



Original Paper

<http://ajol.info/index.php/ijbcs>

<http://indexmedicus.afro.who.int>

Tableur Ouest Africain de Formulation d'Aliments de Volailles (TOAFA –Volaille)

N. BRAH^{1,2*}, F. M. HOUNDONOUGBO¹, S. ISSA² et C. A. A. M. CHRYSOSTOME¹

¹ *Ecole des Sciences et Techniques de Production Animale, Faculté des Sciences Agronomiques, Université d'Abomey-Calavi, Bénin, BP: 03 BP 256 Cotonou, Bénin.*

² *Département de Production Animale, Institut National de la Recherche Agronomique du Niger, BP : 429 Niamey Niger.*

*Auteur correspondant ; E-mail : brahnouri@yahoo.fr; Tel : + 227 90 99 90 66

RESUME

La formulation d'aliments efficaces pour animaux doit tenir compte des valeurs nutritives des ingrédients disponibles, des facteurs antinutritionnels et du prix de chaque ingrédient. La programmation linéaire constitue un des outils de base des méthodes de formulation des aliments efficaces. Le tableur Ouest Africain de formulation d'aliments de volailles (TOAFA – Volaille) a été construit dans le solveur de Microsoft Excel 2013 dans le but de formuler un aliment à moindre coût et qui satisfait aux besoins nutritionnels de la volaille. Il a été élaboré sur la base des ingrédients alimentaires pour volaille disponibles en Afrique de l'Ouest en général et spécifiquement au Niger (Pays sahélien) et au Bénin (Pays côtier). Le TOAFA–Volaille permet de formuler un aliment efficace en établissant un équilibre entre le prix de l'aliment et sa composition, tout en tenant compte des contraintes nutritionnelles liées aux ingrédients. Il peut être utilisé dans la fabrication d'aliments efficaces à la ferme ou dans la formation des acteurs de la chaîne de valeur volaille sur les méthodes de formulation d'aliments. Pour être plus efficace, des tests sur les performances biologiques et l'étude de métabolisme des aliments formulés pour différentes catégories de volaille peuvent être envisagés.

© 2019 International Formulae Group. All rights reserved

Mots clés : Afrique de l'Ouest, formulation d'aliment, tableur, volaille.

West African Poultry Feed Formulation Spreadsheet (WAFFS –poultry)

ABSTRACT

The formulation for least cost poultry feed, must take into account the nutritive value of available feedstuffs, their antinutritional factors and price. Linear programming is one of basis tools uses in least cost feed formulation. The West African poultry Feed Formulation Spreadsheet (WAFFS – Poultry) was constructed in Microsoft Excel 2013 solverwith the aim of least cost feed formulation and satisfying poultry nutritional requirement including the constraints relate to feedstuffs. WAFFS – Poultry was elaborated on West African feedstuffs basis and particularly those in Niger and Benin. It allows a least cost feed formulation by establishing a balance between the feed price, its composition and feedstuffs constraints. WAFFS – poultry can be used for in-farm feed formulation or in poultry feed formulation training. Production performance and metabolism tests of formulated feed will allows to evaluate WAFFS – Poultry efficiency.

© 2019 International Formulae Group. All rights reserved

Keywords: Feed formulation, poultry, spreadsheet, West Africa.

INTRODUCTION

La formulation d'aliment pour volaille consiste à rassembler plusieurs matières premières disponibles, quantifier leur taux d'incorporation et les mettre ensemble pour former un mélange uniforme (Almasad et al., 2011) en vue de satisfaire tous les besoins nutritionnels de la volaille en accord avec les objectifs de production (Pratiksha, 2011). L'effort pour formuler et produire un aliment de qualité passe nécessairement par une bonne connaissance de la composition des matières premières et des causes de leur variabilité en valeur nutritive (Ponka et al., 2016), puisque une variation en énergie métabolisable, en protéine brute (Lambo et al., 2018), en méthionine et en lysine (Fomekong et al., 2018) de l'aliment influence les performances de productions des volailles. Mais aussi, lors d'une formulation efficiente, le coût et la qualité nutritionnelle de l'aliment doivent être considérés (Brah et al., 2015). Les méthodes de formulation d'aliment par programmations mathématiques permettent de formuler des aliments efficaces (Pena et al., 2009).

Parmi les méthodes mathématiques, la formulation d'aliments par programmation linéaire permet de formuler un aliment à moindre coût (Al-Deseit, 2009) et de résoudre les problèmes nutritionnels (Brah et al., 2015), d'enseignement (Thomson et Nolan, 2001) et de formulation à la ferme (Afolayan et Afolayan, 2008) en trouvant un équilibre entre le pourcentage, la valeur nutritive et les contraintes de l'ingrédient utilisé pour la formulation (Al-Deseit, 2009).

Plusieurs logiciels efficaces de formulation d'aliments ont été mis au point par programmation linéaire (Afolayan et Afolayan, 2008). Cependant, pour une utilisation dans l'enseignement et les petites exploitations, ces logiciels sont coûteux et ne laissent apparaître que les ingrédients alimentaires spécifiques et les résultats de formulation (Thomson et Nolan, 2001). C'est ainsi que Thomson et Nolan (2001), Pesti et al. (2002) ont proposé des tableurs de formulation d'aliment en utilisant le solveur

d'Excel. Mais, ces tableurs sont peu adaptés à la région tropicale, spécifiquement à l'Afrique de l'Ouest.

En effet, ces tableurs utilisent des bases de données sur les valeurs nutritives des ingrédients et des besoins nutritionnels des régions tempérées comme dans le cas de la base de données du NRC (1994). Des publications récentes ont révélé que les recommandations nutritionnelles du NRC pour les acides aminés sont inadéquates pour les souches actuelles des volailles (Applegate et Angel, 2014). En plus, les tableurs mis au point par ces auteurs ne prennent pas en compte les facteurs antinutritionnels des matières premières. Or, ces facteurs antinutritionnels sont des contraintes à considérer lors de l'utilisation des ressources alimentaires non conventionnelles (Ravindran, 2013), puisqu'ils affectent la digestion de certains nutriments en les rendant indisponibles à la volaille (Afolayan et Afolayan, 2008).

Il est alors judicieux d'élaborer un tableur qui prend en compte les valeurs nutritives des ingrédients disponibles en région tropicale et spécifiquement en Afrique de l'Ouest, et aussi les contraintes (seuil d'utilisation et facteurs antinutritionnels) d'utilisation de ces ingrédients.

