

République du Sénégal



Un peuple-un but-une foi

Ministère de l'Economie, du Plan et de la Coopération

Agence nationale de la Statistique et de la Démographie (ANSD)



Ecole nationale de la Statistique et de l'Analyse économique PIERRE NDIAYE(ENSAE)



Projet Optimisation

THEME

**Optimisation de la formulation des aliments complets
pour volaille de la Société AdNaFaSie Aliment**

Rédigé par :

ADAM Alassane, Lamine NDAO, Fallou NGOM, Rachid TRAORE

Élèves Ingénieurs Statisticiens Economistes

Sous la supervision de :

M. DIOP

Enseignant à l'ENSAE

Décembre 2023

AVERTISSEMENT

L'ÉCOLE NATIONALE DE LA STATISTIQUE ET DE L'ANALYSE ÉCONOMIQUE PIERRE NDIAYE (ENSAE) DE DAKAR N'ENTEND DONNER AUCUNE APPROBATION NI IMPROBATION AUX IDÉES ÉMISES DANS CE MÉMOIRE. ELLES SONT PROPRES AUX AUTEURS ET DOIVENT ÊTRE CONSIDÉRÉES COMME TELLES.

REMERCIEMENTS

Ce document est le fruit à la fois des enseignements reçus à l'ENSAE et de précieux conseils, commentaires, critiques et suggestions dont nous avons bénéficié de la part de nombreuses personnes.

A cet effet, nous saisissons cette opportunité pour remercier :

- M. DIOP, notre professeur d'optimisation, pour l'intéressant cours dont il nous a fait bénéficier, sa rigueur et son dévouement.
- M. Mamadou Baldé, le responsable de la filière des ISE, pour la rigueur qu'il continue à instaurer à l'école

C'est aussi le moment de remercier notre cher Directeur M. Idrissa DIAGNE et l'ensemble du corps enseignant de l'ENSAE pour leur dévotion à rendre cette école un creuset de l'excellence et une référence parmi ses paires.

Nous remercions particulièrement M. Jean Jaque FAYE, chargé d'étude à l'ENSAE, pour son encadrement, sa disponibilité et son engagement inconditionnel pour la réussite de notre formation.

Enfin, nous remercions tous les élèves de l'ENSAE particulièrement la promotion des Ingénieurs Statisticiens Economistes entrant en 2023 pour leur soutien permanent, leur collaboration et toutes les personnes qui ont de près ou de loin contribué à la rédaction de ce document.

AVANT-PROPOS

*La productivité n'est jamais un accident. C'est toujours un engagement envers l'excellence,
d'une planification intelligente et d'un effort déterminé*

Paul J Meyer

Créée en 2008, l'Ecole nationale de la Statistique et de l'Analyse économique Pierre NDIAYE (ENSAE) est une école à vocation sous régionale à l'image de l'ENSEA d'Abidjan et de l'ISSEA de Yaoundé. Elle a pour objectif de combler les besoins en ressources humaines de qualité devant assurer la production, l'analyse et la diffusion des données statistiques.

Pour assurer la meilleure formation à ses élèves, l'école concilie la théorie et la pratique, à travers les enquêtes pédagogiques, les travaux pratiques, les stages, etc. Ceci afin de permettre aux élèves d'être opérationnels dès leurs sorties. En plus des offres de formations continues en statistique, l'école forme depuis sa création des Techniciens Supérieurs de la Statistique (TSS) sur deux ans, des Ingénieurs des Travaux de la Statistique (ITS) sur quatre ans, des Ingénieurs Statisticiens Economistes (ISE) sur trois ans. Avec les rénovations pédagogiques entreprises récemment, les filières d'Analystes Statisticiens (AS) sur trois ans et ISE cycle long (ISEP) sur cinq ans ont été intégrées ainsi qu'un master intitulé Aide à la Décision et Evaluation des Politiques Publiques (ADEPP).

Les élèves Ingénieurs Statisticiens Economistes font dès leur première année de formation un cours intitulé optimisation. A l'issue de ce cours, les élèves rédigent un projet qui a pour principal objet la mise en pratique de toutes les méthodes vues en cours. C'est dans ce contexte que nous avons eu l'opportunité de travailler sur **l'optimisation de la formulation des aliments complets pour volaille de la société AdNaFaSie Aliments.**

L'œuvre humaine n'étant pas parfaite, nous sommes ouverts à toutes remarques, critiques et suggestions en vue de son amélioration.

RESUME

Se donnant comme objectif de trouver la répartition optimale des matières de l'entreprise AdNaFaSie Aliment, cette présente étude cherche à minimiser les coûts de production sous les contraintes nutritionnelles et d'incorporation.

Cette répartition a été trouvée en tenant compte des prix des 21 matières premières, des contraintes nutritionnelles et d'incorporations, de la composition des matières premières employées.

Ainsi, il ressort de la résolution du programme que la répartition devra se faire de cette matière : Mais (40%), Blé tendre (27,82%), Son de belé pellet (8,09%), Luzerne (6,61%), farine de poisson (3,08%). Les autres matières premières sont soit nulles soit proche de 0.

Il ressort également de l'analyse de la sensibilité que le prix du maïs peut varier entre 18,46 et 225,17 sans que l'optimum soit modifié. De même le prix du Luzerne peut varier entre 204,81 247,81 sans que l'optimum soit modifié.

Mots clés : répartition optimale, résolution du programme, matières premières, contraintes nutritionnelles, incorporations, sensibilité

SOMMAIRE

Table des matières

AVERTISSEMENT.....	II
REMERCIEMENTS.....	III
AVANT-PROPOS.....	IV
RESUME.....	V
Introduction	- 1 -
Cadre conceptuel et revue de la littérature	- 3 -
Section I : Cadre conceptuel.....	- 4 -
Section II : Revue de la littérature	- 7 -
Présentation des données méthodologie et analyse des résultats	- 12 -
Section I : Présentation des données méthodologies.....	- 13 -
Section II : Analyse des résultats.....	- 23 -
Référence bibliographique.....	Erreur ! Signet non défini.

Introduction

L'optimisation de la formulation des aliments complets pour volaille est un enjeu crucial pour la société AdNaFaSie Aliment, une entreprise engagée dans la production et la distribution d'aliments pour animaux. À l'instar des préoccupations des gestionnaires de la chaîne d'approvisionnement, la gestion des stocks et les fluctuations des prix des matières premières sont des paramètres déterminants qui influencent directement les processus de fabrication.

Dans l'industrie de la formulation des aliments pour volailles, la flexibilité de production permet d'adapter les formules en fonction des variations des prix des matières premières et des disponibilités en stock. Les aliments pour volailles sont principalement constitués de produits agricoles et de sous-produits de l'industrie agroalimentaire. Ces composants sont actuellement soumis à des fluctuations de prix importantes en raison de la volatilité des marchés des produits agricoles. Pour atténuer les risques associés à cette instabilité des prix, les entreprises de formulation d'aliments doivent s'appuyer sur des systèmes d'information et des outils d'analyse performants.

