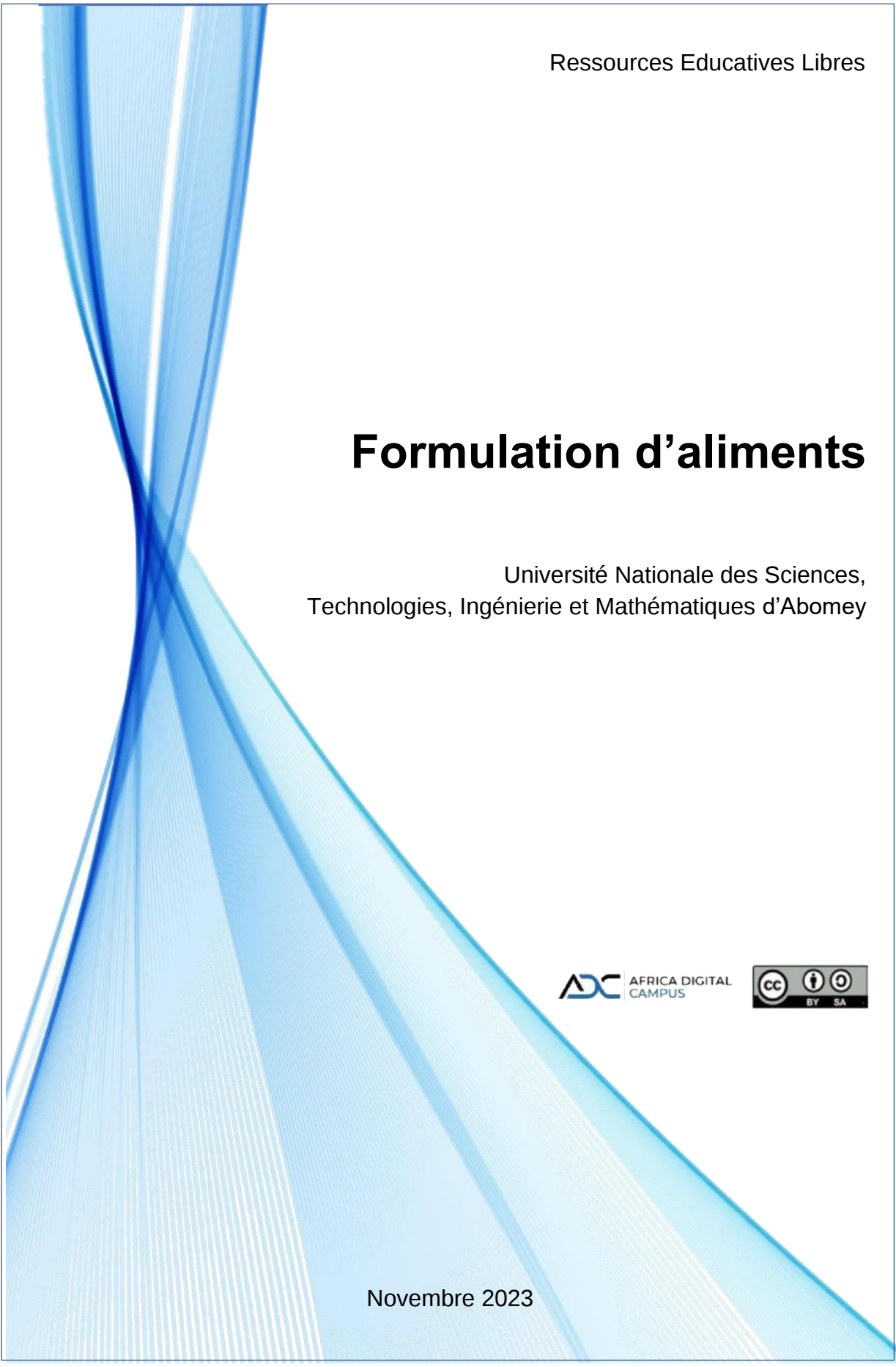




Ressources Educatives Libres

Formulation d'aliments

Université Nationale des Sciences,
Technologies, Ingénierie et Mathématiques d'Abomey