MATERIELS ET METHODES

Programmation

La programmation linéaire du solveur de Microsoft Excel a été utilisée pour l'élaboration du tableur de formulation d'aliments. Elle permet de minimiser le coût de l'aliment tout en trouvant un équilibre entre le pourcentage, la valeur nutritive et les contraintes des ingrédients utilisés pour la formulation (Al-Deseit, 2009). Les principes de la programmation linéaire à moindre coût en intégrant les contraintes nutritionnelles sont donnés par les équations suivantes :

$$Z = \sum_{j=1}^n C_j x_j \text{ pour les coûts minimums des aliments}$$

Cette équation permet de minimiser le prix de l'aliment en tenant compte du prix de chaque ingrédient et de la proportion de cet ingrédient dans l'aliment formulé.

$$\sum_{j=1}^n a_{ij}X_j \geq B_i \text{ avec } X_j \geq 0 \text{ pour les contraintes nutritionnelles des volailles}$$

Cette équation permet de satisfaire le besoin nutritionnel de la volaille en tenant compte de la composition nutritionnel des ingrédients, des facteurs antinutritionnels et de la proportion de ces ingrédients dans l'aliment.

Avec Z : coût total de l'aliment ; X_j : la quantité de l'ingrédient j dans l'aliment en Kg ; C_j : le coût unitaire de l'ingrédient rapporté au Kg ; a_{ij} : les valeurs nutritives de l'ingrédient X_j et B_i le besoin nutritionnel de l'animal à nourrir.

Contraintes de programmation

Le solveur du logiciel Microsoft Excel 2013 a été utilisé pour la programmation. L'objectif de base est de minimiser le coût de l'aliment formulé tout en satisfaisant le besoin nutritionnel de la catégorie de volaille à

nourrir et en tenant compte des contraintes économiques et nutritionnelles des ressources alimentaires. Ainsi, les contraintes de la formulation d'aliment ont été spécifiées dans le solveur. L'objectif à définir est la cellule du coût de l'aliment. Cette valeur doit être minimum. D'où le choix de l'icône Min dans les paramètres du solveur. La somme des pourcentages des ingrédients utilisés doit être égale à 100 (100%). Tous les pourcentages doivent être positifs (≥ 0). Les éléments nutritifs apportés par l'aliment doit permettre de satisfaire au moins à 100% les besoins nutritionnels de la catégorie de volaille à nourrir. Les facteurs antinutritionnels ne doivent pas dépasser le seuil de tolérance de la volaille. La Figure 1 résume toutes les contraintes prises en compte dans la programmation au niveau du solveur.

L'aliment ainsi obtenu doit être le moins cher possible tout en satisfaisant les besoins nutritionnels en énergie métabolisable, protéine brute, acides aminés et minéraux. Mais, il ne doit pas aussi excéder le seuil acceptable de cellulose brute et de facteurs antinutritionnels pris en compte.

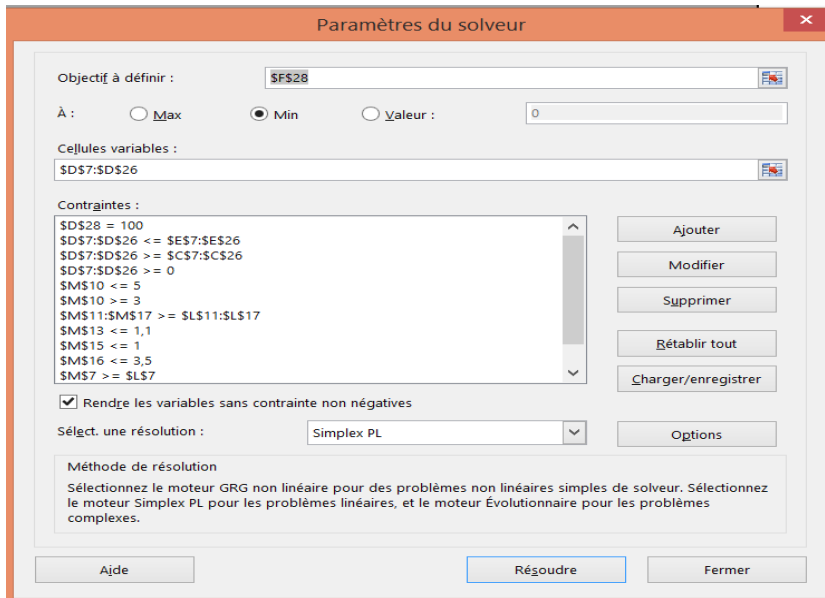


Figure 1: Contraintes programmées dans le solveur.

RESULTATS

Présentation du TOAFA – Volaille

Les différentes feuilles du tableur

Le TOAFA – Volaille a été élaboré sur la base des ingrédients alimentaires pour volaille disponibles en Afrique de l'Ouest en général et spécifiquement au Niger (Pays sahélien) et au Bénin (Pays côtier).

Le TOAFA - Volaille comporte 4 feuilles ou classeurs fonctionnels nommés: Ingrédients alimentaires, Besoins nutritionnels de la volaille, Formulation et Graphiques.

La feuille «Ingrédients alimentaires» contient les compositions nutritionnelle des ingrédients utilisés pour la formulation des aliments pour volaille en Afrique de l'Ouest. Ces compositions sont issues pour la plupart de la synthèse bibliographique et prennent en compte les facteurs antinutritionnels pour la volaille. L'énergie métabolisable des ingrédients est exprimée en kilocalorie par kilogramme de matière sèche (kcal/kgMS). Les autres éléments nutritifs sont exprimés en pourcentage (%) de la matière sèche. Cette feuille comporte deux parties : les ingrédients alimentaires potentiellement utilisables et les ingrédients alimentaires disponibles (Figure 2).

- *Ingrédients alimentaires potentiellement utilisables.* C'est la partie qui regroupe les ingrédients alimentaires utilisables en alimentation de la volaille. Elle peut être mise à jour en fonction des nouveaux ingrédients alimentaires dont on connaît les caractéristiques nutritionnelles.
- *Ingrédients alimentaires disponibles.* C'est la partie qui regroupe les ingrédients à utiliser pour la formulation d'aliment à opérer. Elle est tirée des ingrédients alimentaires potentiellement utilisables. Dans le TOAFA – Volaille, cette partie n'est constituée que d'au plus vingt (20) ingrédients.

Les besoins nutritionnels des différentes catégories de volailles sont listés dans la feuille «Besoins nutritionnels». Cette feuille (Figure 3) affiche les besoins en

fonction du stade de croissance ou de production et du seuil de tolérance en facteurs antinutritionnels de la catégorie de volaille. Les informations de cette feuille peuvent être modifiées.