L'essor des connaissances en nutrition animale, la rationalisation des pratiques d'élevage et l'accès à des capacités de calcul avancées ont conduit au développement de logiciels d'optimisation des formulations alimentaires. Ces logiciels, bien que potentiellement puissants, sont souvent sous-utilisés et ne sont accessibles qu'à un nombre limité de gestionnaires dans les unités de formulation d'aliments. Pour exploiter pleinement les mises à jour des connaissances scientifiques relatives aux besoins nutritionnels des animaux et à la composition des nouvelles matières premières, il est essentiel que les gestionnaires comprennent les principes fondamentaux des outils de calcul qu'ils utilisent. Cette compréhension leur permet d'adapter les formules aux changements de contexte et d'interpréter plus efficacement les résultats obtenus.

Dans ce travail, nous explorons les approches employées dans la formulation des aliments complets pour volaille. Le premier chapitre présente les contraintes nutritionnelles spécifiques à une catégorie de volailles, ainsi que les caractéristiques des matières premières disponibles et leurs prix. Dans le deuxième chapitre, une étude de cas de formulation d'un aliment pour volailles est réalisée à l'aide du solveur Excel, intégrant les variations des prix des matières premières. Enfin, le troisième chapitre analyse les optima obtenus et discute des implications de cette démarche pour la gestion opérationnelle des industries de formulation d'aliments.

Chapitre 1 : Cadre conceptuel et revue de la littérature

Dans ce chapitre, il est question de décrire le cadre conceptuel et faire la revue de la littérature. Plus précisément, nous allons définir les concepts utilisés dans le rapport avant de présenter notre structure. Puis, on va faire une revue de la littérature théorique et empirique.

Section I : Cadre conceptuel

I-1 Définition des concepts

Aliments complets pour volaille

Les aliments complets pour volaille sont des mélanges spécialement conçus pour fournir une nutrition équilibrée et adaptée aux besoins des volailles à différents stades de leur développement. Ces aliments intègrent une variété d'ingrédients tels que les céréales, les protéines végétales et animales, les huiles, les vitamines et les minéraux. L'objectif est de garantir une croissance saine, une production optimale d'œufs et une bonne condition physique des volailles. Les formulations doivent respecter des critères précis pour répondre aux exigences nutritionnelles spécifiques des différentes espèces de volailles, comme les poulets de chair et les poules pondeuses.

Optimisation :

L'optimisation est le processus d'amélioration continue pour rendre un système ou une procédure aussi efficace et efficace que possible. Dans le contexte de la formulation des aliments pour volaille, l'optimisation consiste à déterminer la meilleure combinaison d'ingrédients pour maximiser la qualité nutritionnelle et les performances de croissance des volailles, tout en minimisant les coûts de production. Cela implique l'utilisation de modèles mathématiques avancés et de techniques de programmation linéaire pour trouver la solution optimale qui respecte les contraintes nutritionnelles, économiques et logistiques.

Formulation :

La formulation des aliments pour volaille consiste à combiner divers ingrédients dans des proportions spécifiques pour créer un aliment équilibré et nutritif. La formulation doit prendre en compte les besoins nutritionnels des volailles, les coûts des ingrédients, leur disponibilité et les objectifs de production. Chez AdNaFaSie

Aliment, la formulation est un processus rigoureux qui intègre des critères de qualité stricts et utilise des outils de modélisation pour assurer que les produits finis répondent aux standards les plus élevés de l'industrie.

Programmation Linéaire :

La programmation linéaire est une méthode mathématique utilisée pour résoudre des problèmes d'optimisation où la relation entre les variables est linéaire. Elle est particulièrement utile dans la formulation des aliments pour volaille pour déterminer la combinaison optimale d'ingrédients qui minimise les coûts tout en satisfaisant les besoins nutritionnels des animaux. La programmation linéaire permet de prendre en compte diverses contraintes telles que la disponibilité des ingrédients, les exigences nutritionnelles spécifiques et les coûts associés.

I-2 Présentation de l'entreprise :

La Société Nationale de Commercialisation des Oléagineux du Sénégal (AdNaFaSie Aliment) a été fondée en 1975. À l'origine, AdNaFaSie Aliment avait pour mission principale de soutenir la filière arachidière du Sénégal, un secteur crucial pour l'économie agricole du pays. Au fil des années, l'entreprise a diversifié ses activités pour inclure la production et la commercialisation de divers produits agricoles, y compris les aliments pour volaille. La mission de AdNaFaSie Aliment est de contribuer au développement durable de l'agriculture sénégalaise en offrant des produits de haute qualité et en soutenant les agriculteurs et les éleveurs locaux.

Structure et Organisation :

AdNaFaSie Aliment est structurée en plusieurs divisions spécialisées, chacune responsable d'un aspect clé des opérations de l'entreprise. Les divisions comprennent la production, la recherche et développement, la commercialisation, et les services techniques. Chaque division travaille de concert pour assurer que les produits de

AdNaFaSie Aliment répondent aux standards élevés de qualité et de performance exigés par le marché.

Division de la Production : Responsable de la transformation des matières premières en produits finis, y compris les aliments pour volaille.

Division de la Recherche et Développement (R&D) : Focalisée sur l'innovation et l'amélioration continue des formulations de produits.

Division de la Commercialisation : Chargée de la distribution et de la vente des produits à travers le Sénégal et à l'international.

Services Techniques : Offrent un soutien aux agriculteurs et éleveurs, incluant des conseils en nutrition et en gestion des élevages.

Produits et Services :

AdNaFaSie Aliment offre une gamme étendue de produits agricoles, avec un accent particulier sur les aliments pour volaille, huiles végétales, et autres produits dérivés des oléagineux. Les aliments pour volaille de AdNaFaSie Aliment sont formulés pour répondre aux besoins nutritionnels spécifiques des différentes catégories de volailles, telles que les poulets de chair et les poules pondeuses.

Les services techniques de AdNaFaSie Aliment incluent des programmes de formation pour les agriculteurs, des conseils en nutrition animale, et un support technique continu pour maximiser la productivité et la rentabilité des élevages.

Engagement envers la Qualité et l'Innovation :

L'un des piliers de la stratégie de AdNaFaSie Aliment est l'engagement envers la qualité et l'innovation. La division R&D de AdNaFaSie Aliment travaille en étroite collaboration avec des institutions académiques et des centres de recherche pour

développer des formulations d'aliments qui optimisent la santé et la croissance des volailles tout en étant économiquement viables.

AdNaFaSie Aliment utilise des technologies de pointe et des méthodes d'analyse rigoureuses pour garantir que ses produits répondent aux normes de qualité internationales. Cet engagement envers la qualité est également reflété dans les certifications que l'entreprise a obtenues, témoignant de sa conformité avec les standards mondiaux en matière de sécurité alimentaire et de gestion de la qualité.

Responsabilité Sociale et Environnementale :

AdNaFaSie Aliment s'engage également à opérer de manière responsable sur le plan social et environnemental. L'entreprise met en œuvre des pratiques agricoles durables et encourage les agriculteurs à adopter des méthodes respectueuses de l'environnement. De plus, AdNaFaSie Aliment participe à des initiatives communautaires visant à améliorer le bien-être des populations locales, notamment à travers des programmes de soutien éducatif et de développement rural.

