

Développement et optimisation des performances d'un broyeur-mélangeur pour utilisation dans les zones rurales

[Development and performance optimization of a grinder-mixer for use in rural areas]

Henri Grisseur DJOUKENG, Brice Martial KAMDEM, Julius Kewir TANGKA, and Boris Merlain DJOUSSE KANOOU

Department of Rural Engineering, University of Dschang, Faculty of Agronomy and Agricultural Sciences, Dschang, Western region, Cameroon

Copyright © 2023 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: This article presents the design, implementation and evaluation of performance tests of a motorized feed grinder-mixer made from local materials. The dynamic and dimensional study made, allowed the realization of a prototype of 350 liters in capacity. To assess the uniformity rate of the machine, three types of feed were used, namely: (1) starter, (2) chicken and (3) layer. In addition to food, the coefficient of variability between samples after chemical analysis was obtained for each chosen mixing time. The determination of the different optimal rational models of the homogeneity rate was made with Matlab R2017a to determine the minimum mixing time. The results of this study show that the machine developed allows the homogeneous mixing of 427 kg of feed per hour with a maximum energy consumption of 0.72 Wh/kg. The feed variability coefficient is less than 10% in 12 minutes of mixing, resulting in better homogeneity rates. The specific energy consumption is around 59%. This machine has low environmental pollution (little noise and dust), guaranteed ergonomics and stability; also, maintenance is easy. The estimated cost of developing the prototype is around 381,300 FCFA, or 568,00 USD; this machine is therefore accessible to average breeders. The results of this study also show that, compared to what exists on the Cameroonian market, this machine has several advantages for improving farming techniques and the living conditions of the populations.

KEYWORDS: salt concentration, coefficient of variability, homogeneity rate, hourly capacity, energy consumption, animal feed.

RESUME: Cet article présente la conception, la réalisation et l'évaluation des tests de performance d'un broyeur-mélangeur motorisé de provenance conçu à base de matériaux locaux. L'étude dynamique et dimensionnelle faite a permis la réalisation d'un prototype de 350 litres en contenance. Pour évaluer le taux d'homogénéité de la machine, trois types d'aliments ont été utilisés, à savoir: (1) démarrage (2) poulet et (3) pondeuse. En plus des aliments, le coefficient de variabilité entre les échantillons après analyse chimique a été obtenu pour chaque temps de mélange choisi. La détermination des différents modèles rationnels optimaux du taux d'homogénéité a été faite avec Matlab R2017a pour déterminer le temps minimal de mélange. Les résultats de cette étude montrent que la machine développée permet le mélange, de manière homogène, de 427 kg d'aliment par heure avec une consommation d'énergie maximale de 0,72 Wh/kg. Le coefficient de variabilité de l'aliment est inférieur à 10 % en 12 minutes de mélange, d'où de meilleurs taux d'homogénéité. La consommation spécifique d'énergie est de l'ordre de 59 %. Cette machine présente une faible pollution environnementale (peu de bruit et de poussières), une ergonomie et une stabilité assurées; aussi, la maintenance est aisée. Le coût estimatif de développement du prototype est d'environ 381300 FCFA, soit 568 USD; cette machine est donc accessible aux éleveurs moyens. Les résultats de cette étude montrent également que, comparativement à ce qui existe sur le marché camerounais, cette machine présente plusieurs avantages pour améliorer les techniques d'élevage et les conditions de vie des populations.

MOTS-CLEFS: coefficient de variabilité, taux d'homogénéité, capacité horaire, consommation énergétique, alimentation animale.

1 INTRODUCTION

Le développement technologique depuis la révolution industrielle, a poussé l'homme à s'intéresser aux méthodes et techniques pouvant participer à son développement économique. Depuis la fin des années 80, un problème commun à de nombreux pays africains Sub-sahariens est l'extrême pauvreté [1]. Sur les 736 millions de personnes touchées par ce fléau, recensées en 2013, quelques 389 millions vivent en Afrique subsaharienne [2]. Au Cameroun, la proportion de la population vivant en dessous du seuil de pauvreté (1,25 dollar par jour) est passée de 40,2 % en 2001 à 37,5 % en 2014 [3]. Investir dans le domaine de l'élevage est une contribution considérable dans la lutte contre la pauvreté dans les pays en voie de développement [4]. Cependant, l'enjeu majeur est de pouvoir assurer le bon développement et le bien-être des animaux. De ce fait, il est impératif d'assurer aux animaux une alimentation équilibrée, suffisante et ordonnancée.

Après la formulation des provendes, on a constaté que les éleveurs ne sont toujours pas satisfaits de la productivité de leurs animaux due au faible taux d'homogénéité des ingrédients alimentaires entraînant l'intoxication et la mauvaise digestion chez l'animal [5]. Vu que la bonne alimentation du bétail est le principal facteur de l'accroissement de la productivité en élevage, il serait judicieux de participer au boom économique dans ce secteur d'activité en veillant à l'amélioration du taux d'homogénéité des différents éléments entrant dans la formulation des provendes.