Novembre 2023

Cours d'Alimentation et Nutrition Animales : Formulation d'aliment pour animaux domestiques



ALLOWANOU G. Géorcelin

Enseignant-chercheur

ENSET-Lokossa/UNSTIM

galowanou@gmail.com

Table des matières

CHAPITRE IV : FORMULATION D'ALIMENT POUR LES ANIMAUX DOMESTIQUES	2
4.1. Principes généraux.....	2
4.2. Etapes de la formulation de l'aliment pour les animaux.....	3
4.2.1. Connaissance de l'animal et détermination des besoins nutritionnels ...	3
4.2.2. Détermination des valeurs nutritives des ingrédients disponibles	3
4.2.3. Seuil d'incorporation des ingrédients et facteurs antinutritionnels.....	4
4.2.4. Formulation proprement dite	4
4.2.4.1. Méthodes manuelles	4
4.2.4.2. Méthodes de Programmation mathématique.....	7

CHAPITRE IV : FORMULATION D'ALIMENT POUR LES ANIMAUX DOMESTIQUES

La formulation vise à obtenir la combinaison de différentes matières premières pour fabriquer au moindre coût un aliment conforme aux caractéristiques recherchées.

Il est donc nécessaire de connaître :

- ☞ Les apports recommandés pour les animaux ;
- ☞ Les caractéristiques et la valeur nutritive des matières premières.

Il est possible, et c'est une pratique très courante aujourd'hui en alimentation porcine, de compléter une ration grâce à des acides aminés purs.

4.1. Principes généraux

La composition et la valeur nutritive des différentes matières premières peuvent être obtenues à partir d'analyse de laboratoire ou à l'aide de tables d'alimentation telles que celles publiées par l'INRA en 2002.

La démarche de calcul tient compte des éléments suivants :

- L'apport en énergie se raisonne avec un objectif d'apport au moindre coût de l'énergie nette ;
- L'aliment doit être correctement équilibré en acides aminés digestibles. L'équilibre à respecter en priorité est le rapport lysine/énergie. Par exemple, dans le cas de l'aliment porcelet deuxième âge, il doit être au minimum de 1,15 g de lysine digestible pour 1 Mj d'énergie nette.

Il faut ensuite vérifier les apports en quatre autres principaux acides aminés : méthionine plus cystine, thréonine et tryptophane. Ces équilibres en acides aminés sont exprimés par rapport à la lysine, selon les proportions définies dans la « protéine idéale » :

- $(\text{méthionine} + \text{cystine}) / \text{lysine} = 60\%$
- $\text{thréonine} / \text{lysine} = 65\%$
- $\text{tryptophane} / \text{lysine} = 18\%$

Dans les formules « simples » (céréales et tourteau de soja), si l'équilibre lysine digestible sur énergie nette est vérifié, ces équilibres sont généralement respectés ; Par ailleurs, le CMV est introduit à raison de 3 à 4% de l'aliment.

4.2. Etapes de la formulation de l'aliment pour les animaux

4.2.1. Connaissance de l'animal et détermination des besoins nutritionnels

Les besoins nutritionnels sont influencés par la génétique, le sexe, le poids vif, le stade physiologique, l'appétit et les facteurs environnementaux (température, densité...) (NRC, 1981). De ce fait, il importe de bien identifier la catégorie de volaille à nourrir. Les besoins nutritionnels peuvent être définis comme étant la quantité de nutriments nécessaires pour optimiser un facteur de production, telle que la vitesse de croissance ou la conversion alimentaire (Pomar et al., 2009). La vitesse de croissance, les performances de production de chair ou d'œuf, la formation du muscle ou de l'œuf (Moughan et al., 2000), le dépôt de graisse ou des éléments nutritifs dans les organes, la consommation alimentaire sont autant des caractéristiques à définir avant de déterminer le besoin (Sakomura et al., 2005). Pour la réussite de la formulation, la détermination des besoins en plusieurs éléments nutritifs essentiels est donc primordiale. Au nombre de ces éléments, il y a l'énergie métabolisable, les protéines brutes, les acides aminés, le calcium et le phosphore. Traditionnellement, les besoins nutritionnels des volailles sont publiés sous forme de tables (INRA, 1989 ; NRC, 1994).