Section II : Revue de la littérature

II-1 Evolution des algorithmes de formations :

En dépit de l'existence d'une base mathématique et de quelques éléments algorithmiques depuis la fin des années 1900 avec les travaux de J.B. Fourier (fondements de la programmation linéaire et de la méthode du simplexe), de T. Motzkin (théorie de l'élimination, dualité, Farkas (dualité), de Minkowski (dualité), de Caratheodory (polyèdres et polytopes), de la Vallée Poussin (méthode d'élimination de Motzkin), de Von Neuman (théorie des jeux), la programmation linéaire s'est proprement développée avec D.B. Dantzig auteur de l'algorithme du simplexe en 1947 dans le contexte du projet SCOOP (Scientific Computation of Optimal Programs) et du complexe militaro-industriel installé au sein de l'US Air

Force au Pentagone. L'algorithme devait répondre aux besoins de planification des transports lors d'opérations militaires modélisés comme un problème de programmation linéaire. Aussi, L.V. Kantorovich, mathématicien et économiste soviétique, prix Nobel avec T.Koopmans, a proposé des modèles de programmation linéaire pour des applications industrielles en économie planifiée et une méthode expérimentale de résolution par des variables duales.

En plus de l'algorithme du simplexe qui n'est pas un algorithme polynomial, des chercheurs se sont efforcés à développer des algorithmes avec une polynomialité avérée. D. B. Yudin et N. Shor en 1970 furent les premiers à développer un algorithme non polynomial à partir des travaux de la méthode générale de l'ellipsoïde définie par A. Nemirovski (Prix Johnvon Neumann 2003). Puis, L. Khachiyan a construit un algorithme de l'ellipsoïde adapté à la programmation linéaire en 1979. Et en 1984, N. Karmarkar, chercheur à IBM qui a proposé, pour la première fois, une méthode des points intérieurs. D'ailleurs, la majorité des solutions logicielles actuelles sont construites autour de l'algorithme du simplexe et d'algorithmes des points intérieurs.

Les méthodes du point intérieur

- Le théorème KKT
- Problème de barrière et chemin central
- Centre analytique
- Méthodes à pas courts/longs
- Méthodes à pas constants
- Méthodes de Prédiction/Correction

Les méthodes du point intérieur

- La méthode de Karmarkar

- Méthode de mise à l'échelle affine.

II-2 La microéconomie et l'optimisation des ressources :

La microéconomie est la branche de la science économique qui étudie le comportement individuel d'un agent économique jugé représentatif parmi son groupe. Ce dernier plongé dans un univers certain ou incertain, concurrentiel ou non, a un seul objectif : L'optimisation de sa « **fonction objectif** ». Elle peut être une minimisation de dépenses ou une maximisation de profit. Dans tous les cas, les problèmes microéconomiques sont tous des problèmes d'optimisation. La microéconomie est donc la branche de la science économique qui analyse la façon dont les agents économiques optimisent leurs fonctions objectives. D'où le lien étroit qu'il y a entre l'**Optimisation** et la **Microéconomie**.

La Microéconomie analyse donc les comportements d'agents économiques à intérêts antagonistes qui se retrouvent le plus souvent sur un marché pour échanger. Les marchés constituent le lieu de rencontre entre offreurs et demandeurs et dont les conditions de ces échanges sont garanties par l'Etat.

Les demandeurs expriment un besoin pour un bien qui est produit par les producteurs. Ils viennent sur le marché pour se procurer des quantités de bien que leur budget puisse acquérir. Ils sont aussi soumis à un arbitrage car les ressources dont ils disposent ne sont pas infinies. Le problème serait donc d'obtenir le plus grand panier en termes de quantité et qui coûte le moins cher possible compte tenu de sa contrainte budgétaire.

Les offreurs qui sont sur le marché des biens et services sont appelés des producteurs. Ce sont des unités de production autonomes au niveau décisionnel et qui combinent plusieurs biens pour en produire un autre bien dans l'intention de réaliser des profits. Or la production de ces biens engendre des coûts que les producteurs doivent étudier.

L'étude de ces coûts se fait soit en les minimisant pour un niveau de production donné, soit en maximisant la production compte tenu d'un coût donné.

De nos jours, la concurrence et l'insuffisance des ressources obligent les entreprises à observer un comportement optimisateur dans tout le processus de production, aussi bien les coûts que la production elle-même. En effet, pour être efficace, elles doivent savoir produire à moindre coût pour survivre face à la concurrence accrue entre entreprises. Cela passe nécessairement par la maîtrise de la fonction de production. Autrement dit, de la maîtrise de l'ensemble des combinaisons productives, et de choisir la moins coûteuse de toutes. C'est justement ce que l'optimisation offre aux entreprises en situation pareille. Elle offre aux entreprises un moyen leur permettant de faire le choix de la combinaison productive la moins coûteuse en fonction d'un objectif donné qui est la réalisation du niveau de production que l'entreprise s'est fixé.

La production peut aussi faire l'objet d'une maximisation. Elle consiste à savoir comment atteindre le niveau d'output le plus élevé compte tenu des ressources dont dispose une entreprise. Elle va permettre à l'entreprise de revoir sa stratégie en vue d'améliorer la rentabilité globale de l'entreprise.

Dans le cadre de travail, l'entreprise cherche à minimiser ses coûts. Il s'agit de la recherche de la meilleure combinaison de quantité d'inputs que sont : « citer les inputs »

II-3 Différentes approches de formulation conceptuelle des aliments :

Dans la partie sur la revue de la littérature, nous avons constaté que l'optimisation linéaire n'est pas une ancienne discipline. Elle est née juste après la seconde guerre mondiale dans le domaine militaire où elle a été déterminante, notamment dans la logistique. Ce constat reste valide dans le domaine de la programmation linéaire dans la formulation des aliments pour bétail. Les premiers auteurs à introduire la

programmation linéaire dans la formulation des aliments pour le bétail furent Brigham (1959) et Jewel (1959).

II.3.1 Les méthodes empiriques de formulation

Les méthodes sont mises en œuvre grâce à l'expérience des formulateurs qui proposent une combinaison d'inputs (ingrédients) pouvant atteindre un niveau de production donné. Elles émergent en général des observations sur le temps. Les formulateurs, compte tenu de leur expérience peuvent proposer des méthodes de production plus ou moins efficaces. Cependant, ces méthodes loin d'être optimales car étant fondées sur des intuitions et des considérations subjectives.

II.3.2 : Méthode algébriques simples

Les méthodes algébriques simples sont fondées sur la résolution des d'équations linéaires à fonctions objectives implicites. Elles permettent à la fois d'exploiter une quantité importante de données et de satisfaire les critères de décision sur les choix de matières premières à incorporer dans une ration alimentaire. Cependant, ces méthodes ne permettent pas de prendre en charge d'autres objectifs tels que la limitation de perte des nutriments et d'autres paramètres techniques. Aussi, elles ne permettent pas d'affirmer sans le moindre doute que la solution algébrique obtenue est optimale, c'est-à-dire celle qui garantit le meilleur rapport qualité/prix.