La feuille «Formulation» contient deux parties. Une partie sur les ingrédients alimentaires et une partie sur les besoins nutritionnels de la catégorie de volaille choisie (Figure 4):

- La partie sur les ingrédients alimentaires présente la liste des ingrédients à utiliser pour la formulation d'aliment, le prix par kg de chaque ingrédient, le minimum et le maximum d'ingrédient à considérer dans l'aliment, la quantité de chaque ingrédient dans l'aliment et sa part dans la formation du prix total de l'aliment.
- La partie besoin nutritionnel présente la liste des besoins nutritionnels considérés pour la formulation d'aliment, les besoins spécifiques de la catégorie de la volaille choisie, les apports de l'aliment pour chaque besoin et le bilan qui est égal à l'apport total en élément nutritif donné moins le besoin nutritionnel (Bilan = Apport total – Besoin nutritionnel).

La feuille «graphiques» représente sous forme d'histogramme le pourcentage des besoins nutritifs couverts par l'aliment formulé (Figure 5). Les graphiques ont été obtenus à partir des informations sur le besoin et l'apport nutritionnel de la feuille «Formulation» :

- Le graphique 1 donne le pourcentage des besoins couverts en énergie métabolisable (EM), en protéine brute (PB), en matière grasse (MG) et en cellulose brute (CB).
- Le graphique 2 montre sous forme de pourcentage le niveau de satisfaction des besoins en calcium (Ca), en phosphore non phytique (PNP), en sodium (Na), en rapport énergie

métabolisable et protéine brute (EM/PB) et en rapport Ca/PNP.

- Le graphique 3 indique le pourcentage de besoin couvert en lysine (Lys), en méthionine (Mét), en méthionine + cystéine (Mét + Cys), en tryptophane (Trp) et en thréonine (Thr).
- Le graphique 4 quant à lui, représente le pourcentage des facteurs antinutritionnels par rapport au seuil de tolérance de la catégorie de volaille (Figure 5).

Les liens entre les feuilles du tableur

Dans la feuille « Ingrédients alimentaires », des lignes peuvent être insérées dans la partie « Ingrédients alimentaires potentiellement utilisables » pour prendre en compte d'autres ingrédients non recensés précédemment. Par contre, dans la partie « Ingrédients alimentaires disponibles », les insertions des lignes sont à éviter. Afin de formuler des aliments comportant de nouveaux ingrédients disponibles, il faut copier les lignes dans la partie ingrédients potentiellement utilisables et coller en substituant d'autre (s) lignes d'ingrédients dans la partie des ingrédients disponibles en cas de modification de cette dernière partie. Ainsi, la liste des 20 ingrédients disponibles restera fixe. Toutes les modifications agiront automatiquement sur la liste des ingrédients de la feuille « Formulation ».

Dans la feuille « Besoins nutritionnels », des modifications peuvent être apportées sur la mise à jour des besoins et prendre en compte d'autres catégories des volailles. Les besoins nutritionnels de la catégorie de la volaille choisie pour la formulation d'aliment sont à copier et coller dans la colonne « Besoins ». Il faut prendre soins de saisir la catégorie et l'intervalle d'âge de la volaille. Ces informations sont aussi transférées automatiquement dans la feuille formulation.

Dans la feuille « Formulation », c'est uniquement les informations sur les prix des ingrédients, les minimums et les maximums des ingrédients alimentaires qu'il faut

modifier. Les autres données sont automatiquement générées. Les informations contenues dans le solveur peuvent être modifiées à condition de maîtriser le langage de cette boîte.

Toutes les informations de la feuille « Graphiques » sont automatiquement générées à partir de la feuille « Formulation ». Il ne faut donc rien modifier dans cette feuille, car elle se met automatiquement à jour dès que la formulation de l'aliment est achevée.

La formulation d'aliments avec TOAFA – Volaille

Etape 1

A partir des ingrédients alimentaires potentiellement utilisables, choisir les ingrédients alimentaires disponibles (Figure 6) qui seront utilisées dans la formulation de l'aliment à effectuer. Copier les données de l'ingrédient alimentaire dans ingrédients potentiels et coller dans la partie des ingrédients alimentaires disponibles en prenant soin d'assurer l'enregistrement complet de la ligne. Les données seront automatiquement transférées dans la feuille « Formulation »

Etape 2

Les besoins nutritionnels de la catégorie de volaille souhaitée sont copier et coller dans la partie « catégorie volaille » sous la colonne « Besoin » pour faire la formulation (Figure 7). Il faut ensuite saisir la catégorie de la volaille et spécifier son âge. Ces informations sont directement transférées dans la feuille de formulation. Dans la Figure 7 la catégorie de la poule pondeuse en ponte âgée de 18 semaines à plus a été choisie.

Etape 3

La feuille « Formulation » contient deux parties. Une partie sur l'aliment et une autre sur les besoins nutritionnels. Dans la partie aliment comportant la liste des ingrédients alimentaires, il faut mettre à jour les prix des ingrédients, le minimum et le maximum de chaque ingrédient à considérer par le solveur (Figure 8). Les ingrédients alimentaires disponibles peuvent avoir zéro au minimum et 100 au maximum. Les intervalles (minimum et maximum) sont définis en

TOAFA-Volaille: Tableau Ouest Africain de Formulation d'Aliment - Volaille

Catégorie Volaille	Poule pondeuse	Nutritifs																
Age	18 semaines +	Poulet de chair			Poule pondeuse				Pintade Chair				Dindon					
Nutritifs	Besoins	0-3 sem	3-6 sem	6-8 sem	0-6 sem	6-18 sem	Préonte	Ponte	0-4 sem	4-8 sem	8-12 sem	Elevage (12+)	0-4 sem	5-8 sem	9-11 sem	12-14 sem	15-16 sem	Finition (17+)
EM(Kcal/kg)	2900	3200	3200	3200	2800	2800	2850	2900	2900	2800	2900	3000	2850	2900	3050	3200	3250	3325
PB (%)	18,0	23,0	20,0	18,0	17,0	15,0	16,0	18,0	23,0	18,0	14,0	14,0	28,0	26,0	23,0	21,0	18,0	16,0
MG (%)	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	1,00	1,00	1,00	1,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00
CB (%)	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00
Lys (%)	0,69	1,10	1,00	0,85	0,80	0,56	0,49	0,69	1,18	0,96	0,60	0,48	1,70	1,60	1,45	1,30	1,12	1,00
Met (%)	0,30	0,50	0,38	0,32	0,28	0,23	0,21	0,30	0,40	0,35	0,22	0,22	0,62	0,56	0,52	0,48	0,42	0,35
Met+Cys (%)	0,58	0,90	0,72	0,60	0,59	0,49	0,44	0,58	0,85	0,88	0,60	0,50	1,05	0,93	0,84	0,75	0,68	0,58
Thr (%)	0,47	0,80	0,74	0,68	0,64	0,53	0,44	0,47	0,81	0,66	0,41	0,38	0,90	0,87	0,82	0,76	0,68	0,61
Trp (%)	0,16	0,20	0,18	0,16	0,16	0,13	0,11	0,16	0,21	0,17	0,11	0,12	0,28	0,26	0,23	0,21	0,19	0,16
Ca (%)	3,25	1,00	0,90	0,80	0,90	0,80	1,80	3,25	1,00	0,90	0,80	0,50	1,40	1,25	1,15	1,05	0,95	0,85
PNP (%)	0,25	0,45	0,35	0,30	0,40	0,35	0,35	0,25	0,40	0,35	0,25	0,45	0,75	0,70	0,65	0,60	0,55	0,48
Sodium	0,17	0,16	0,16	0,17	0,16	0,16	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17
Phytate (%)	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
Gossypol (%)	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
Tannin (%)	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15

Figure 3: Feuille « Besoins nutritionnels ».