Le mélange des aliments animaliers s'effectue à l'aide de machines mécaniques ou électromécaniques parmi lesquelles les broyeurs-mélangeurs contribuant à l'augmentation de la productivité du secteur de l'élevage [6]. Plusieurs auteurs ont récemment travaillé sur la conception et la réalisation des mélangeurs industriels pouvant être utiles pour des tests expérimentaux de mélange; ou encore sur des mélangeurs simples, efficaces et robustes ayant des performances allant jusqu'à 95,31 % en 20 minutes de fonctionnement [7], [8]. Dans la même lancée, Makange et al. [9] ont conçu un mélangeur horizontal manuel et efficace utilisé pour mélanger les aliments pour bovins. Presque toutes ces machines développées ne sont pas accessibles aux petits éleveurs des pays en développement, y compris le Cameroun. Dans le but d'améliorer les conditions de vie des éleveurs en milieu rural, les techniques d'élevage et l'accroissement économique des pays en voie de développement, on s'est proposé de: (i) concevoir un broyeur-mélangeur (ii) fabriquer un broyeur-mélangeur et (iii) tester et évaluer les performances de la machine fabriquée.

2 MATÉRIELS ET MÉTHODES

2.1 CONCEPTION DU PROTOTYPE

Un mélangeur vertical motorisé d'aliments associé à un broyeur de maïs a été conçu et fabriqué avec des matériaux locaux et d'autres matériaux disponibles et bon marché.

ANALYSE FONCTIONNELLE INTERNE DU BROYEUR-MÉLANGEUR

Suivant la norme NFX50 – 153, l'analyse fonctionnelle interne d'un produit dégage chaque fonction technique permettant d'assurer les fonctions de service et permet la matérialisation des concepts de solutions techniques. C'est le point de vue du concepteur. L'analyse fonctionnelle consiste à rechercher les fonctions techniques, les solutions optimales et les composants qui doivent satisfaire une fonction de service [10].

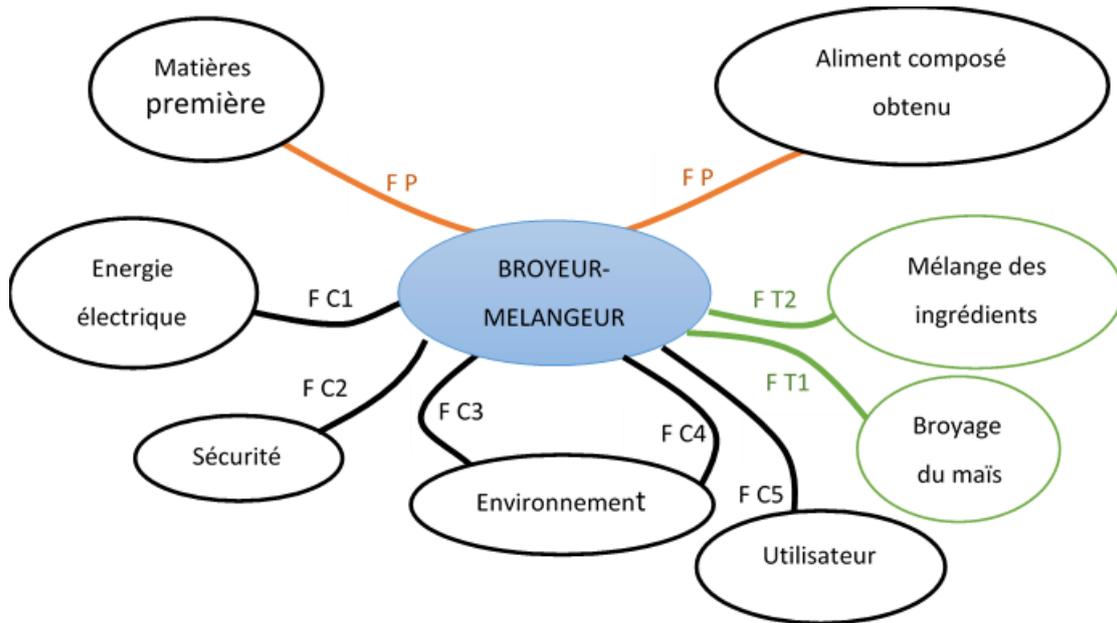


Fig. 1. Diagramme d'interaction du broyeur-mélangeur

FP = Fonction Principale; FT = Fonction Technique; FC = Fonction Complémentaire

La Figure 1 montre le diagramme d'interaction du broyeur-mélangeur de provende a été schématisé.

D'après le Tableau 1, on peut comprendre la formulation des fonctions de services avec leurs expressions.

Tableau 1. Formulation des fonctions de service

Fonctions de service	Expressions
FP	Obtenir un aliment composé homogène (provende)
FT1	Broyer le maïs
FT2	Mélanger le maïs broyé et les éléments d'addition
FC1	S'adapter à l'énergie électrique du secteur
FC2	Sécurité
FC3	Protéger l'environnement
FC4	Résister aux attaques de l'environnement
FC5	Satisfaire l'utilisateur (Coût minimal et bonne présentation visuelle)

SCHÉMA CINÉMATIQUE DU PROTOTYPE

Compte tenu des exigences générales d'une conception efficace [11], le prototype à concevoir est représenté par son schéma cinématique (Figure 2). Le dispositif est approvisionné en maïs au niveau de la trémie du broyeur où il est broyé par l'intermédiaire des marteaux. Ensuite, il est conduit vers le mélangeur vertical par intermédiaire du tamis de calibrage et du convoyeur. Le mélangeur approvisionné en aliment composé au niveau de la trémie qui avec le maïs préalablement broyé est mélangé à l'aide des hélices soudées sur l'arbre. La qualité visuelle du mélange est contrôlée grâce au voyant. Lorsque la qualité requise est atteinte, le produit mélangé est recueilli à travers l'orifice supérieur et inférieur.