II.3.3 : La formulation à moindre coût et les techniques employées

- Techniques de formulation à moindre coût dont la résolution des problèmes formalisés se fait sous forme de programmation linéaire.

Chapitre 2 : Présentation des données méthodologie et analyse des résultats

Dans le chapitre précédant, les données et la méthodologie ont été présentées. La section 1 de ce chapitre concernera la présentation des données et la méthodologie utilisée pour trouver l'optimum. Dans la section 2, avant de présenter l'optimum, il sera question de faire quelques statistiques descriptives

Section I : Présentation des données méthodologies

I-1 Présentation des données et les contraintes

En vue d'élucider la démarche d'intégration des prix des matières premières dans l'optimisation des formules alimentaires, nous avons considéré le cas de la formulation d'un aliment. Dans cette partie, nous présentons les contraintes nutritionnelles considérées, les matières premières et leurs contraintes d'incorporation, ainsi que les bases de données de leurs caractéristiques et les prix historiques.

I-1-1 Les contraintes nutritionnelles employées

En aviculture, les aliments sont souvent formulés en fonction de l'âge de l'animal et tenant compte d'un nombre important des critères de qualité à optimiser. Ces aliments sont considérés comme étant complets lorsque leur formulation permet qu'ils soient administrés seuls, dans le but d'entretenir les animaux ou leurs productions sans exiger un autre aliment que l'eau. Le tableau 1 présente les exigences nutritionnelles de l'aliment complet à formuler :

Tableau 1: Les contraintes nutritionnelles fixées dans le programme

Contraintes	Minimal	Maximal
EM/Kg	2750	
Humidité(%)		14
Protéines brutes(%)	16	18,5
Fibres brutes (cellulose) (%)	3,5	6
Matière-grasse totale (%)	5	9
Amidon (%)	32	
Calcium (g/Kg)	30	37,5
Sodium (g/Kg)	1,4	5
Chlore (g/Kg)	1,4	5
Acide linoéique (g/Kg)	15	
Méthionine (g/Kg)	3,6	
Lysine (g/Kg)	7	
Vitamine A (UI/Kg)	10	
Vitamine E (mg/Kg)	15	
Vitamine K (mg/Kg)	2	

Source : Recommandations de DSM

Ces contraintes nutritionnelles sont inspirées des recommandations de la DSM, une multinationale active dans les domaines de la santé, de la nutrition et des matériaux.

I-1-2 Les matières premières employées

Selon leur nature et le mode de leur obtention, les matières premières employées dans l'alimentation de volailles peuvent être classés en sept groupes :

Les céréales : Constituants de base de l'alimentation des volailles et riche en amidon, leur utilisation n'est limitée que par la nécessité de maintenir l'équilibre énergie-protéines. L'on trouve dans cette catégorie le maïs, le blé, l'orge, le riz, le seigle, le triticales et le sorgho.

Les protéagineux : Dans ce groupe, on trouve des graines riches en protéines et en matières grasses parmi lesquelles les légumineuses tel que le soja, le pois, l'arachide, la luzerne, le tournesol et le colza occupent une place de choix.

Les sous-produits de l'industrie céréalière : Issues de la fabrication des farines des céréales, on trouve dans cette catégorie le son de blé, le blé cassé, le remoulage de blé et les issus du riz et de maïs. Avec des nouveaux sous-produits des céréales tels que les glutens de blé, de corn gluten feed et du DDGS émergent.

Les tourteaux : Sous-produits de l'industrie d'extraction d'huiles végétales, ils sont pauvres en matières grasses, surtout lorsqu'ils proviennent d'un procédé d'extraction par solvant. Ils renferment des proportions élevées de protéines qui font tout leur intérêt. Ces protéines sont de valeur inégale selon l'espèce végétale d'origine. On trouve dans cette catégorie le tourteau de soja, le tourteau de colza, le tourteau de tournesol, le tourteau palmiste.

Les huiles et graisses végétales : Elles apportent les acides gras et de l'énergie métabolisable. Ces huiles participent également à la structuration des mélanges et diminuent des émissions des poussières. Elles ont donc, par-delà leurs fonctions

nutritionnelles, des aptitudes fonctionnelles. Selon les régions on emploie de l'huile de palme, de tournesol, de colza, d'arachide et de soja.

Farine d'origine animale : Les farines d'origine animale comprennent l'ensemble des sous- produits des industries de la viande, du poisson et du lait. On trouve principalement dans cette catégorie des farines de poisson qui ont d'excellentes teneurs en matières azotées et sont recherchées pour leur haute teneur en acides aminés essentiels et en contenu minéral. Les concentrés minéraux, acides aminés et vitamines de biosynthèse sont introduit en vue de palier à des carences probables des éléments minéraux, des acides aminés et des vitamines.

PRÉSENTATION DES DONNÉES MÉTHODOLOGIE ET ANALYSE DES RÉSULTATS

Tableau 2 : Composition des matières premières employées (Savant et al. 2002)

	Maïs	Blé tendre	Orge	Riz	Remoulage de blé tendre	Son de blé pellet	Luzerne 17-18%	Pois	Soja Entier toastée	Graine de colza	tourteau de Soja 48	Tourteau de colza	Farine de pois son 65	Huile de palme	Huile de tournesol	Huile de colza	L-lysine HCL	DL-méthionind	Calcaire	Phosph bicalcique	Sel de cuisine
Variables	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11	X12	X13	X14	X15	X16	X17	X18	X19	X20	X21
EM/Kg	3350	2980	2610	3490	2390	1680	1030	2490	3380	3390	2280	1460	3220	7970	9100	9100	3350	4630	0	0	0
Humidité(%)	14	13,2	13,3	12,6	12,1	12,9	9,4	13,6	11,4	8,8	12,2	11,3	8,3	0	0	0	0,5	0	3	0	0
Protéines brutes(%)	8,1	10,5	10,1	8	14,5	14,8	15,8	20,7	35,2	19,1	45,3	33,7	65,3	0	0	0	956	600	0	0	0
Fibres brutes (%)	2,2	2,2	4,6	0,5	4,9	14,8	26,7	5,2	5,6	8,2	6	12,4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Matière-grasse (%)	3,7	1,5	1,8	1,2	3,5	9,2	2,5	1	19,2	42	1,9	2,3	8,9	1000	0	0	0	0	0	0	0
Amidon (%)	61,1	60,5	52,2	75,9	37,8	3,4	0	44,6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Calcium (g/Kg)	0,4	0,7	0,7	0,1	1,2	19,8	19,7	1,1	3,2	4,7	3,4	8,3	38,5	0	0	0	0	0	350	280	0
Phosphore (g/kg)	2,6	2	2,6	2	7,1	1,4	2,4	4	5,3	6,6	6,2	11,4	25,2	0	0	0	0	0	0,2	180	0
Potassium (g/Kg)	3,2	4	4,8	14,9	9,1	9,9	22,8	9,8	18,4	7,8	21,1	12,3	9,7	0	0	0	0	0	0	0	0
Sodium (g/Kg)	0,04	0,1	0,1	0,2	0,1	12,3	0,2	0,1	0,8	0,2	0,3	0,4	11,3	0	0	0	0	0	0	0	0
Chlore (g/Kg)	0,5	0,9	1,1	0,1	0,8	0,1	6	0,8	0,5	0,9	0,5	0,7	17,7	0	0	0	0	0	0	0	0
Cuivre (mg/Kg)	2	5	9	2	14	0,9	5	7	34	3	18	7	7	0	0	0	0	0	0	0	0
Fer (mg/Kg)	32	47	158	16	116	17	312	92	143	216	283	172	351	0	0	0	0	0	0	0	0
Acide linoélique (g/Kg)	17,3	6,3	55,4	35,9	15,7	143	2,4	10,2	97	81,8	7,4	3,8	1,5	9,9	64,9	20,5	0	0	0	0	0
Méthionine (g/Kg)	1,7	1,7	1,7	1,9	2,3	15,6	2,2	2	5,3	4,2	6,4	6,9	16,3	0	0	0	0	990	0	0	0
Lysine (g/Kg)	2,7	3,1	3,1	3	5,8	2,3	7,2	15	21,8	11,9	27,8	18	46,4	0	0	0	798	0	0	0	0
Vitamine A (UI/Kg)	0,83	0,01	0,01	0	0,3	5,8	55	0,04	0	0	0	0	0	130	0	200	0	0	0	0	0
Vitamine E (mg/Kg)	17	15	15	54	18	0,03	122	4	36	117	4	14	5	95	625	219	0	0	0	0	0
Vitamine K (mg/Kg)	0,31	0	0	0	0,8	18	20	0,79	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0
(Eur/tonne) sept 2010	216	215	193	367	160	148	164	211	289	394	333	220	1320	697	874	672	1750	3510	50	385	60