TOAFA-Volaille: Tableau Ouest Africain de Formulation d'Aliment de Volaille

Formulation aliment	Poule pondeuse		18 semaines +		
Matières premières	Prix/kg (FCFA)	Mini (%)	Maxi (%)	Quantité (%)	Coût total (FCFA)
Maïs jaune	125	0,00	100,00	17,35	2169
Mil	100	0,00	100,00	12,19	1219
Sorgho à faible tanin	100	0,00	100,00	35,60	3560
Son de blé	100	8,00	12,00	8,00	800
Tourteau d'arachide	300	0,00	10,00	0,00	0
Tourteau de coton	300	0,00	0,00	0,00	0
Niébé grain	200	0,00	0,00	0,00	0
Farine de poisson non gras	500	0,00	10,00	5,79	2897
Farine criquet	300	0,00	8,00	7,16	2149
Gousses Faidherbia albida	75	2,00	5,00	2,00	150
Gousses Prosopis juliflora	75	0,00	0,00	0,00	0
Gousses Piliostigma reticul	75	0,00	0,00	0,00	0
Gousses Acacia raddiana	75	0,00	0,00	0,00	0
Farine d'os calcinés	60	0,00	10,00	9,69	581
L-Lysine (99%)	2000	0,00	0,30	0,00	0
DL-Méthionine (99%)	2500	0,00	0,30	0,00	0
Huile d'arachide	750	0,00	3,00	2,01	1508
Nacl iodé (sel de cuisine)	200	0,20	0,30	0,20	40
CMV (Prémix chair-0,25%)	2000	0,00	0,00	0,00	0
CMV (Prémix ponte-0,25%)	2000	0,00	0,25	0,00	0
TOTAL				100,00	15 074FCFA

Nutriments	Unité	Besoin	Apport	Bilan
Energie Métabolisable	Kcal/Kg	2900	2900	0
Protéine Brute	%	18	18	0,00
Matière Grasse	%	5,00	4,05	-0,95
Cellulose Brute	%	5,00	5,00	0,00
Lysine	%	0,69	0,90	0,21
Méthionine	%	0,30	0,48	0,18
Méthionine + Cystéine	%	0,58	0,84	0,26
Tryptophane	%	0,16	0,31	0,15
Thréonine	%	0,47	1,00	0,53
Calcium	%	3,25	3,25	0,00
Phosphore non Phytic	%	0,25	1,41	1,16
Sodium	/	0,17	0,18	0,01
EM/PB	/	161,1	161,1	0,0
Ca/PNP	/	13,00	2,31	-10,69
Tannin	%	0,15	0,01	-0,14
Gossypol	%	0,20	0,00	-0,20
Phytate	%	0,25	0,03	-0,22

Figure 4: Feuille « Formulation ».

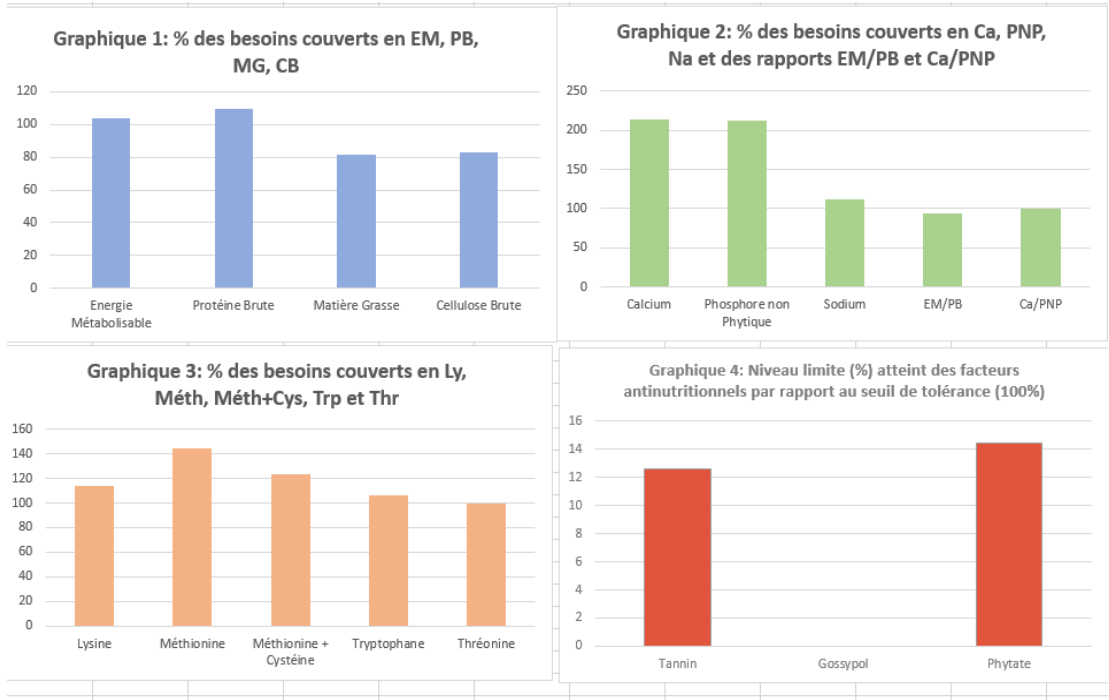


Figure 5: Feuille « Graphiques ».

