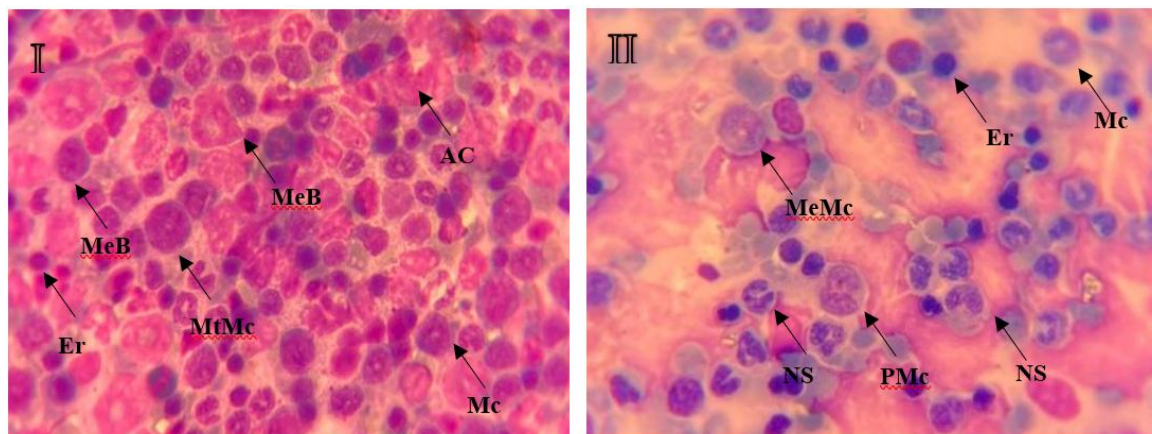


Figure 5 : Examen des cellules de la moelle osseuse.

Répartition des cellules hématopoïétiques des rats sain et immunosupprimé

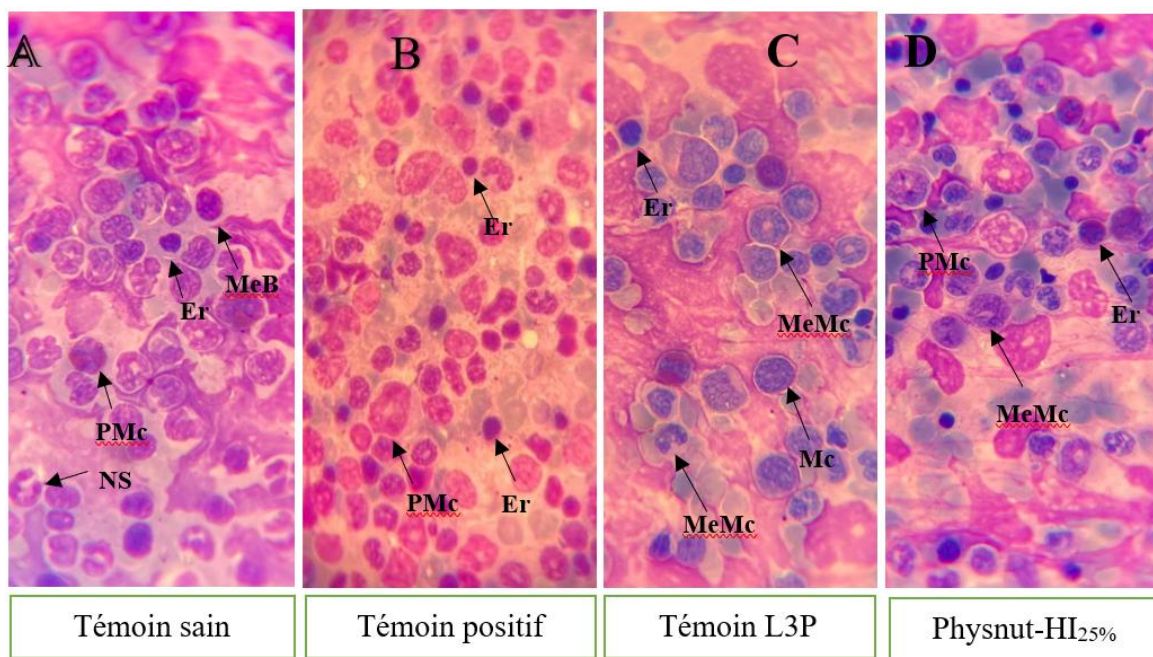
I : Cellules médullaires de rat normal (degré normal de cellularité) au jour 1

II : Cellules médullaires de rat immunodéprimé par la dexaméthasone au jour 3

La caractérisation des cellules myéloïdes a concerné les myéloblastes, les promyélocytes, les myélocytes et les métamyélocytes.