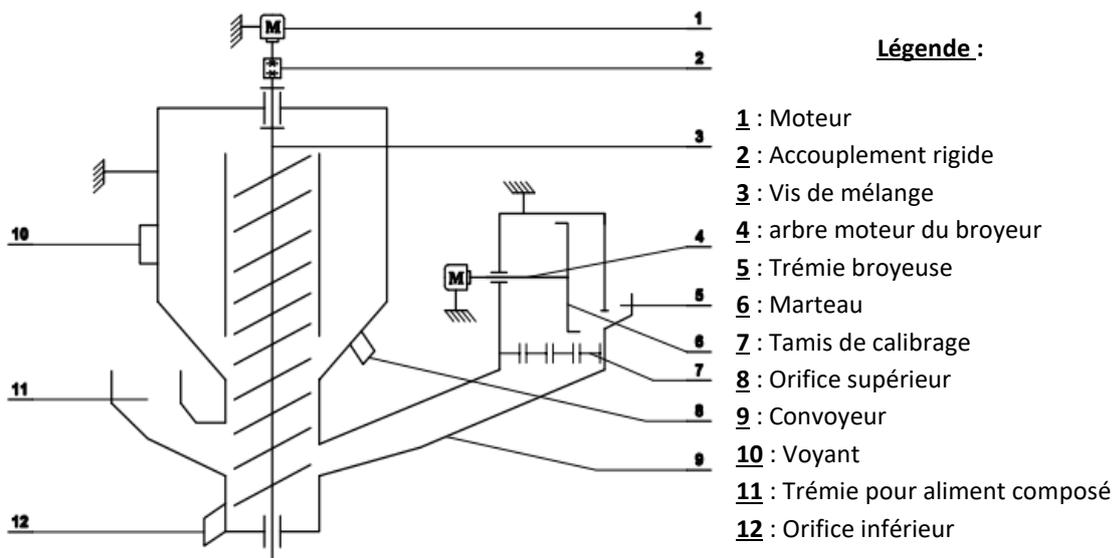


Fig. 2. Schéma cinématique du prototype

La Figure 2 montre le schéma cinématique du prototype.

DIMENSIONNEMENT DU BROEUR

L'étude cinématique permettra de déterminer la vitesse de rotation du marteau. Pour une bonne qualité de broyage, la vitesse de rotation du broyeur sera obtenue dans le catalogue de vitesse en construction mécanique. Quant à l'étude dynamique, la loi de broyage est fondée sur le concept que la vitesse de production des fines particules varie de façon linéaire avec le temps dans les procédés de broyage. Elle stipule que, le taux de production des particules plus petites qu'une taille donnée est approximativement constante pour un temps prolongé de broyage.

L'effort théorique de broyage est calculé en utilisant l'équation suivante:

$$F_{th} = \frac{m \cdot g \cdot h}{e} \quad (1)$$

Avec:

F_{th} = effort théorique de broyage (N)

m = masse marquée (g)

g = intensité de la pesanteur ($N \cdot kg^{-1}$)

h = hauteur obtenue expérimentalement (mm)

e = épaisseur moyenne d'un grain de maïs (mm)

L'effort de broyage est calculé en utilisant l'équation suivante:

$$F = F_{th} \cdot s \quad (2)$$

Avec:

F = effort de broyage (N)

s = facteur de service = 1,1

Le couple résistant du broyeur sera déterminé par l'équation suivante:

$$C_r = F \cdot \frac{1000 d}{2} \quad (3)$$

Avec:

C_r = couple résistant du broyeur (N.m)
 d = diamètre du marteau (mm)

D'après les travaux de Budynas et Nisbett [12], la puissance utile du broyage a été déterminée par l'équation suivante:

$$P_u = C_r \cdot 2\pi \cdot \frac{N}{60} \quad (4)$$

Avec:

P_u = puissance utile pour le broyage (W)
 C_r = vitesse de rotation du marteau (tr.min⁻¹)

La puissance corrigée du broyeur exprimé par Fanchon [13], sera obtenue dépendamment du fonctionnement journalier du broyeur. Elle est calculée en utilisant l'équation suivante:

$$P_c = P_u \cdot k_s \quad (5)$$

Avec:

P_c = puissance utile pour le broyage (W)
 k_s = coefficient de service = 1,2 [14]

DIMENSIONNEMENT DU MÉLANGEUR

La chambre de mélange est constituée de deux cylindres inégaux (cylindres supérieur et inférieur) reliés par un tronc. Le volume total de cette chambre est calculé en utilisant la relation de Garlick et Barnes [15] suivante:

$$V_T = V_F + V_U + V_L \quad (6)$$

Avec:

V_T = volume total de la chambre de mélange (m³)
 V_F = volume du tronc (m³)
 V_U = volume du cylindre supérieur (m³)
 V_L = volume du cylindre inférieur (m³)