Source : Savant et al 2002

I-1-3 Les contraintes d'incorporation

Certaines matières premières peuvent avoir des effets délétères sur la santé animale ou sur une propriété de la formulation lorsque leurs seuils d'incorporation dans la formule ne respectent pas certaines limites. Conformément aux recommandations nutritionnelles, nous allons considérer les seuils d'incorporation mentionnés dans le tableau 3. Etant donné le manque de compromis sur ces seuils d'incorporation, les limites d'incorporation peuvent varier d'une organisation à l'autre.

Tableau 3 : Seuils d'incorporation des matières premières

Matières premières	Limite inférieure	Limite supérieure
Grain de maïs	20	40
Grain de blé	0	40
Pois	0	10
Soja	0	8
Grain de colza	0	8
Farine de poisson	0	3,5
Huile de tournesol	0	4
Huile de colza	0	4
Sel de chlorure de sodium	0,1	1

Source : Recommandations de INRA et de la DSM

I-1-4 Les prix des matières premières sélectionnées

En vue d'étudier l'intégration de prix des matières premières dans la démarche d'optimisation de la formulation des aliments pour volaille et d'en tirer des leçons sur la gestion de la logistique d'approvisionnement des entreprises de formulation, nous avons créé une base de données des prix historiques des 21 matières premières sélectionnées dans cette étude. Les prix mentionnés dans le tableau 4 reposent sur le suivi mensuel des cotations de ces matières premières.

PRÉSENTATION DES DONNÉES MÉTHODOLOGIE ET ANALYSE DES RÉSULTATS

Tableau 4 : base de données consolidées des prix mensuels des matières premières employées dans la formulation des aliments pour volailles

M	Maïs	Blé tendre	Orge	Riz	Remo ulage de blé tendre	Son de blé pellet	Luzerne 17-18%	Pois	Soja Entier toastée	Graine de colza	tourteau de Soja 48	Tourteau de colza	Farine de poisson 65	Huile de palme	Huile de tournesol	Huile de colza	L- lysine HCL	DL-m éthionind	Calcaire	Phosphb icalcique	Sel de cuisine
Période	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16	P17	P18	P19	P20	P21
déc-10	222	230	211	415	176	168	174	229	362	491	348	225	1267	935	1029	672	1750	3520	50	430	60
nov-10	213	214	195	376	177	150	171	215	330	436	338	224	1268	816	1020	672	1750	3510	50	430	60
oct-10	209	208	187	361	167	136	170	213	295	402	325	218	1266	716	937	672	1750	3460	50	400	60
sept-10	216	215	193	367	160	148	164	211	290	394	333	220	1320	698	874	672	1750	3510	50	385	60
août-10	218	207	189	358	145	150	147	208	287	376	327	209	1420	699	822	672	1750	3570	50	385	60
juil-10	113	103	184	358	111	96	121	160	288	359	289	178	1450	634	730	672	1800	3570	50	390	60
juin-10	140	133	116	374	105	87	131	185	284	329	310	189	1495	659	728	672	1870	3570	50	390	60
mai-10	144	130	111	375	95	78	123	181	276	313	320	186	1552	652	722	672	1930	3570	50	380	60
avr-10	136	121	104	363	75	70	120	162	264	317	311	161	1445	618	687	670	2010	3560	50	320	60
mars-10	125	113	97	392	80	70	120	157	255	305	317	164	1380	614	707	665	2100	3550	50	280	60
févr-10	125	115	99	415	95	79	120	159	248	297	327	186	1335	579	687	660	2100	3540	50	275	60
janv-10	129	120	104	422	100	89	121	165	247	288	327	183	1266	550	682	655	2100	3440	50	275	60
déc-09	129	123	106	411	99	82	120	163	256	285	321	164	1200	537	666	650	1900	4200	50	280	60
nov-09	127	126	107	364	91	82	120	159	242	279	313	150	1100	483	608	645	1550	4000	50	275	60
oct-09	118	117	103	358	78	60	125	148	236	267	306	136	1005	456	564	640	1490	3227	50	320	60
sept-09	113	111	99	386	78	40	129	146	239	259	321	134	995	468	556	635	1450	3220	50	330	60
août-09	129	118	108	397	84	67	133	151	283	277	340	140	930	505	581	615	1400	3220	50	350	60
juil-09	129	118	108	417	80	55	133	151	284	278	345	162	917	455	574	620	1250	3220	50	360	60
juin-09	129	118	108	392	82	58	133	151	317	321	348	185	852	515	661	635	1200	3300	50	400	60
mai-09	142	134	107	392	90	68	132	161	308	324	315	183	858	578	682	655	1200	3470	50	400	60
avr-09	125	124	104	434	96	77	132	151	282	292	300	181	866	533	632	675	1200	3550	50	500	60
mars-09	128	132	116	455	110	89	136	165	256	276	280	159	860	460	578	695	1200	3650	50	639	60
févr-09	135	139	123	454	110	107	139	176	264	289	321	185	855	444	635	710	1200	3900	50	640	60
janv-09	133	141	123	426	104	102	141	168	270	301	310	178	835	417	608	725	1330	4190	50	710	60
déc-08	170	191	175	408	100	90	158	153	230	284	310	159	830	366	591	730	1500	3580	50	950	60
nov-08	224	244	232	496	106	91	218	230	252	330	311	205	830	394	675	730	1600	3780	50	950	60
oct-08	242	259	246	540	105	85	242	261	242	339	326	219	866	412	773	730	1650	3790	50	950	60
sept-08	298	311	288	480	128	109	250	304	293	376	319	268	882	536	879	730	1650	3510	50	935	60
août-08	313	353	201	488	144	134	247	312	316	401	412	260	892	592	1115	730	1650	3250	50	925	60
juil-08	201	189	162	472	142	129	235	249	350	439	370	270	890	706	1115	730	1600	3100	50	912	60
juin-08	189	186	162	521	125	116	232	233	350	469	355	280	868	774	115	730	1600	3800	50	900	60
mai-08	187	202	188	530	169	166	222	263	308	451	333	234	851	769	120	730	1600	3800	50	900	60
avr-08	226	213	200	532	204	200	208	292	296	454	373	232	825	738	1258	730	1600	2750	50	900	60