4.2.2. Détermination des valeurs nutritives des ingrédients disponibles

Pour le besoin de formulation d'aliment, la réalisation d'une base de données sur la composition chimique, les caractéristique physiques et la digestibilité des ingrédients utilisables en alimentation des animaux est nécessaire. Il existe des bases de données (tables) des compositions chimiques des ingrédients pour aliment volailles qui sont mises à jour continuellement. Cependant, les matières premières utilisées pour la formulation des aliments dépendent du pays ou de la région en fonction des potentialités des ingrédients (Moughan et al., 2000). Dans ce contexte, il est recommandé au formulateur de constituer sa propre base de données en fonction des ressources alimentaires disponibles. Le nombre d'éléments nutritifs à considérer pour la formulation varie, mais les plus utilisés pour la formulation et le suivi des performances sont l'énergie métabolisable, les protéines brutes (Moughan et al., 2000), les acides aminés (Sterling et al., 2005), le calcium et le phosphore (Kaushik, 2000). Ces éléments doivent être de même nature que ceux considérés dans la définition des besoins nutritionnels des volailles à nourrir.

4.2.3. Seuil d'incorporation des ingrédients et facteurs antinutritionnels

En plus de la composition chimique et des valeurs nutritives des ingrédients, des connaissances sur le seuil d'incorporation de chaque ingrédient et les facteurs de variation de la valeur nutritive sont déterminants pour la réussite de la formulation d'aliment. Les limites maximale et minimale de chaque ingrédient doivent être connues afin d'éviter la toxicité, le déséquilibre alimentaire, les interférences avec d'autres éléments nutritifs, la sous consommation liée à l'inappétence ou même la pollution de l'environnement après excrétion par l'urine et les fientes. Plusieurs ingrédients sont mélangés pour formuler l'aliment volaille, il est important de prendre en compte les facteurs de variation liés au mélange ; spécifiquement, la somme des facteurs antinutritionnels qui peuvent s'y trouver. En effet, leurs présences réduisent la digestibilité et l'absorption des nutriments (Moughan et al., 2000), inhibent les enzymes, provoquent les lésions de foie et de l'intestin (Pimpukdee et al., 2004) ou entraînent un retard de croissance chez les poulets.

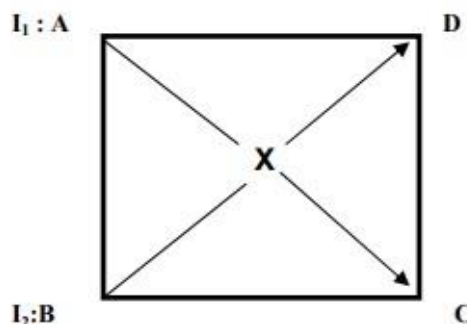
4.2.4. Formulation proprement dite

Cette étape consiste à réaliser des calculs afin de déterminer la combinaison de différents ingrédients qui couvre au mieux les besoins recommandés pour la catégorie animale. Les aspects d'efficacité sont intégrés dans certaines méthodes pour l'obtention d'un aliment à moindre coût.

4.2.4.1. Méthodes manuelles

Méthode du Carré de Pearson

C'est une méthode qui détermine la proportion de deux ingrédients à mélanger pour satisfaire le besoin d'un nutriment. Elle s'effectue avec le carré de Pearson ci-après (Lee, 2009).