L'étude cinématique permet de déterminer la vitesse de rotation du mélangeur; elle sera obtenue dans le catalogue de vitesse rotation en construction mécanique [14]. En ce qui concerne l'étude dynamique, le malaxeur dispose d'une vis de mélange (vis à hélice) verticale; celle-ci fonctionne à l'intérieur d'un tube étroit ajusté proche de l'effet de mélange des composants de l'aliment. En considérant que cette vis à hélice possède des hélices non uniformes, la masse de produit déplacée par un filet de l'hélice s'obtient par l'équation suivante:

$$m = \gamma \cdot S \cdot H \quad (7)$$

Avec:

m = masse du produit déplacé (kg)
 γ = poids spécifique des aliments (kg.m⁻³)
 H = hauteur de malaxage (m)
 S = Section de travail de l'hélice (m²)

Considérant le bon fonctionnement et la régularité du couple transmis, la force de mélange corrigée est obtenue en utilisant l'équation suivante:

$$F_c = m \cdot g \cdot s \quad (8)$$

Avec:

F_c = force corrigée (N)
 g = intensité de la pesanteur (N.kg⁻¹)
 s = facteur de service = 1

La capacité du mélangeur est obtenue par l'équation de Khurmi et Gupta [16] suivante:

$$Q=60N.\phi.p.\gamma.\frac{\pi}{4}.(D^2-d^2) \quad (9)$$

Avec:

Q = capacité du mélangeur (tr.h⁻¹)
 N = vitesse de rotation de la vis de mélange (tr.min⁻¹)
 ϕ = facteur de sécurité = 0,33
 p = pas de l'hélice (m)
 D = diamètre nominal de l'hélice (m)
 d = diamètre nominal de l'arbre (m)

La puissance corrigée du mélangeur, telle qu'exprimée par Fanchon [14], est obtenue dépendamment du fonctionnement journalier du mélangeur. Elle est calculée en utilisant l'équation suivante:

$$P_c=F.\frac{D}{2}.2\pi.\frac{N}{60}.k_s \quad (10)$$

Avec:

P_c = puissance corrigée du mélangeur (W)
 k_s = facteur de service

La puissance requise pour faire fonctionner le système dépendamment de la capacité de mélange se calcule à l'aide de l'équation suivante:

$$P=0,7355.Q.l_v.C \quad (11)$$

Avec:

P = puissance (W)
 l_v = longueur de la vis à hélice (m)
 C = coefficient du matériau = 0,3
 Q = capacité du mélangeur (tr.h⁻¹)

L'arbre du mélangeur étant soumis à une sollicitation composée (flexion simple et torsion) et des charges réparties, l'équation de Mohr-Cacquot a été utilisée pour déterminer le diamètre minimal de l'arbre, lequel a été exprimé par l'équation de Fanchon [13] suivante:

$$d_m = \sqrt[3]{\frac{32}{\pi\sigma_1} \left[\left(1 - \frac{1}{2\lambda}\right) Mf_{max}K_m + \frac{1}{2\lambda} \left[(Mf_{max}K_m)^2 + (TK_t)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \right]} \quad (12)$$

Avec:

d_m = diamètre minimal de l'arbre (mm)
 K_m = facteur du choc combiné pour la flexion [16]
 K_t = facteur de fatigue pour la torsion [16]
 T = moment de torsion maximal (N.mm)
 σ_1 = contrainte normale idéale (en N.mm⁻²)
 λ = constante dépendant du matériau de l'arbre
 Mf_{max} = moment fléchissant maximal (N.m)

La chambre de mélange est constituée de deux cylindres inégaux (cylindres supérieur et inférieur) reliés par un tronç. Le volume total de cette chambre est calculé en utilisant la relation de par Garlick et Barnes [15] suivante:

$$V_T = \frac{LD_{d1}^2}{4\pi} H_d + \frac{LD_{D1}^2}{4\pi} H_D + \frac{\pi h}{3} \left[\frac{LD_{d1}^2}{4\pi} + \frac{LD_{D1}^2}{4\pi} + \sqrt{\frac{LD_{d1}^2 \times LD_{D1}^2}{4\pi^2}} \right] \quad (13)$$

Avec:

LD_{d1} = longueur développée du cylindre inférieur (mm)

LD_{D1} = longueur développée du cylindre supérieur (mm)

H_D = hauteur du cylindre supérieur (mm)

H_d = hauteur du cylindre inférieur (mm)

h = hauteur expérimentale (mm)

V_T = volume total de la chambre (m³)

D'après le Tableau 2, on a les caractéristiques techniques du broyeur-mélangeur obtenues lors de l'étude dynamique et dimensionnelle du broyeur-mélangeur.

Tableau 2. Caractéristiques techniques du broyeur-mélangeur

Éléments	Hypothèses de calcul		Paramètres calculés	
	Paramètres	Valeurs sélectionnées	Paramètres	Valeurs calculées
Broyeur	m	500 g	F	137,5 N
	g	10 N.kg ⁻¹	P _c	1,55 kW
	h	150 mm		
	e	6 mm		
	d	240 mm		
	N	750 tr.min ⁻¹		
Mélangeur	γ	400 kg.m ⁻³	m	33,03 kg
	H	1250 mm	P _c	1,5 kW
	D	290 mm	Mf _{max}	2595,39 N.m
	N	250 tr.min ⁻¹	d _{min}	12,36 mm
	k _s	1,2		
	Mf _x	168,03		
	Mf _z	2589,95		
	λ	0,5		
	σ	28 MPa		
	T	47,89		
	Kt	1,5		
	Km	2		

D'après le tableau 3, on a les dimensions de la chambre de mélanges.