Ingrédients alimentaires	EM (Kcal/kg)	MS (%)	PB (%)	MG (%)	CB (%)	MM (%)	Lys (%)	Met (%)	Met+Cys (%)	Thr (%)	Trp (%)	Ca (%)	PNP (%)	Na (%)	Phyt (%)	Goss (%)	Tan (%)
Mais jaune	3400	94,00	11,70	4,20	1,90	2,20	0,24	0,16	0,42	0,29	0,07	0,02	0,08	0,01	0,02	0,00	0,00
Mil	3367	96,35	14,10	5,50	6,00	2,25	0,50	1,00	1,80	3,30	1,20	0,05	0,12	0,01	0,00	0,00	0,00
Sorgho à faible tannin	3300	95,25	11,55	4,25	5,75	2,25	0,19	0,13	0,34	0,33	0,09	0,04	0,00	0,01	0,02	0,00	0,00
Son de blé	1822	87,87	15,99	4,13	9,20	5,00	0,58	0,23	0,54	0,47	0,19	0,14	0,20	0,10	0,07	0,00	0,00
Tourteau d'arachide	2410	89,60	48,90	3,40	6,80	6,00	1,59	0,49	1,00	1,30	0,56	0,20	0,40	0,02	0,00	0,00	0,00
Tourteau de coton	2368	91,30	42,50	4,60	14,60	6,70	1,90	0,70	1,50	1,50	0,55	0,25	0,30	0,05	0,09	1,40	0,00
Niébé grain	3749	90,30	24,70	1,70	1,90	3,10	4,14	0,95	1,63	2,41	0,00	0,06	0,04	0,02	0,00	0,00	0,00
Farine de poisson non gras	3185	92,00	77,50	1,16	0,70	5,00	5,89	2,25	2,95	3,37	0,82	4,45	2,55	1,03	0,00	0,00	0,00
Farine criquet	2700	0,00	58,30	10,30	8,70	2,96	4,79	1,93	2,94	2,75	0,80	0,13	0,01	0,32	0,10	0,00	0,10
Gousses Faidherbia albida	1607	94,80	9,60	0,02	24,60	4,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,05	0,24	0,05	0,16	0,00	0,22
Gousses Prosopis juliflora	3232	89,90	12,29	3,79	18,99	5,12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,33	0,02	0,05	0,00	0,00	1,90
Gousses Piliostigma reticulatur	1908	95,00	9,00	0,05	18,00	11,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,23	0,52	0,05	0,00	0,00	0,25
Gousses Acacia raddiana	1725	94,00	11,20	0,02	22,90	4,80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00
Farine d'os calcinés	0,000	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	29,80	12,50	0,04	0,00	0,00	0,00
L-Lysine (99%)	3615	0,00	95,60	0,00	0,00	0,00	78,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
DL-Méthionine (99%)	3643	0,00	58,40	0,00	0,00	0,00	0,00	99,00	99,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Huile d'arachide	8400	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Nacl iodé (sel de cuisine)	0,000	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	39,00	0,00	0,00	0,00
CMV (Prémix chair-0,25%)	0,000	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CMV (Prémix ponte-0,25%)	0,000	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

EM: Energie Métabolisable **Lys:** Lysine **Ca:** Calcium **Phyt:** Phytate
MS: Matière Sèche **Met:** Méthionine **PNP:** Phosphore Non Phytique **Goss:** Gossypol
PB: Protéine Brute **Met+Cys:** Méthionine + Cystéine **Na:** Sodium **Tan:** Tannin
MG: Matière Grasse **Thr:** Thréonine
MM: Matière Minérale **Trp:** Tryptophane

Figure 6: Ingrédients alimentaires disponibles.

Catégorie Volaille		TOAFA-Volaille: Tableau Ouest Africain de Formulation d'Aliment - Volaille																
Age	Ponte	Poulet de chair				Poule pondeuse				Pintade Chair				Dindon				
Nutritiments	Besoins	0-3 sem	3-6 sem	6-8 sem	0-6 sem	6-18 sem	Préon te	Ponte	0-4 sem	4-8 sem	8-12 sem	Elevag e (12+)	0-4 sem	5-8 sem	9-11 sem	12-14 sem	15-16 sem	Finition (17+)
EM(Kcal/kg)	2900	3200	3200	3200	2800	2800	2850	2900	2900	2800	2900	3000	2850	2900	3050	3200	3250	3325
PB (%)	18,0	23,0	20,0	18,0	17,0	15,0	16,0	18,0	23,0	18,0	14,0	14,0	28,0	26,0	23,0	21,0	18,0	16,0
MG (%)	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	1,00	1,00	1,00	1,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00
CB (%)	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00
Lys (%)	0,69	1,10	1,00	0,85	0,80	0,56	0,49	0,69	1,18	0,96	0,60	0,48	1,70	1,60	1,45	1,30	1,12	1,00
Met (%)	0,30	0,50	0,38	0,32	0,28	0,23	0,21	0,30	0,40	0,35	0,22	0,22	0,62	0,56	0,52	0,48	0,42	0,35
Met+Cys (%)	0,58	0,90	0,72	0,60	0,59	0,49	0,44	0,58	0,85	0,88	0,60	0,50	1,05	0,93	0,84	0,75	0,68	0,58
Thr (%)	0,47	0,80	0,74	0,68	0,64	0,53	0,44	0,47	0,81	0,66	0,41	0,38	0,90	0,87	0,82	0,76	0,68	0,61
Trp (%)	0,16	0,20	0,18	0,16	0,16	0,13	0,11	0,16	0,21	0,17	0,11	0,12	0,28	0,26	0,23	0,21	0,19	0,16
Ca (%)	3,25	1,00	0,90	0,80	0,90	0,80	1,80	3,25	1,00	0,90	0,80	0,50	1,40	1,25	1,15	1,05	0,95	0,85
PNP (%)	0,25	0,45	0,35	0,30	0,40	0,35	0,35	0,25	0,40	0,35	0,25	0,45	0,75	0,70	0,65	0,60	0,55	0,48
Sodium	0,17	0,16	0,16	0,17	0,16	0,16	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17
Phytate (%)	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
Gossypol (%)	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
Tannin (%)	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15

Figure 7: Choix de la catégorie de volaille et définition de ses besoins nutritionnels.