Lignée myéloïde (May-Grünwald Giemsa $\times 100$) (I, II, A, B, C, E, F, G). MtMc. Métamyélocyte ; MeB. Myéloblaste ; PMc.

Promyélocyte ; NS. Neutrophile Segmenté ; Mc. Myélocyte ; Er. Erythroblaste ; AD. Adypocyte



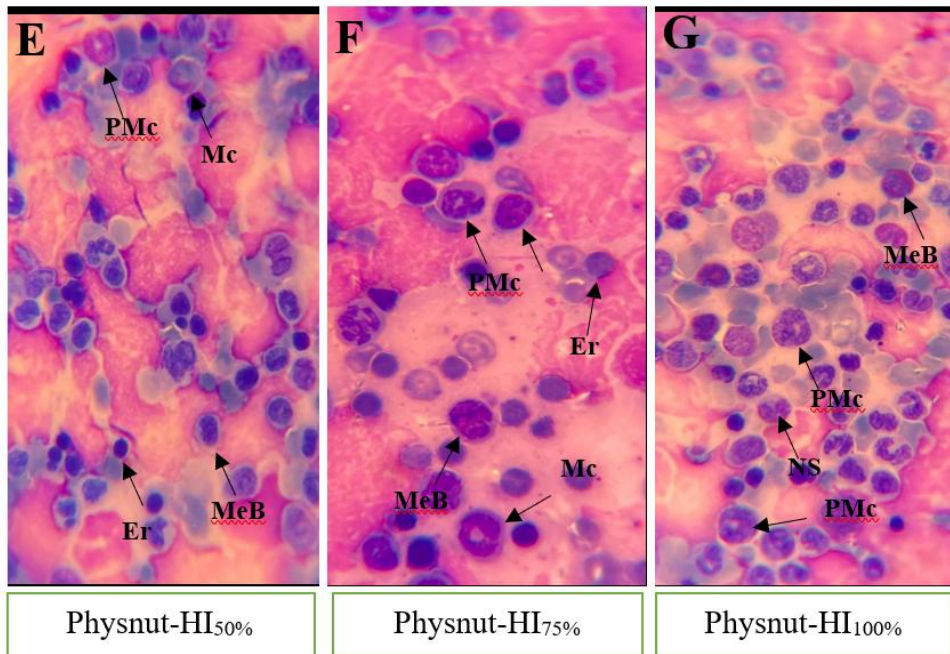


Figure 6 : Répartition des cellules hématopoïétiques.

Lignée myéloïde (May-Grünwald Giemsa $\times 100$) (I, II, A, B, C, E, F, G). MtMc. Métamyélocyte ; MeB. Myéloblaste ; PMc. Promyélocyte ; NS. Neutrophile Segmenté ; Mc. Myélocyte ; Er. Erythroblaste

DISCUSSION

La présente étude a montré que la supplémentation en poudre de feuille de *Moringa oleifera* rétabli l'immunité cellulaire de rats en stimulant la production de cellules myéloïdes et érythroïdes comme l'indique les résultats obtenus au bout de 28 jours d'expérimentation. Une augmentation significative du poids en fonction du pourcentage d'incorporation de la poudre de feuille de *Moringa oleifera* au bout de 28 jours confirme son caractère bénéfique. Cela pourrait s'expliquer par le fait que la poudre des feuilles de *Moringa oleifera* serait riche en macronutriment et en micronutriments notamment en protéines brutes, en vitamine C, A et E. Des travaux antérieurs soutiennent cette affirmation en ce sens que Founmilayo et al. (2023) ont montré dans une étude réalisée sur une cohorte de 150 enfants atteints de malnutrition aigüe modéré qui ont été nourris avec une bouillie composée d'un mélange de

maïs, de sorgho malté, de soja, d'arachide, de lait et de poudre de feuille de moringa. Ces auteurs ont indiqué que sur une période de six mois, la supplémentation par la poudre de moringa à permis un gain de poids significatif. Par ailleurs, l'augmentation des leucocytes totaux, des lymphocytes totaux, des monocytes et des neutrophiles au cours de l'expérience pourrait traduire d'une prolifération accrue de ceux-ci induit par Physnut-HI en fonction du pourcentage d'incorporation de la poudre de moringa. Cette supplémentation dose dépendante de la poudre de feuilles de *Moringa oleifera* aurait stimulé le système immunitaire des rats en induisant la prolifération des globules blancs et en activant les macrophages (Tété-Bénissan et al., 2012). Cette activation aurait donc entraîné une production d'anticorps et une activation lymphocytaire. Les résultats des travaux antérieurs de Nfambi et al. (2015b) vont dans le même sens. C'est auteur ont montré qu'avec une dose de 1000 mg/kg de pc