Tableau 3. Dimensions de la chambre de mélange

Hypothèses de calcul		Paramètres calculés	
Paramètres	Valeurs sélectionnées	Paramètres	Valeurs calculées
L _{D1}	2000 mm	VT	392 litres
L _{d1}	942,48 mm		
h	300 mm		
H _d	300 mm		
H _b	1000 mm		

2.2 FABRICATION DU PROTOTYPE

Les matériels pour la fabrication de la machine ont été choisis sur la base de leurs disponibilité, pertinence, considération économique et viabilité en service. La découpe, le façonnage et l'assemblage des composants ont été effectués par différents matériels tels: une rouleuse à trois rouleaux de type pyramidal, une cisaille guillotine, une presse plieuse, une tour parallèle, une meuleuse, un poste à souder, des disques et des électrodes rutilés.

Une tôle de 15/10^e a été utilisée pour la réalisation la grande virole et du cylindre interne, de dimensions 2000 mm x 1000 mm et 942 mm x 1000 mm respectivement. Le flanc capable de dimension 1300 mm x 640 mm a été utilisé pour la réalisation du tronc de cône. Une vis de mélange de 8 hélices avec un pas de 175 mm, d'alésage 320 mm et de chariotage 73 mm a été réalisée pour assurer le transport des ingrédients (aliments) des orifices d'entrée des trémies vers la chambre dédiée au mélange.

2.3 ÉVALUATION DES PERFORMANCES DU PROTOTYPE

Pour évaluer les performances du broyeur-mélangeur, trois types d'aliments pour volailles et trois tailles différentes de tamis (diamètres 1, 3 et 5 mm) ont été utilisés. Les périodes de mélange testées en fonction de la taille du grain de maïs broyé (1, 3 et 5 mm) étaient de 1, 3, 6, 9, 12, 15, 18 et 21 minutes. À la fin de chaque temps de mélange, dix échantillons ont été recueillis à partir de l'orifice supérieur et inférieur de la décharge et testés en trois répétitions. Pour déterminer l'homogénéité du mélange, l'écart-type et le coefficient de variabilité (CV) des concentrations de sel dans l'échantillon ont été calculés suivant la méthode de Ibrahim et Fasasi [17].

D'après le tableau 4, on a la composition de trois types d'aliments pour volaille utilisés pour l'évaluation de ce broyeur-mélangeur [18].

Tableau 4. Composition de trois types d'aliments pour volaille

Ingrédients	Taux par aliment (%)		
	Démarrage	Chair	Pondeuse
Maïs	60	55	55
Son de blé	-	15	10
Tourteau de soja	25	5	7
Tourteau de coton	3	8	8
Tourteau de palmiste	-	5	5
Concentré	5	5	5
Farine d'os/coquille	4	4	7
Minéraux et vitamines	2	2	2
Sel	1	1	1

Le coefficient de variabilité et l'écart-type ont été calculés en utilisant le système d'équations suivant:

$$\begin{cases} CV = \frac{S}{\bar{y}} \times 100 \\ S = \sqrt{\frac{\sum(y - \bar{y})^2}{(N-1)}} \end{cases} \quad (14)$$

Avec:

CV = coefficient de variabilité (%)

S = l'écart-type

\bar{y} = moyenne

N = nombre d'échantillons

y = échantillon (g)

Le taux d'homogénéité du prototype est obtenu mathématiquement en utilisant l'équation suivante:

$$TH = 1 - CV \quad (15)$$

Avec:

TH = taux d'homogénéité (%)

Un chronomètre a permis de relever le temps de fonctionnement du broyeur-mélangeur. La capacité horaire du système est obtenue à l'aide de l'équation suivante:

$$C_h = \frac{M}{t} \quad (16)$$

Avec:

C_h = capacité horaire (kg.h⁻¹)

M = quantité d'aliment produit (kg)

t = temps moyen de mélange/broyage (h)

Grâce aux courbes des modèles optimaux du taux d'homogénéité, le temps optimal de mélange de chaque type d'aliment a été obtenu. La consommation spécifique en énergie du système a été évaluée en utilisant l'équation suivante:

$$CSE = \frac{P.t}{M} \quad (17)$$

Avec:

CSE = consommation spécifique d'énergie (kWh.kg⁻¹)

P = puissance du broyeur/mélangeur (kW)

t = temps moyen de mélange/broyage (h)

M = quantité d'aliment produit (kg)

2.4 ANALYSE DES DONNÉES

Excel 2017 a été utilisé pour les tests des caractéristiques de la machine conçue et fabriquée. Les données des aliments ont été analysées en utilisant la régression polynomiale optimale d'ordre 3 du coefficient de variation avec le logiciel MATLAB version R2017.

3 RÉSULTATS

3.1 BROYEUR-MÉLANGEUR CONÇU ET RÉALISÉ

DIMENSIONS DU BROYEUR

Des hypothèses de calculs ont été formulées et les paramètres calculés pour mettre sur pied la partie broyage. D'après le tableau 5, on a les caractéristiques techniques du broyeur.

Tableau 5. Caractéristiques techniques du broyeur

Hypothèses de calcul		Paramètres calculés	
Paramètres	Valeurs sélectionnées	Paramètres	Valeurs calculées
m	500 g	F _{th}	125 N
g	10 N.kg ⁻¹	F	137,5 N
h	150 mm	C _r	16,5 N.m
e	6 mm	P _u	0.25 kW
d	240 mm	P _c	0.34 kW
N	750 tr.min ⁻¹		

En utilisant le catalogue de moteur fait par Chevalier et Lecrinier (2004), pour un fonctionnement en continu de 6 à 16 heures ks=1,2 [14], on a opté pour un moteur asynchrone triphasé type EFKO 33/45; 0,37 kW; 1500 tr.min⁻¹.