TOAFA-Volaille: Tableau Ouest Africain de Formulation d'Aliment de Volaille						
Formulation aliment	Poule pondeuse			18 semaines +		
Matières premières	Prix/kg (FCFA)	Mini (%)	Maxi (%)	Quantité (%)	Coût total (FCFA)	
Maïs jaune				17,35	0	
Mil				12,19	0	
Sorgho à faible tanin				35,60	0	
Son de blé				8,00	0	
Tourteau d'arachide				0,00	0	
Tourteau de coton				0,00	0	
Niébé grain				0,00	0	
Farine de poisson non gras				5,79	0	
Farine criquet				7,16	0	
Gousses Faidherbia albida				2,00	0	
Gousses Prosopis juliflora				0,00	0	
Gousses Piliostigma reticulatum				0,00	0	
Gousses Acacia raddiana				0,00	0	
Farine d'os calcinés				9,69	0	
L-Lysine (99%)				0,00	0	
DL-Méthionine (99%)				0,00	0	
Huile d'arachide				2,01	0	
Nacl iodé (sel de cuisine)				0,20	0	
CMV (Prémix chair-0,25%)				0,00	0	
CMV (Prémix ponte-0,25%)				0,00	0	
TOTAL				100,00	0FCFA	

Nutrimet	Unité	Besoin	Apport	Bilan
Energie Métabolisable	Kcal/Kg	2900	2900	0
Protéine Brute	%	18	18	0,00
Matière Grasse	%	5,00	4,05	-0,95
Cellulose Brute	%	5,00	5,00	0,00
Lysine	%	0,69	0,90	0,21
Méthionine	%	0,30	0,48	0,18
Méthionine + Cystéine	%	0,58	0,84	0,26
Tryptophane	%	0,16	0,31	0,15
Thréonine	%	0,47	1,00	0,53
Calcium	%	3,25	3,25	0,00
Phosphore non Phytic	%	0,25	1,41	1,16
Sodium	/	0,17	0,18	0,01
EM/PB	/	161,1	161,1	0,0
Ca/PNP	/	13,00	2,31	-10,69
Tannin	%	0,15	0,01	-0,14
Gossypol	%	0,20	0,00	-0,20
Phytate	%	0,25	0,03	-0,22

Figure 8: Spécification du prix et du minimum et maximum de l'ingrédient alimentaire.

TOAFA

Formulation aliment **Poule pondeuse**

Matières premières	Prix/kg (FCFA)	Mini (%)	Maxi (%)
Maïs jaune	125	0,00	100,00
Mil	100	0,00	100,00
Sorgho à faible tannin	100	0,00	100,00
Son de blé	100	8,00	12,00
Tourteau d'arachide	300	0,00	10,00
Tourteau de coton	300	0,00	0,00
Niébé grain	200	0,00	0,00
Farine de poisson non gras	500	0,00	10,00
Farine criquet	300	0,00	8,00
Gousses Faidherbia albida	75	2,00	5,00
Gousses Prosopis juliflora	75	0,00	0,00
Gousses Piliostigma reticul	75	0,00	0,00
Gousses Acacia raddiana	75	0,00	0,00
Farine d'os calcinés	60	0,00	10,00
L-Lysine (99%)	2000	0,00	0,30
DL-Méthionine (99%)	2500	0,00	0,30
Huile d'arachide	750	0,00	3,00
NaCl iodé (sel de cuisine)	200	0,20	0,30
CMV (Prémix chair-0,25%)	2000	0,00	0,00
CMV (Prémix ponte-0,25%)	2000	0,00	0,25
TOTAL			

Paramètres du solveur

Objetif à définir :

À : Max Min Valeur :

Cellules variables :

Contraintes :

```

$E$28 = 100
$E$7:$E$26 <= $D$7:$D$26
$E$7:$E$26 >= $C$7:$C$26
$E$7:$E$26 >= 0
$M$10 >= 3
$M$11:$M$17 >= $L$11:$L$17
$M$13 <= 1,2
$M$15 <= 1
$M$16 <= 3,5
$M$18 <= 0,18
$M$7 >= $L$7
    
```

Rendre les variables sans contrainte non négatives

Sélect. une résolution :

Méthode de résolution
Sélectionnez le moteur GRG non linéaire pour des problèmes non linéaires simples de solveur. Sélectionnez le moteur Simplex PL pour les problèmes linéaires, et le moteur Évolutionnaire pour les problèmes complexes.

Aide Répondre Fermer

Figure 9: Paramètres du solveur.

TOAFA-Volaille: Tableau Ouest Africain de Formulation d'Aliment de Volaille

Formulation aliment **Poule pondeuse** **18 semaines +**

Matières premières	Prix/kg (FCFA)	Mini (%)	Maxi (%)	Quantité (%)	Coût total (FCFA)
Maïs jaune	125	0,00	100,00	17,35	2169
Mil	100	0,00	100,00	12,19	1219
Sorgho à faible tannin	100	0,00	100,00	35,60	3560
Son de blé	100	8,00	12,00	8,00	800
Tourteau d'arachide	300	0,00	10,00	0,00	0
Tourteau de coton	300	0,00	0,00	0,00	0
Niébé grain	200	0,00	0,00	0,00	0
Farine de poisson non gras	500	0,00	10,00	5,79	2897
Farine criquet	300	0,00	8,00	7,16	2149
Gousses Faidherbia albida	75	2,00	5,00	2,00	150
Gousses Prosopis juliflora	75	0,00	0,00	0,00	0
Gousses Piliostigma reticul	75	0,00	0,00	0,00	0
Gousses Acacia raddiana	75	0,00	0,00	0,00	0
Farine d'os calcinés	60	0,00	10,00	9,69	581
L-Lysine (99%)	2000	0,00	0,30	0,00	0
DL-Méthionine (99%)	2500	0,00	0,30	0,00	0
Huile d'arachide	750	0,00	3,00	2,01	1508
NaCl iodé (sel de cuisine)	200	0,20	0,30	0,20	40
CMV (Prémix chair-0,25%)	2000	0,00	0,00	0,00	0
CMV (Prémix ponte-0,25%)	2000	0,00	0,25	0,00	0
TOTAL				100,00	15 074FCFA

Résultat du solveur

Le Solveur a trouvé une solution satisfaisant toutes les contraintes et les conditions d'optimisation.

Conserver la solution du solveur

Rétablir les valeurs d'origine

Retourner dans la boîte de dialogue Paramètres

Rapports de plan

OK Annuler Enregistrer le scénario...

Le Solveur a trouvé une solution satisfaisant toutes les contraintes et les conditions d'optimisation.

Lorsque le moteur GRG est utilisé, le Solveur a trouvé au moins une solution optimale locale. Lorsque Simplex PL est utilisé, cela signifie que le Solveur a trouvé une solution optimale globale.

Phytate % 0,25 0,03 -0,22

Figure 10: Solution du solveur.