d'un extrait méthanolique l'immunité des sujets immunodéprimés par la cyclophosphamide est restauré avec l'augmentation des globules blancs. A l'issu de 28 jours d'expérimentation, les protéines de l'inflammation et d'immunité ainsi que la concentration d'immunoglobuline G totaux ont connu une augmentation chez les rats traités avec Physnut-HI. L'augmentation de la concentration de α 1-globuline pourrait être due à un taux de lipoprotéines responsable du transport de lipides et de la modulation du système immunitaire (Nabede. et al., 2025). Les résultats obtenus dans cette étude sont similaire avec ceux de Nabede. et al. (2025) qui ont montré une activité immunostimulante de l'huile de *Blighia sapida* à travers la détermination du protéinogramme chez le rat Wistar dans une étude réalisée en 2025. La variation des γ -globuline reflétant l'état immunitaire d'un individu, son augmentation signifierait un bon état immunitaire. Les résultats obtenus indiquent une augmentation significative dose dépendante du taux de γ -globuline chez les rats traités avec le Physnut-HI. *Moringa oleifera* aurait donc induit une prolifération lymphocytaire qui aurait provoqué une augmentation des γ -globuline et des immunoglobulines G totaux. Des résultats similaires ont été rapporté par Dobutr et al. (2025) qui ont mis en évidence dans une étude réalisé sur les propriétés immunomodulatrices d'extrait de plante. Ces auteurs ont indiqué que l'extrait de feuilles de *Moringa oleifera* avait induit une prolifération de la population de lymphocytes T et B. La caractérisation des cellules de la moelle osseuse a montré une bonne cellularité pour les rats traités avec Physnut-HI. Par ailleurs, les travaux de Bleou et al. (2026) ont mis en évidence l'effet prolifératif de l'extrait aqueux des feuilles de *Moringa oleifera* sur les cellules souches hématopoïétiques chez le rat. Ce qui pourrait suggérer une bonne réponse médullaire par les feuilles de *Moringa oleifera*.

Conclusion

L'objectif de cette étude était d'évaluer l'effet d'un aliment fonctionnel contenant des feuilles de *Moringa oleifera* sur le système immunitaire Cette étude confirme les propriétés attribuées aux feuilles de *Moringa oleifera*. La poudre de feuilles de moringa étant plus concentré et plus riche en minéraux et en protéine brute, sa consommation a un effet bénéfique sur la santé humaine et animale. Cependant la poudre de feuilles de moringa peut être une alternative sérieuse pour la prise en charge de certaines pathologies infectieuses par renforcement du système immunitaire. Physnut-HI pourrait également être une alternative à l'alimentation animale notamment à la production aviaire, cunicole et bien d'autres car la présente étude a mis en lumière la capacité de stimuler l'immunité des sujets traités. L'objectif de cette expérimentation cadre parfaitement avec les objectifs 2 et 3 des 17 objectifs de développement durables.

CONFLITS D'INTERETS

Les auteurs déclarent n'avoir aucun conflit d'intérêts.

CONTRIBUTIONS DES AUTEURS

AC : exécution du protocole, analyses biologiques et lecture des cellules de la moelle osseuse SC : lecture des cellules de la moelle osseuse MO : révision du manuscrit, JPA : analyses statistique NMB : Direction de l'équipe de recherche.

REMERCIEMENTS

Aux différents participants de cette étude particulièrement au Directeur du Laboratoire Physiologie, Pharmacologie et Pharmacopée.

REFERENCES

- Alkhedaide, A, Soliman, MM., Ismail, TA. 2017. Protective effect of onion extract against experimental immunesuppression in *Wistar* rats : Biological and molecular study. *Afr. J. Tradit. Complement. Altern.*