En **X** la solution désirée : le besoin nutritionnel à satisfaire

En **A et B** les teneurs en nutriment des deux sources d'ingrédients **I1 et I2** pour satisfaire le besoin nutritionnel X ;

C représente la différence entre **A et X** sans tenir compte de signe ; c'est la part de l'ingrédient **I2** dans le mélange ;

D représente la différence entre **B et X** sans tenir compte de signe ; c'est la part de l'ingrédient **I1** dans le mélange.

La proportion (%) d'ingrédient **I1** contenant le nutriment **A** s'obtient par :

$$\frac{|C|}{|C| + |D|} \times 100$$

La proportion (%) d'ingrédient **I2** contenant le nutriment **B** s'obtient par :

$$\frac{|D|}{|C| + |D|} \times 100$$

Cette méthode est relativement simple et facile à suivre (Olusayo et al., 2013).

Les limites de cette méthode résident de fait qu'elle utilise seulement deux ingrédients pour déterminer un seul besoin. Toutefois, il est possible d'utiliser des pré-mélanges d'ingrédients afin d'accroître le nombre d'ingrédient dans l'aliment formulé. Elle ne peut pas être utilisée dans des formulations avec plusieurs besoins à satisfaire.

Méthode d'équations algébriques simultanées

C'est une méthode alternative à celle de carré de Pearson en utilisant une équation algébrique simple. Elle permet de satisfaire un besoin nutritionnel en faisant la combinaison de deux ingrédients (Olusayo et al., 2013) à travers un système d'équation (Lee, 2009).

$$\begin{cases} aX + bY = \text{besoin à satisfaire} \\ X + Y = 100 \text{ de besoin à satisfaire} \end{cases}$$

- ☞ X et Y sont les inconnues de l'équation et représentent les pourcentages des deux sources d'ingrédients à mélanger ;
- ☞ a et b sont les teneurs en nutriment contenues dans les deux ingrédients respectifs.

C'est une méthode simple. Elle peut être utilisée par les fermiers (Olusayo et al., 2013). Elle peut comporter plusieurs ingrédients pour satisfaire un besoin. Ses limites sont qu'elle ne peut satisfaire qu'un seul besoin et ne peut pas être utilisée dans une formulation avec plusieurs besoins à satisfaire.

Cas de la combinaison d'une céréale et d'un tourteau

Le mélange céréale-tourteau doit remplir deux conditions que sont : (i) satisfaire les besoins en énergie nette ; et (ii) satisfaire les besoins en lysine digestible.

En désignant par **c** et **t** les pourcentages de céréale et de tourteau, on peut écrire :

$$\left\{ \begin{array}{l} c + t + \text{CMV} = 100 \\ \frac{c(\text{lys. dig. de } c) + t(\text{lys. dig. de } t)}{c(\text{EN de } c) + t(\text{EN de } t)} = \text{lys. dig./EN des AAR} \end{array} \right.$$

Par cette méthode simple, on peut comparer sur le plan économique l'intérêt de l'utilisation des différentes céréales (blé, maïs, sorgho) associés au même tourteau.

Par exemple, pour des porcs charcutiers de 75 kg de poids vif, réalisant une croissance moyenne de 800 g/jour, les besoins énergétiques sont de 23 MJ d'EN/j et de 0,80 g de lysine digestible pour 1 MJ d'EN.

Les aliments disponibles sont trois céréales : blé, maïs, sorgho, successivement associées au tourteau de soja ; le CMV est incorporé à raison de 3%.

(par Kg brut)	EN (MJ/Kg)	Lysine digestible	Prix (F CFA/Kg)
Blé	10,5	2,5	200
Maïs	11,1	1,9	150
Sorgho			125
Tourteau de soja	8,1	24,9	400

Pour l'aliment associant le blé (b) au tourteau de soja (t), on a :

$$\left\{ \begin{array}{l} \mathbf{b + t = 0,97} \\ \mathbf{2,5b + 24,9(0,97 - b)} \end{array} \right.$$

Ce qui donne : b = 73,5% de blé ; t = 23,5% de tourteau de soja

Cet aliment a une valeur énergétique de 9,62 MJ/Kg et un coût hors CMV de 241 F CFA ; il doit être distribué à raison de 23/9,62= 2,39 kg/j.