DIMENSIONS DU MÉLANGEUR

Les caractéristiques techniques, la capacité et la puissance du mélangeur ont été déterminées. D'après le tableau 6, on a les caractéristiques techniques du mélangeur.

Tableau 6. Caractéristiques techniques du mélangeur

Hypothèses de calcul		Paramètres calculés	
Paramètres	Valeurs sélectionnées	Paramètres	Valeurs calculées
γ	400 kg.m ⁻³	m	33,03 kg
H	1250 mm	F	330,33 N
D	290 mm	P _c	1504,95 W
N	250 tr.min ⁻¹	β	30°

En se référant du catalogue de Chevalier et Lecrinier [19], pour une durée de fonctionnement de 6 à 16 heures ks=1,2 [14], on a choisi un motoréducteur asynchrone triphasé type RFO 18/4-7; 0,18 kW; 1370 tr.min⁻¹.

D'après le tableau 7, on présente de façon numérique le moment fléchissant maximal et le diamètre minimal de la section de l'arbre à hélice du mélangeur.

Tableau 7. Caractéristiques techniques de l'arbre de mélange

Hypothèses de calcul		Paramètres calculés	
Paramètres	Valeurs sélectionnées	Paramètres	Valeurs calculées
Mf _x	168,03	Mf _{max}	2595,39 N.m
Mf _z	2589,95	d _{min}	12,36 mm
λ	0,5		
σ	28 MPa		
T	47,89		
Kt	1,5		
Km	2		

D'après le tableau 8, on a la capacité de mélange et sa puissance pour faire fonctionner le système.

Tableau 8. Capacité et puissance de mélange

Hypothèses de calcul		Paramètres calculés	
Paramètres	Valeurs sélectionnées	Paramètres	Valeurs calculées
d	48 mm	Q	14842,65 tr.h ⁻¹
D	290 mm	P	4093,79 W
\emptyset	0,22 mm		
N	250 tr.min ⁻¹		

DIMENSIONS DE L'ARBRE À HÉLICE ET DU SILO

Les dimensions des hélices et du silo ont été calculées. D'après le tableau 9, on a les dimensions de l'hélice et du silo.

Tableau 9. Dimensions de l'hélice et du silo

Hypothèses de calcul		Paramètres calculés	
Paramètres	Valeurs sélectionnées	Paramètres	Valeurs calculées
D	290 mm	Al	320 mm
d	48 mm	Ch	73 mm
D ₁	636 mm	L _{D1}	2000 mm
d ₁	300 mm	L _{d1}	942 mm
h	300 mm	a	344,067 mm
h ₁	1000 mm	R ₂	650,41 mm
H _d	300 mm	R ₃	306,34 mm
H _D	1000 mm	b	176,27°
p	175 mm	C ₁	1300,13 mm
n _h	8	C ₂	612,35 mm
		f ₁	629,25 mm
		f ₂	296,37 mm
		L	1300,13 mm
		l	640,44 mm

Les caractéristiques normalisées des paliers et accouplements utilisés pour assurer le guidage en rotation de la vis et la transmission du mouvement de rotation du moteur ont été calculées. D'après le tableau 10, on a les éléments normalisés des paliers et accouplements à manchon.

Tableau 10. Caractéristiques normalisées des paliers et accouplement à manchon

	Éléments		
	Palier à bride	Accouplement	Volume mélangeur
Caractéristiques	UC 206 /F206FI	D = 67 mm d = 27 mm	V _F = 0,054; V _U = 0,318; V _L = 0,02; V _T = 0,392 m ³

3.2 PERFORMANCES DU BROEUR-MÉLANGEUR

Les aliments pour démarrage, chair et poulette ont été produits avec des tamis de mailles 1, 3 et 5 mm. D'après le tableau 11, le coefficient de variabilité de la concentration de sel entre les échantillons pour chaque période de mélange a été obtenu.

Tableau 11. Coefficient de variabilité entre les échantillons pour chaque période de mélange