- Med.*, **14**(5): 96-103. DOI: <https://doi.org/10.21010/ajtcam.v14i5.13>
- Bleou O, Angbo KMA, Konan M, Adou L, Yapo F, Adon MA. 2026. Etude de l'activité proliférative de l'extrait aqueux des feuilles de *Moringa oleifera* sur les cellules souches de la moelle osseuse des rats *Wistar*. *PMTA*, **24**(2) : 43-49.
- Dobutr, T, Jangpromma, N, Patramanon, R, Daduang, J, Kulchat, S, Areemit, J, Lomthaisong, K, Daduang, S. 2025. Screening of aqueous plant extracts for immunomodulatory effects on immune cells and cytokine production: *in vitro* and *in vivo* analyses. *Heliyon*, **11**(4): e42692. DOI: <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2025.e42692>
- Founmilayo LFT, Nadia FF, Polycarpe K. 2023. Impact of *Moringa oleifera* Leaf Flour supplement on Weight Gain in Moderately Acutely Malnourished Children in Benin. *Arch Food Nutr Sci.*, (7): 070-077. DOI: <https://doi.org/10.29328/journal.afns.1001052>
- Garofalo S, Cocozza G, Porzia A, Inghilleri M, Raspa M, Scavizzi F, Aronica E, Bernardini G, Peng L, Ransohoff RM, Santoni A, Limatola C. 2020. Natural killer cells modulate motor neuron-immune cell cross talk in models of Amyotrophic Lateral Sclerosis. *Nat. Commun.*, **11**(1): 1773. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41467-020-15644-8>
- Houndji, B, Bodjrenou, S, Londji, S, Ouetchehou, R, Acakpo, A, Amouzou, K. 2013. Amélioration de l'état nutritionnel des enfants âgés de 6 à 30 mois à Lissézoun (Centre-Bénin) par la poudre de feuilles de *Moringa oleifera* (Lam.). *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, **7**(1) : 225-235. DOI: <http://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v7i1.19>
- Ibrahim S, Abderrahmani A, El-Dine R, Mohamed G, Abdallah H. 2022. Middle Eastern Diets as a Potential Source of Immunomodulators. In *Plants and Phytomolecules for Immunomodulation : Recent Trends and Advances*, Sangwan N, Farag M, Modolo L (Éds). Springer Nature; 163-190. DOI: https://doi.org/10.1007/978-981-16-8117-2_7
- Laleye OAF, Ahissou H, Olounlade AP, Azando EVB, Laleye A. 2016. Etude bibliographique de trois plantes antidiabétiques de la flore béninoise : *Khaya senegalensis* (Desr) A. Juss (Meliaceae), *Momordica charantia* Linn (Cucurbitaceae) et *Moringa oleifera* Lam (Moringaceae). *Int. J. Biol. Chem. Sci.* **9**(5): 2682. DOI: <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v9i5.38>
- Nabede A, Sina H, Souho T, Mélila M, Ouadja B, Salami HA, Assogba SA, Adjanohoun A, Baba-Moussa L, Amouzou K. 2025. Effects of *Blighia sapida* arils oil consumption on hemoglobin, serum proteins, and some vital organs in *Wistar* rats. *Scientific African*, **27**(23): e02507. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2024.e02507>
- Naco M, Coulibaly D, Tirera H, Mariko M, Koumare B, Ndiaye B, Sarr S, Sanogo R, Diop A. 2024. Etude de la composition phytochimique et activités antioxydante des feuilles du *Moringa oleifera*. Lam (Moringaceae) dans les régions de Kita (Mali) et de Thiès (Sénégal). *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, **18**(4) : 1554-1568. DOI: <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v18i4.26>
- Nfambi J, Bbosa GS, Sembajwe LF, Gakunga J, Kasolo JN. 2015. Immunomodulatory activity of methanolic leaf extract of *Moringa oleifera* in *Wistar* albino rats. *J. Basic Clin. Physiol.*, **26**(6): 603-611. DOI: <https://doi.org/10.1515/jbcpp-2014-0104>
- Ormerod MG, Sun X, Snowden RT, Davies R, Fearnhead H, Cohen GM. 1993. Increased membrane permeability of

- apoptotic thymocytes : A flow cytometric study. *Cytometry*, **14**(6) : 595-602. DOI: <https://doi.org/10.1002/cyto.990140603>
- Palizzotto C, Ferri F, Callegari C, Rossi F, Manfredi M, Carcangiu L, Gerardi G, Ferro S, Cavicchioli L, Müller E, Weiss M, Vogt A, Lavatelli F, Ricagno S, Hurley K, Zini E. 2024. Renal amyloid-A amyloidosis in cats : Characterization of proteinuria and biomarker discovery, and associations with kidney histology. *J. Vet. Intern. Med.*, **38**(1) : 205-215. DOI: <https://doi.org/10.1111/jvim.16920>
- Rusnedy R. 2021. Potential Natural Product from Tropical Fruits : A Mixture Young Coconut Fruit and Kaffir Lime Fruit as Immunonutrition for the Treatment of Sepsis by Lipopolysaccharide *Escherichia coli* (Infectious Disease). In *Infections and Sepsis Development* (p. 394). IntechOpen. DOI: <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.99005>
- Strzelec M, Detka J, Mieszczak P, Sobocińska MK, Majka M. 2023. Immunomodulation—A general review of the current state-of-the-art and new therapeutic strategies for targeting the immune system. *Front. Immunol.*, **14**: 1127704. DOI: <https://doi.org/10.3389/fimmu.2023.1127704>
- Tété-Bénissan A, Quashie MLA, Lawson-Evi K, Kokou K, Gbeassor M. 2012. Récupération nutritionnelle chez les sujets malnutris VIH positifs et VIH négatifs après utilisation de feuilles de *Moringa oleifera* Lam. *J. Anim. Plant Sci.*, **15**(2) : 2184-2199.