TOAFA-Volaille: Tableau Ouest Africain de Formulation d'Aliment de Volaille					
Formulation aliment		Ponte		18+	
Matières premières	Prix/kg (FCFA)	Mini (%)	Maxi (%)	Quantité (%)	Coût total (FCFA)
Maïs jaune	175	0,00	100,00	0,00	0
Maïs blanc	150	0,00	100,00	69,03	10354
Sorgho à faible tanin	400	0,00	0,00	0,00	0
Son de blé	115	0,00	25,00	0,00	0
Tourteau de soja	370	10,00	25,00	10,00	3700
Tourteau de coton	155	0,00	8,00	7,10	1101
Soja grain (extrudé)	320	0,00	20,00	0,00	0
Farine de poisson non gras	300	0,00	5,00	4,93	1478
Tourteau palmiste	90	0,00	0,00	0,00	0
Cossette de manioc	75	0,00	0,00	0,00	0
Feuille de manioc	75	0,00	0,00	0,00	0
Feuille de Moringa	100	0,00	0,00	0,00	0
Phosphate bicalcique	600	0,00	10,00	0,00	0
Farine de coquille d'huitre	100	0,00	10,00	7,80	780
L-Lysine (99%)	2000	0,00	0,30	0,00	0
DL-Méthionine (99%)	2500	0,00	0,30	0,00	0
Huile de palme	600	0,00	3,00	0,69	414
NaCl iodé (sel de cuisine)	150	0,20	0,30	0,20	30
CMV (Prémix chair-0,25%)	850	0,25	0,25	0,25	213
CMV (Prémix ponte-0,25%)	850	0,00	0,00	0,00	0
TOTAL				100,00	18 070FCFA

Nutriment	Unité	Besoin	Apport	Bilan
Energie Métabolisable	Kcal/Kg	2900	2900	0
Protéine Brute	%	18	19	1,17
Matière Grasse	%	5,00	3,65	-1,35
Cellulose Brute	%	5,00	3,00	-2,00
Lysine	%	0,69	0,91	0,22
Méthionine	%	0,30	0,34	0,04
Méthionine + Cystéine	%	0,58	0,69	0,11
Tryptophane	%	0,16	0,20	0,04
Thréonine	%	0,47	0,67	0,20
Calcium	%	3,25	3,25	0,00
Phosphore non Phytic	%	0,25	0,25	0,00
Sodium	/	0,17	0,16	-0,01
EM/PB	/	161,1	151,3	-9,8
Ca/PNP	/	13,00	13,00	0,00
Tannin	%	0,15	0,00	-0,15
Gossypol	%	0,20	0,10	-0,10
Phytate	%	0,25	0,03	-0,22

Figure 11: Aliment formulé.

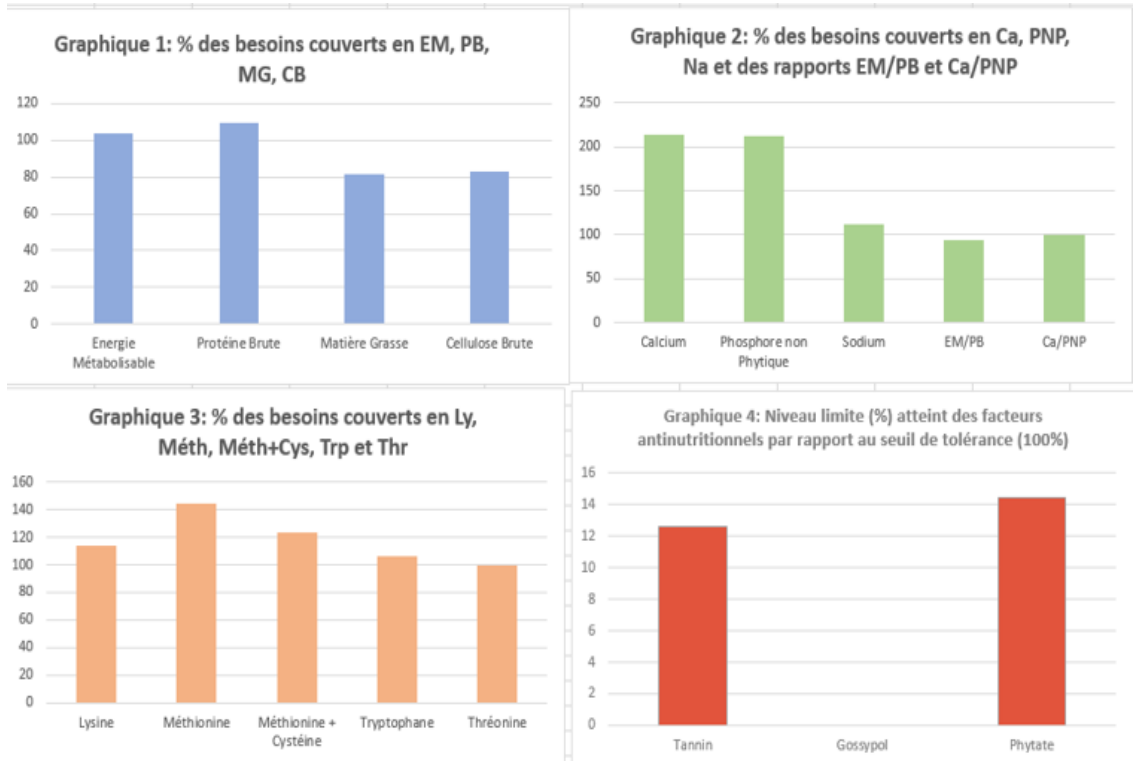


Figure 12: Résultats sous forme des graphiques.

DISCUSSION

Les solutions trouvées par le TAOFA – Volaille permettent de minimiser le coût des aliments formulés et de satisfaire les besoins nutritionnels de la catégorie de volaille choisie en utilisant les ingrédients alimentaires disponibles. En effet, selon Al-Deseit (2009), la formulation d'aliment par programmation linéaire en utilisant le solveur d'Excel permet de minimiser le coût de l'aliment tout en satisfaisant les besoins nutritionnels chez la volaille. Cependant, plus l'aliment est composé de plusieurs ingrédients alimentaires, mieux l'équilibre entre le coût de l'aliment et les besoins nutritionnels est assuré. Inversement, si la formulation est basée sur peu d'ingrédients et avec beaucoup de contraintes au seuil d'incorporation, l'équilibre coût de l'aliment et besoins nutritionnels est faible.

En utilisant les tableurs WUFFF DA (Pesti et al., 2002) et UNEForm (Thomson et Nolan, 2001) avec les mêmes ingrédients alimentaires et les mêmes prix, on obtient tout comme avec le TOAFA – Volaille, un aliment poule pondeuse (18 semaines d'âge à plus) semblable assez équilibré. L'aliment issu du TOAFA – Volaille pour cette catégorie est équilibré en énergie (2900 kcal/kg), en protéine brute (18%), en méthionine, en calcium, en phosphore disponible avec un taux de cellulose brute inférieur à 5%. De même, la teneur en facteurs antinutritionnels de l'aliment formulé avec TAOFA – Volaille est dans le seuil de tolérance des poules pondeuses. Mais, les tableurs WUFFF DA (2002) et UNEForm (2001) ne prennent pas en compte les facteurs antinutritionnels. Le tableur WUFFF DA (2002) a permis d'avoir 20% de protéine brute (PB) et 1,2% de lysine (lys), pour des recommandations respectivement de 18,8% et 0,86% affichées dans ce tableur. Par contre, pour les mêmes recommandations que WUFFF DA (2002), UNEForm (2001) a donné un équilibre de 18,8% et 0,86% respectivement en PB et Lys. La différence dans les compositions des aliments obtenus à partir de ces trois tableurs est liée d'une part à la différence dans la composition chimique des ingrédients alimentaires figurant dans chacun des tableurs et d'autres part aux besoins nutritionnels et contraintes considérées. Le tableur WUFFF DA (2002) a permis d'avoir le prix le plus élevé (277 FCFA/kg d'aliment)