Source : Base utilisée par Paul MALUMBA KAMBA, calculs des auteurs

I-2 Méthodologie :

Il sera question dans cette partie de présenter la méthodologie étudiée et la résolution du programme avec le solveur Excel.

I-2-1 Mise en équation du problème

Soit à formuler un aliment complet de croissance au départ des ingrédients (X_i) disponibles dans le marché et dont la composition (Y_{ij}) en nutriments (Y_j) et les prix (p_i) unitaires sont connus. Le mélange des ingrédients retenu devant satisfaire à des recommandations définies.

Le programme défini s'écrit comme suit :

Minimiser

$$\text{Minimiser } C_m = \sum_{i=1}^N P_i X_i$$

Contraintes

$$Y_{\min} \leq \sum_{i=1}^N Y_{ij} X_j \leq Y_{\max} \quad L_{\min} \leq X_j \leq L_{\max} \quad X_j \geq 0 \quad \forall j$$

La fonction objective a été définie comme la somme des coûts engendrés par l'achat des matières premières nécessaires à la fabrication de l'aliment souhaité, hors frais de transport. Cette fonction étant minimisée pendant l'optimisation.

Les variables de décision fixées sont les proportions des différentes matières premières devant intégrer une unité de formulation.

Chacune de ces variables de décision ne peut prendre qu'au moins une valeur nulle dans la solution (non négativité). Les caractéristiques nutritives de l'aliment et les seuils d'incorporation des matières premières ont constitué les principales contraintes du programme.

I-2-2 Méthode de résolution

Pour résoudre un problème avec le Solveur d'Excel, vous devez suivre ces étapes générales :

Étape 1 : Définir le Problème

1. Identifier la Fonction Objective : C'est la cellule que vous souhaitez maximiser, minimiser ou ajuster à une certaine valeur.
2. Définir les Variables de Décision : Ce sont les cellules que le Solveur modifiera pour atteindre l'objectif.
3. Lister les Contraintes : Ce sont les conditions que les variables de décision doivent respecter.

Étape 2 : Saisir les Données dans Excel

1. Fonction Objective : Saisissez la formule dans une cellule (par exemple, `=SOMME(A1:A3)`).
2. Variables de Décision : Placez-les dans des cellules distinctes (par exemple, `A1`, `A2`, `A3`).
3. Contraintes : Préparez les cellules contenant les valeurs de contraintes et les formules de contraintes, si nécessaire.

Étape 3 : Ouvrir le Solveur

1. Activer le Solveur (si ce n'est pas déjà fait) :
 - Allez dans `Fichier` > `Options` > `Compléments`.
 - En bas, à côté de `Gérer`, choisissez `Compléments Excel` et cliquez sur `Atteindre`.
 - Cochez `Solveur` et cliquez sur `OK`.

Étape 4 : Configurer le Solveur

1. Ouvrir le Solveur :

- Allez dans l'onglet `Données` et cliquez sur `Solveur`.

2. Configurer le Solveur:

- Définir l'objectif: Dans la boîte de dialogue, entrez la cellule contenant la fonction objectif dans le champ `Définir l'objectif`.
- Ajuster les cellules variables : Entrez les cellules variables de décision dans le champ `En changeant les cellules variables`.
- Ajouter des contraintes :
 - Cliquez sur `Ajouter`.
 - Définissez la cellule de contrainte, la relation (\leq , $=$, \geq), et la valeur ou cellule de référence.
 - Répétez pour chaque contrainte, puis cliquez sur `OK`.

3. Choisir une méthode de résolution :

- Choisissez la méthode appropriée (Simplex LP pour les problèmes linéaires, GRG Non-linéaire pour les problèmes non-linéaires, ou Evolutionary pour des problèmes plus complexes).

Étape 5 : Résoudre le Problème

1. Cliquez sur `Résoudre` :

- Excel ajustera les variables de décision pour optimiser la fonction objective tout en respectant les contraintes.
- Une boîte de dialogue apparaîtra avec les résultats.

2. Analyser les Résultats :

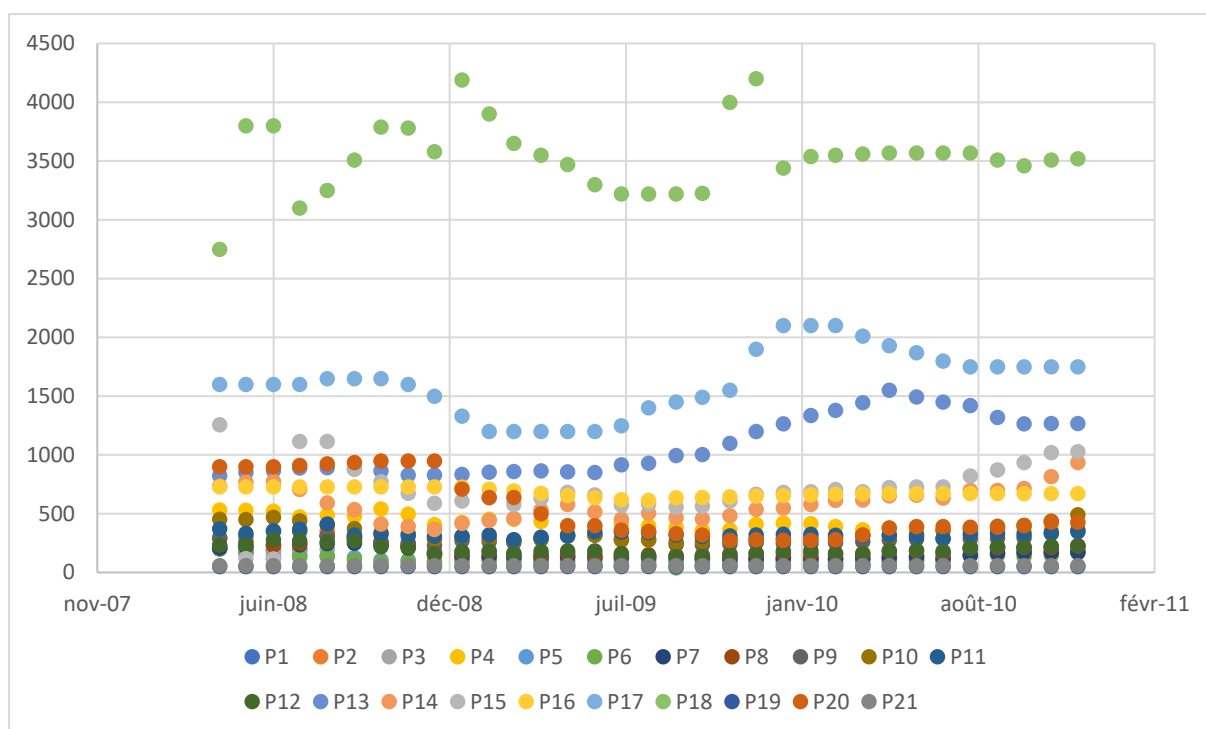
- Si le Solveur trouve une solution, il l'affichera dans les cellules de variables de décision et indiquera si l'objectif a été atteint.
- Vous pouvez aussi choisir d'afficher les rapports de sensibilité, de réponse et de limites pour plus de détails.