Exercice

Réalisez le même calcul successivement avec le maïs et le sorgho et établissez un tableau comparatif. Montrez avec les hypothèses de prix retenues, la céréale qui se révèle la plus économique.

Méthode matricielle

Cette méthode permet de trouver la solution conduisant à couvrir deux besoins nutritionnels avec deux ingrédients (Olusayo et al., 2013). Elle peut être même utilisée pour plusieurs besoins avec plus de deux ingrédients. Roush (1982) l'a utilisé pour satisfaire le besoin du poulet de chair en énergie, protéine, calcium et phosphore en mélangeant le maïs, le tourteau de soja, le phosphate mono calcique et le calcaire. Le système d'équation qu'il a utilisé est le suivant :

$$\left\{ \begin{array}{l} a_{11}X_1 + a_{12}X_2 + \dots + a_{1n}X_n = b_1 \\ a_{21}X_1 + a_{22}X_2 + \dots + a_{2n}X_n = b_2 \\ \vdots \\ a_{n1}X_1 + a_{n2}X_2 + \dots + a_{nn}X_n = b_n \end{array} \right.$$

Avec **a** les teneurs en élément nutritif, **X** les proportions à trouver et **b** les besoins à satisfaire. C'est une méthode efficace permettant de définir le niveau énergétique désiré et d'autres nutriments avec les équations algébriques (Rosshair et al., 2010). Elle a cependant l'inconvénient d'être complexe et demande beaucoup de temps pour sa résolution si le besoin nutritionnel dépasse deux éléments.

4.2.4.2. Méthodes de Programmation mathématique

Programmation linéaire

La programmation linéaire est une méthode statistique pour choisir, répartir et évaluer des ressources limitées et plusieurs contraintes afin d'obtenir une fonction algébrique linéaire. Elle détermine la façon d'avoir un résultat sous la forme d'un système d'équation mathématique (Olorunfemi, 2007). La programmation linéaire fournit une méthode de formulation efficace des aliments. Elle permet de minimiser le coût de l'aliment en trouvant un équilibre entre le pourcentage, la valeur nutritive et les contraintes de l'ingrédient utilisé pour la formulation. Les principes de la

programmation linéaire à moindre coût en tenant compte des contraintes sont donnés par les équations suivantes :

$$Z = \sum_{i=1}^n C_i X_i \text{ pour les coûts minimums}$$

$$\sum_{i=1}^n a_i X_i \geq B_i \text{ avec } X_i \geq 0 \text{ pour les contraintes}$$

Avec **Z** : coût total de l'aliment ; **C_i** : le coût unitaire de l'ingrédient rapporté au Kg ; **X_i** : la quantité de l'ingrédient **i** dans l'aliment en Kg ; **a_i** : les valeurs nutritives de l'ingrédient **i** et **B_i** les niveaux de besoin à satisfaire pour chaque ingrédient. Thomson et Nolan (2001) ont utilisé la fonction Solveur d'Excel pour concevoir un tableur d'enseignement et de formulation d'aliment des volailles à moindre coût par programmation linéaire.

Certaines conditions doivent être vérifiées avant l'utilisation des résultats de la programmation linéaire qui sont résumés aux principes de :

- **Certitude** : les valeurs numériques et les contraintes des ingrédients doivent être connues dans l'équation et ne doivent pas changer au cours de la formulation ;
- **Divisibilité** : la proportion de chaque ingrédient doit être un nombre numérique et représenter une fraction de la valeur totale ;
- **Additivité** : la somme des proportions des ingrédients utilisés doit correspondre à la somme des quantités de différents ingrédients dans l'aliment ;
- **Linéarité** : il doit y avoir une relation entre la proportion et la quantité de chaque ressource utilisée ;
- **Non négativité** : toutes les proportions doivent être supérieures à zéro.