Éléments		Période de mélange (min)							
		1	3	6	9	12	15	18	21
Tamis de maille 1 mm									
Démarrage	Moyenne	0,360	0,465	0,575	0,243	0,252	0,242	0,258	0,256
	Écart-type	0,231	0,149	0,071	0,020	0,010	0,009	0,009	0,006
	CV (%)	64,26	31,95	12,29	8,35	3,90	3,90	3,53	2,32
Chair	Moyenne	0,489	0,495	0,527	0,749	0,642	0,357	0,218	0,327
	Écart-type	0,244	0,167	0,141	0,110	0,057	0,016	0,007	0,009
	CV (%)	49,82	33,66	26,85	14,72	8,87	4,46	3,26	2,68
Pondeuse	Moyenne	0,343	0,418	0,531	0,788	0,157	0,629	0,633	0,640
	Écart-type	0,129	0,132	0,116	0,106	0,012	0,029	0,023	0,015
	CV (%)	37,85	31,76	21,97	13,50	7,738	4,638	3,665	2,240
Tamis de maille 3 mm									
Démarrage	Moyenne	0,464	0,335	0,549	0,612	0,560	0,254	0,308	0,308
	Écart-type	0,207	0,106	0,114	0,073	0,052	0,014	0,013	0,011
	CV (%)	44,56	31,54	20,84	11,97	9,31	5,56	4,22	3,48
Chair	Moyenne	0,433	0,447	0,600	0,791	0,582	0,252	0,360	0,354
	Écart-type	0,173	0,149	0,137	0,106	0,055	0,019	0,020	0,013
	CV (%)	39,93	33,31	22,79	13,45	9,49	7,66	5,53	3,52
Pondeuse	Moyenne	0,448	0,530	0,299	0,275	0,256	0,356	0,326	0,561
	Écart-type	0,215	0,197	0,056	0,037	0,021	0,019	0,012	0,014
	CV (%)	48,10	37,13	18,83	13,57	8,29	5,46	3,58	2,40
Tamis de maille 5 mm									
Démarrage	Moyenne	0,637	0,461	0,508	0,784	0,563	0,637	0,228	0,301
	Écart-type	0,267	0,177	0,115	0,111	0,070	0,040	0,014	0,012
	CV (%)	41,88	38,37	22,65	14,13	12,50	6,24	6,16	4,00
Chair	Moyenne	0,377	0,421	0,419	0,630	0,639	0,613	0,322	0,534
	Écart-type	0,122	0,114	0,056	0,045	0,037	0,033	0,015	0,012
	CV (%)	32,33	27,05	13,49	7,14	5,78	5,41	4,66	2,20
Pondeuse	Moyenne	0,520	0,536	0,265	0,435	0,159	0,256	0,204	0,556
	Écart-type	0,266	0,144	0,057	0,056	0,014	0,012	0,005	0,010
	CV (%)	51,16	26,79	21,43	12,89	8,78	4,73	2,62	1,74

En s'intéressant au modèle optimal des essais et mesures, des temps minimaux de mélange ont été obtenus selon le critère excellent (CV < 10 %) présenté par Herrman et Behnke [20].

D'après le tableau 12, on a le temps minimum de mélange par aliment.

Tableau 12. Temps minimum de mélange en fonction du type d'aliment

Taille de la maille (mm)	Temps minimal de mélange (mn)		
	Démarrage	Poulette	Pondeuse
1	7	12	11
3	11	12	10
5	12	8	10

La capacité horaire et la consommation d'énergie des temps minimaux de mélange ont été déterminées pour 50 kg d'aliment. D'après le tableau 13, on a la consommation énergétique et la capacité horaire pour cinq périodes.

Tableau 13. Capacité horaire et consommation énergétique

Éléments	Temps (mn)				
	7	8	10	11	12
CH (kg.h ⁻¹)	427	376	299	272	250
CSE (W.h.kg ⁻¹)	0,42	0,48	0,6	0,66	0,72

Le coût estimatif de développement du prototype est d'environ 381 300 FCFA, soit 568 USD.

4 DISCUSSION

Les performances du prototype fabriqué ont été comparées à celles du broyeur-mélangeur d'une provenderie de la place. Des échantillons de provende commercialisée ont été prélevés de ladite provenderie et analysés dans les mêmes conditions que ceux produits par le prototype. L'homogénéité de la provende a été atteinte en 30 minutes pour un tamis de mailles 5 mm de diamètre.

En comparant les performances de la provenderie à celles du prototype réalisé, on constate que la capacité horaire du prototype, bien qu'étant inférieure à celle de la provenderie, fournit des mélanges avec des taux d'homogénéités plus satisfaisants (CV inférieur à 10 %) des trois types d'aliments mélangés pour un tamis de 5 mm de diamètre.

L'analyse énergétique au niveau de la provenderie indique que l'énergie consommée pour le mélange de 1 kg de provende est en moyenne de 1,472 Wh. Le bilan énergétique du prototype dans des conditions similaires indique que l'atteinte de l'homogénéité pour 1 kg de provende consomme en moyenne 0,6 Wh indépendamment du type d'aliment, soit une économie d'énergie de l'ordre de 59 %.

Lors de la conception du prototype, l'accessibilité de l'opérateur à la machine a été prévue sur les côtés gauche et droit, dépendant de ce dernier. Il a été prévu qu'un individu de taille moyenne 1,50 mètre puisse opérer sur la machine, le poids de l'opérateur importe peu. L'opération sur la machine peut se faire même par un individu simplement entraîné. De plus la manutention de la machine est relativement simple et adaptée pour les milieux urbains et ruraux. L'unité des différentes parties ainsi que la stabilité de la machine atténuent les vibrations, réduisant ainsi considérablement le bruit lors du fonctionnement. En portant une observation sur l'implantation et le fonctionnement du mélangeur de la provenderie, on remarque que sa manutention nécessite le démontage total de ce dernier. On note aussi l'unicité spatiale quant à l'accessibilité de la machine, l'opérateur ne pouvant se positionner que par l'avant de la machine. La solution technologique adoptée au niveau du broyeur et du soufflage ascendant des aliments impose une nuisance sonore remarquable. On peut par ailleurs apprécier la stabilité de l'ensemble broyeur-mélangeur vu son poids et sa taille.