Section II : Analyse des résultats

II-1 Evolution des prix des matières premières

Dans cette section, il consistera à décrire l'évolution des prix des matières premières. Les prix des matières premières qui évoluent de manière considérable justifie la pertinence du modèle car permettant pour chaque niveau de prix de trouver la combinaison opportune. Le graphique ci-dessous donne l'évolution des prix des différentes matières. P1 qui représente le prix du maïs est le plus élevé de tous les produits. Le prix du maïs est de 113 en juillet 2010, il est de 170 en décembre 2008. On note également une non rigidité des prix des autres matières premières.

Figure 1 : Evolution des prix des matières premières



Source : Base utilisée par Paul MALUMBA KAMBA, calculs des auteurs

II-2 : Présentation de l'optimum obtenu

Le tableau 1 présente à titre illustratif la solution optimale obtenue aux prix des matières premières observés en décembre 2010. On y observe que l'ensemble des contraintes de formulation sont satisfaites, traduisant le caractère faisable du

programme. Le prix nécessaire à l'obtention d'une tonne de cet élément est estimé à 251,71 euros

PRÉSENTATION DES DONNÉES MÉTHODOLOGIE ET ANALYSE DES RÉSULTATS

Tableau 3 : Solution optimale obtenue au prix des marchés observés en décembre

	Maïs	Blé tendre	Orge	Riz	Remoulage de blé tendre	Son de blé pellet	Luzerne 17-18%	Pois	Soja Entier toastée	Graine de colza	tourteau de Soja 48	Tourteau de colza	Farine de pois son 65	Huile de palme	Huile de tournesol	Huile de colza	L-lysine HCL	DL-méthionine	Calcaire	Phosphore icalcique	Sel de cuisine	Seuil	Minimal	Maximal
Proportion	40%	27,82%	0%	0%	0%	8,09%	6,61%	0%	0%	0%	0%	0%	3,08%	0,19%	0%	2,65%	0,55%	0,05%	7,30%	0%	0%	100%	100%	100%
EM/Kg	3350	2980	261	3490	2390	1680	1030	2490	338	339	2280	1460	3220	7970	9100	9100	3350	4630	0	0	0	2750	2750	
Humidité(%)	14	13,20	13,30	12,60	12,10	12,90	9,40	13,60	11,40	8,80	12,20	11,30	8,30	0	0	0	0,50	0	3	0	0	11,41	0	14
Protéines brutes(%)	8,10	10,50	10,10	8	14,50	14,80	15,80	20,70	35,20	19,10	45,30	33,70	65,30	0	0	0	956	600	0	0	0	16	16	18,50
Fibres brutes (%)	2,20	2,20	4,60	0,50	4,90	14,80	26,70	5,20	5,60	8,20	6,00	12,40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4,46	3,50	6
Matière-grasse (%)	3,70	1,50	1,80	1,20	3,50	9,20	2,50	1,00	19,20	42,00	1,90	2,30	8,90	1000	0	0	0	0	0	0	0	5	5	9
Amidon (%)	61,10	60,50	52,20	75,90	37,80	3,40	0	44,60	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	41,55	32	
Calcium (g/Kg)	0,40	0,70	0,70	0,10	1,20	19,80	19,70	1,10	3,20	4,70	3,40	8,30	38,50	0	0	0	0	0	350	280	0	30	30	37,50
Phosphore (g/kg)	2,60	2,00	2,60	2	7,10	1,40	2,40	4	5,30	6,60	6,20	11,40	25,20	0	0	0	0	0	0,20	180	0	2,66	0	5
Potassium (g/Kg)	3,20	4,00	4,80	14,90	9,10	9,90	22,80	9,80	18,40	7,80	21,10	12,30	9,70	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	5
Sodium (g/Kg)	0,04	0,10	0,10	0,20	0,10	12,30	0,20	0,10	0,80	0,20	0,30	0,40	11,30	0	0	0	0	0	0	0	0	1,40	1,40	
Chlore (g/Kg)	0,50	0,90	1,10	0,10	0,80	0,10	6	0,80	0,50	0,90	0,50	0,70	17,70	0	0	0	0	0	0	0	0	1,40	1,40	
Cuivre (mg/Kg)	2	5	9	2	14	0,90	5	7	34	3	18	7	7	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,81	0,00	
Fer (mg/Kg)	32	47	158	16	116	17	312	92	143	216	283	172	351	0	0	0	0	0	0	0	0	58,69	0	
Acide linoléique (g/Kg)	17,30	6,30	55,40	35,90	15,70	143,00	2,40	10,20	97,00	81,80	7,40	3,80	1,50	9,90	64,90	20,50	0	0	0	0	0	21,01	15	
Méthionine (g/Kg)	1,70	1,70	1,70	1,90	2,30	15,60	2,20	2,00	5,30	4,20	6,40	6,90	16,30	0	0	0	0	990	0	0	0	3,60	3,60	
Lysine (g/Kg)	2,70	3,10	3,10	3	5,80	2,30	7,20	15	21,80	11,90	27,80	18	46,40	0	0	0	798	0	0	0	0	8,42	7	
Vitamine A (UI/Kg)	0,83	0,01	0,01	0	0,30	5,80	55	0,04	0	0	0	0	0	130	0	200	0	0	0	0	0	10	10	
Vitamine E (mg/Kg)	17,00	15,00	15,00	54,00	18,00	0,03	122,00	4,00	36,00	117,00	4,00	14,00	5,00	95,00	625,00	219,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	25,19	15	
Vitamine K (mg/Kg)	0,31	0,00	0,00	0,00	0,80	18,00	20,00	0,79	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	2,96	2	
Côuts	88,80	63,99	0	0	0	13,59	11,51	0	0	0	0	0	39	1,79	0	17,84	9,63	1,91	3,65	0	0	251,71		

Source : Base utilisée par Paul MALUMBA KAMBA, calculs des auteurs

II-3 : Analyse de sensibilité d'un optimum

Cette partie sera consacrée à l'analyse du rapport de sensibilité généré par Excel. Il s'agit d'étudier les conséquences d'une variation d'un coefficient de la fonction objectif et du second membre d'une contrainte. Cette étude est motivée par le fait que les prix ne sont pas connus avec exactitude.