comparativement à 260 FCFA/kg d'aliment trouvé par UNEForm (2001) et 243 FCFA/kg d'aliment obtenu avec TAOFA – Volaille. La somme des pourcentages d'ingrédients a été de 100% et les ingrédients alimentaires utilisés étaient les mêmes pour les trois tableurs. Mais le tableur de WUFFF DA (2002) a permis d'utiliser plus de farine de poisson et moins de tourteau d'arachide, alors que les tableurs UNEForm (2001) et TAOFA – Volaille ont utilisé plus de tourteau d'arachide et moins de farine de poisson.

Cette différence de prix des aliments issus des différents tableurs démontre la nécessité d'introduire dans les tableurs de formulation d'aliments des informations précises sur les ingrédients localement disponibles ainsi que sur les besoins nutritionnels appropriés des différentes catégories de volailles dans une région donnée.

Conclusion

L'objectif de ce travail a été d'élaborer un tableur de formulation d'aliments de volaille sur la base des valeurs nutritives des ingrédients alimentaires disponibles en région tropicale et spécifiquement en Afrique de l'Ouest tout en prenant en compte les facteurs antinutritionnels de ces ingrédients. Le TOAFA – Volaille permet de formuler des aliments de volaille à moindre coût en utilisant le solveur de Microsoft Excel. Il peut être mis à jour en fonction des nouvelles informations sur les besoins nutritionnels des catégories animales ou sur les ingrédients alimentaires. Le TOAFA – Volaille peut être utilisé dans la fabrication d'aliment à la ferme ou dans l'enseignement des méthodes de formulation d'aliments. Il peut être étendu à d'autres espèces animales en changeant la feuille des besoins nutritionnels. Cependant, pour être plus efficace, des tests sur les performances biologiques et l'étude de métabolisme des aliments formulés pour différentes catégories de volaille peuvent être envisagés.

CONFLIT D'INTERETS

Les auteurs déclarent qu'il n'existe pas de conflit d'intérêt avec cet article.

CONTRIBUTIONS DES AUTEURS

NB a collecté et analysé les données, a co-conçu le plan et a rédigé l'article. FMH a émis l'idée, établi le protocole de recherche, a conçu le plan et a supervisé la rédaction de l'article. SI et CAAMC ont mobilisé les ressources financières et ont contribué à la rédaction de l'article.

REMERCIEMENTS

Les auteurs adressent leurs sincères remerciements et leur profonde gratitude à tous ceux qui ont contribué à la réalisation de ce présent article, en particulier au Programme de Productivité Agricole en Afrique de l'Ouest du Niger (PPAAO-Niger), à l'Université Abomey Calavi (UAC) du Bénin et à l'Institut National de la Recherche Agronomique du Niger (INRAN).

RÉFÉRENCES

- Afolayan MO, Afolayan M. 2008. Nigeria Oriented Poultry Feed Formulation Software Requirements. *Journal of Applied Sciences Research*, **4**(11): 1596-1602.
- Al-Deseit B. 2009. Least-Cost Broiler Ration Formulation Using Linear Programming Technique. *Journal of Animal and Veterinary Advances*, **8**(7): 1274-1278. DOI: <https://dx.doi.org/javaa.2009.1274.1278>
- Almasad M, Altahtat E, Al-Sharafat A. 2011. Applying Linear Programming Technique to Formulate Least Cost Balanced Ration for White Eggs Layers in Jordan. *International Journal of Empirical Research*, **1**(1): 112-120. DOI: <https://dx.doi.org/10.5897/AJAR>.
- Applegate JT, Angel R. 2014. Nutrient requirements of poultry publication: History and need for an update. *J. Appl. Poult. Res.*, **23**: 567-575. DOI: <http://dx.doi.org/10.3382/japr.2014-00980>.
- Brah N, Houndonougbo MF, Issa S. 2015. Etapes et méthodes de formulation d'aliment de volaille : Une synthèse bibliographique. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, **9**(6): 2924-2931. DOI: <http://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v9i6.31>
- Fomekong MAT, kana JR, Ngouana RT, Mube HK, Téguia A. 2018. Effets du taux de la lysine et de la méthionine de la ration sur les performances de croissance de la poule Barrée du Cameroun. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, **12**(2): 927-939. DOI: <https://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v12i2.24>
- Lombo Y, Tona K, Talaki E, Bonfoh B. 2018. Effet de l'alimentation sur la croissance des pintadeaux au nord du Togo. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, **12**(5): 2109-2118. DOI: <https://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v12i5.13>
- NRC. 1994. *Nutrient Requirements of Poultry*, Ninth Revised (Ed). National Academy Press Washington, D.C.
- Pena T, Lara P, Castrodeza C. 2009. Multiobjective Stochastic Programming for Feed Formulation. *Journal of the Operational Research Society*, **60**: 1738-1748. DOI: <https://dx.doi.org/10.1057/jors.2008.106>
- Pesti G, Thomson E, Bakalli R, Leclercq B, Shan A, Atencio A, Driver J, Zier C, Azain M, Pavlak M. 2002. WUFFF DA: Windows User-Friendly Feed Formulation for Poultry and Swine. <http://extension.uga.edu/publications/files/html/RB438/WUFFFDA-French.html>
- Ponka R, Goudoum A, Chami Tchougouelieu A, Fokou E. 2016. Evaluation nutritionnelle de quelques ingrédients entrant dans la formulation alimentaire des poules pondeuses et porcs d'une ferme d'élevage au Nord-Ouest Cameroun. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, **10**(5): 2073-2080. DOI: <http://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v10i5.11>
- Pratiksha S. 2011. Comparaison of Linear and Nonlinear Programming Techniques for Animal Diet. *Applied Mathematics*, **1**(2): 106-108. DOI: 10.5923/j.am.20110102.17
- Thomson E, Nolan J. 2001. UNEForm: a powerful feed formulation spreadsheet suitable for teaching or on-farm formulation. *Animal feed Science and Technology*, **91**: 233-240. DOI: [https://dx.doi.org/10.1016/S0377-8401\(01\)00210-3](https://dx.doi.org/10.1016/S0377-8401(01)00210-3)