5 CONCLUSION

Cette étude avait pour but de développer et d'évaluer les performances un broyeur-mélangeur pour la production de provende. Sa réalisation s'est effectuée dans la société OMEGA INDUSTRIES S.A Douala-Cameroun tout en respectant les critères de choix des matériels et matériaux. Pour évaluer les performances du prototype réalisé, 240 échantillons de 30 grammes d'aliment (80 par type d'aliment) par diamètre de tamis (1, 3 et 5 mm) ont été analysés en trois répétitions dans le Laboratoire de Génie de Procédé de l'Université Catholique Saint-Jérôme de Douala. Le prototype réalisé permet de mélanger en moyenne 350 litres d'aliment. La capacité horaire du prototype fonction de chaque type d'aliment et de la taille du grain a été évaluée et sa consommation spécifique en énergie s'est avérée meilleure que celle obtenue sur le terrain. Ce prototype entraîne une économie d'énergie de l'ordre de 59 %. Le prototype présente une performance de mélange comprise entre 90 % et 94 %, atteinte au bout d'un temps compris entre 7 et 12 minutes, dépendant de la taille du tamis et du type d'aliment à mélanger, d'où une excellente performance. Les tests ont démontré que le taux d'homogénéité dépendait de la formulation de l'aliment et du dispositif de mélange réalisé. Le coût de production du prototype est d'environ 381 300 FCFA, soit 568 USD.

REFERENCES

- [1] Kamgnia, D.B., Douya, E., Ongolo, Z.V., Leunkeu, S. Des stratégies de lutte contre la pauvreté au Cameroun: une analyse en équilibre général calculable. Yaoundé, Cameroun: réseau de recherche: politique économique et pauvreté PEP), 2003, 14.
- [2] BM (Banque Mondiale), 2008. L'agriculture: un moteur de croissance et de lutte contre la pauvreté. Consulté le 03 Février 2022 sur <http://www.banquemondiale.org/ida>.
- [3] INS (Institut National de la Statistique). Quatrième enquête camerounaise auprès des ménages (ECAM 4): tendance, profil et détermination de la pauvreté au Cameroun entre 2001-2014. Yaoundé, Cameroun, 2015, 72.
- [4] Faye, D. Le rôle de l'élevage dans la lutte contre la pauvreté. *Revue Élev. Méd. vét. Pays trop.*, 2001, 54 (3- 4), 231-238.
- [5] Leman, A.M., Abdul Wahab, R., Zakaria, S.F., Che, M.N., M. I. F., Muzarpar, S. (2017). The development of mixer machine for organic animal feed production: Proposed study. *AIP Conference Proceedings*. 2017, Volume: 1885.
- [6] New, M.B. Feed and feeding of fish and shrimp, ADCP/REP/87/26, FAO/UNDP, 1987, Rome.
- [7] Ugwu, K.C. Development and Performance Test of Poultry Feed Mixing and Pelleting Machine. *International Journal of Science and Research*, 2015, 4 (6), 2319-7064.
- [8] Balami, A. A., Adgidzi, D., and Mua'zu, A., 2013. Development and Testing of an Animal Feed Mixing Machine. *International Journal of Basic and Applied Science*, 2013, 1 (3), 491-503.
- [9] Makange, N.R., Parmar, R.P., Sungwa, N., 2016. Design and Fabrication of an Animal Feed Mixing Machine. *Advances in Life Sciences*, 2016, 5 (9), 3710-3715.
- [10] Jourdan, L., Astier, R., Bresciani, J., Coste, R., Neveu, P., Perrone, P., Rey, J. Construction Industrielle: collection H. Longeot L. Jourdan. Bordas Paris, Dunod, 1982, 257.
- [11] Mott, R.L. Machine elements in mechanical design, 3rd edition, E. M. Charles Pub Publishers, London, 1985, 321-325.
- [12] Budynas and Nisbett. Shigley's Mechanical Engineering Design, 8th edition. McGraw-Hill Primis, 2006, 1059.
- [13] Fanchon, J.L. Guide de mécanique. Edition Nathan, 9, Rue Méchain 75014 Paris, 2009, 576.
- [14] Fanchon, J.L. Guide des sciences et technologies industrielles. Edition Nathan, 9, rue Méchain 7514 Paris, 2017, 624.
- [15] Garlick, F. J. and Barnes, J. R. M. Technical mathematics: a second level course. London; New York: McGraw-Hill Book Co., 1981, 399pp.
- [16] Khurmi, R.S. and Gupta, J.K. A textbook of machine design. Eurasia Publishing House (PVT) LTD, Ram nagar, NewDelhi-110055, 2005, 1230p.
- [17] Ibrahim, S.O. and Fasasi, M.B., (2004). Design and development of a portable feed mixer for small-scale poultry farmers. *Proc. NIAE*, Ilorin, 2004.
- [18] SAILD (Service d'Appui aux Initiatives Locales de Développement). Fabrication artisanale de provende: dix ans de succès pour les aviculteurs de komdamba. Paris: AGRIDOC-BDPA, 2004.
- [19] Chevalier, A., Lecrinier, J. Guide du dessinateur industriel: dictionnaire de la cotation et du tolérancement, AFNOR technique. 43, quai de Grenelle 75905 paris cedex 15, 2004, 388.
- [20] Herrman, T. and Behnke, K., 1994. Testing mixer performance. MF1172. Kansas State University, Agricultural Experiment Station and Cooperative, Extension Service Bulletin, Manhattan, KS: Kansas State University, 1994.