Si l'augmentation isolée (la réduction) du prix d'une matière première se trouve dans l'augmentation admissible (réduction admissible) alors l'optimum n'est pas modifié. Si l'augmentation (la réduction) est au-delà alors l'optimum est modifié. Le tableau montre que le **blé tendre**, le **riz**, le **remoulage...** ne sont pas incorporés dans le modèle ils peuvent augmenter indéfiniment sans que l'optimum soit modifié.

Tableau 2 : analyse de sensibilité obtenue à l'aide du solveur pour la formulation optimale de décembre 2010

Nom	Finale Valeur	Coût Réduit	Coefficient Objectif	Augmentation Admissible	Réduction Admissible
Maïs	0,65	0,00	222,00	18,46	225,17
Blé tendre	0,00	16,82	230,00	1,E+30	16,82
Orge	0,00	20,91	211,00	1,E+30	20,91
Riz	0,00	341,95	415,00	1,E+30	341,95
Remoulage de blé tendre	0,00	56,89	176,00	1,E+30	56,89
Son de blé pellet	0,08	0,00	168,00	826,37	116,44
Luzerne 17-18%	0,08	0,00	174,00	204,81	247,81
Quantité Pois	0,00	103,48	229,00	1,E+30	103,48
Soja Entier toastée	0,00	252,50	362,00	1,E+30	252,50
Graine de colza	0,00	260,38	491,00	1,E+30	260,38
tourteau de Soja 48	0,00	332,30	348,00	1,E+30	332,30
Tourteau de colza	0,00	163,85	225,00	1,E+30	163,85
Farine de poisson 65	0,03	0,00	1267,00	1723,84	767,70
Huile de palme	0,00	0,00	935,00	6957,61	366,05
Huile de tournesol	0,00	446,96	1029,00	1,E+30	446,96
Huile de colza	0,02	0,00	672,00	546,01	99,53
L-lysine HCL	0,01	0,00	1750,00	3627,07	1526,59
DL-méthionine	0,00	0,00	3520,00	7233,52	2257,70
Calcaire	0,07	0,00	50,00	487,50	50,00
Phosphbicalcique	0,00	390,00	430,00	1,E+30	390,00
Sel de cuisine	0,00	60,00	60,00	1,E+30	60,00
part de l'ingrédient	0,00	0,00	0,00	1,E+30	0,00

Source : Base utilisée par Paul MALUMBA KAMBA, calculs des auteurs

Le tableau 3 analyse les sensibilités des contraintes nutritionnelles. La solution optimale proposée fixe la valeur du fer à sa valeur minimale. Le tableau de synthèse de l'analyse de sensibilité des contraintes nutritionnelles (tableau 3) présente une colonne particulièrement importante le "shadow cost" qui détermine le coût fictif (coût dual) du seuil de fixation de chaque contrainte. Ce coût dual informe sur la variation de la fonction objectif lorsque la contrainte varie d'une unité.

Tableau 3 : Analyse des sensibilités des contraintes nutritionnelles

Nom	Finale Valeur	shadow Cost	Contrainte à droite	Augmentation admissible	Réduction admissible
Fer (mg/Kg) Sel de cuisine	0	0	0	0	1E+30
Potassium (g/Kg) part de l'ingrédient	5	-11,73	5	0,96	0,91
Potassium (g/Kg) part de l'ingrédient	5	0	0	5	1E+30
Sodium (g/Kg) part de l'ingrédient	1,4	8,39	1,40	0,46	0,89
Chlore (g/Kg) part de l'ingrédient	1,4	52,49	1,40	1,07	0,59
Cuivre (mg/Kg) part de l'ingrédient	2,01	0	0	2,01	1E+30
Acide linoéique (g/Kg) part de l'ingrédient	23,41	0	15	8,41	1E+30
Méthionine (g/Kg) part de l'ingrédient	3,6	2,28	3,6	3,75	0,53
Lysine (g/Kg) part de l'ingrédient	8,89	0	7	1,89	1E+30
Vitamine A (UI/Kg) part de l'ingrédient	10	0,45	10	10,40	4,97
Vitamine E (mg/Kg) part de l'ingrédient	25,93	0	15	10,93	1E+30
EM/Kg part de l'ingrédient	2750	0,06	2750	721,36	473,23
Vitamine K (mg/Kg) part de l'ingrédient	3,26	0	2	1,26	1E+30
Humidité(%) part de l'ingrédient	11,42	0	14	1E+30	2,58
Humidité(%) part de l'ingrédient	11,42	0	0	11,42	1E+30
Protéines brutes(%) part de l'ingrédient	16	0	18,5	1E+30	2,5
Protéines brutes(%) part de l'ingrédient	16	1,61	16	2,5	2,26
Fibres brutes (%) part de l'ingrédient	4,72	0	6	1E+30	1,28
Fibres brutes (%) part de l'ingrédient	4,72	0	3,5	1,22	1E+30
Matière-grasse (%) part de l'ingrédient	5	0	9	1E+30	4
Matière-grasse (%) part de l'ingrédient	5	0,37	5	4	1,35
Amidon (%) part de l'ingrédient	40,20	0	32	8,20	1E+30
Calcium (g/Kg) part de l'ingrédient	30	0	37,5	1E+30	7,5
Calcium (g/Kg) part de l'ingrédient	30	0,14	30	7,5	25,32
Phosphore (g/kg) part de l'ingrédient	2,86	0	5	1E+30	2,14
Phosphore (g/kg) part de l'ingrédient	2,86	0	0	2,86	1E+30

Source : Base utilisée par Paul MALUMBA KAMBA, calculs des auteurs

CONCLUSION

Au tout début de l'étude, nous avons mentionné l'importance de la formulation des aliments complets pour volaille pour la AdNaFaSie Aliment. La AdNaFaSie Aliment est une entreprise engagée dans la production et la distribution d'aliments pour animaux.

L'optimisation des ressources permet à la AdNaFaSie Aliment de minimiser ses coûts sous les contraintes nutritionnelles et d'incorporation. Dans ce rapport, une large part a été consacrée pour résoudre le problème d'optimisation. Avant d'aborder cette partie, il a nécessité un développement conceptuel et méthodologique et aussi de présenter des travaux portant spécifiquement sur le sujet. La démarche détaillée et transparente que nous avons suivie repose sur une recherche de l'optimum par la méthode simplex qui s'avère, selon nous, être l'une des plus adéquates dans la recherche d'une solution minimale. La sensibilité a d'ailleurs été étudiée pour plus d'une fois.

Partant de ces développements méthodologiques, nous avons pu trouver les proportions optimales de chaque matière première ainsi que les quantités d'ingrédients correspondants.

Ainsi, au vu des résultats nous recommandons à la AdNaFaSie Aliment de respecter les proportions des matières premières trouvées ainsi que la quantité d'ingrédients dans chaque matière première.